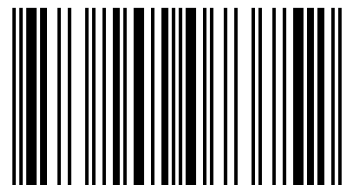




Книга относится к тому направлению в искусственном интеллекте, которое основано на когнитивном моделировании и исповедует философию, согласно которой внешнее антропоморфное поведение системы искусственного интеллекта должно быть следствием ее внутренней антропоморфной организации. С точки зрения авторов, когнитивные психологи, в своих исследованиях психики человека, проходят только первую половину пути, которую условно можно разбить на два этапа: (1) проводятся эксперименты и накапливаются экспериментальные данные относительно того или иного феномена или системы; (2) проводится анализ полученных экспериментальных данных и конструируется когнитивная модель исследуемого феномена или системы. Вторая и необходимая половина пути, заключающаяся в верификации сконструированной модели, как правило, игнорируется. В книге предлагается один из возможных подходов к верификации когнитивных моделей.

Чмырь Игорь Алексеевич. Доктор технических наук, профессор кафедры "Информатика" Одесского государственного экологического университета. Жирякова Ирина Анатольевна. Кандидат технических наук, доцент кафедры "Интеллектуальные системы принятия решений" Черкасского национального университета имени Богдана Хмельницкого.



978-620-2-07375-2

Игорь Чмырь
Ирина Жирякова

Объектно-ориентированное моделирование восприятия и внимания

**Игорь Чмырь
Ирина Жирякова**

**Объектно-ориентированное моделирование восприятия и
внимания**

**Игорь Чмырь
Ирина Жирякова**

**Объектно-ориентированное
моделирование восприятия и
внимания**

LAP LAMBERT Academic Publishing RU

Imprint

Any brand names and product names mentioned in this book are subject to trademark, brand or patent protection and are trademarks or registered trademarks of their respective holders. The use of brand names, product names, common names, trade names, product descriptions etc. even without a particular marking in this work is in no way to be construed to mean that such names may be regarded as unrestricted in respect of trademark and brand protection legislation and could thus be used by anyone.

Cover image: www.ingimage.com

Publisher:

LAP LAMBERT Academic Publishing

is a trademark of

International Book Market Service Ltd., member of OmniScriptum Publishing Group

17 Meldrum Street, Beau Bassin 71504, Mauritius

Printed at: see last page

ISBN: 978-620-2-07375-2

Copyright © Игорь Чмырь, Ирина Жирякова

Copyright © 2017 International Book Market Service Ltd., member of
OmniScriptum Publishing Group

All rights reserved. Beau Bassin 2017

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	7
--------------------	---

1. Когнитивное моделирование феноменов восприятия и внимания10

1.1. Моделирование восприятия	12
1.1.1. Субъект-ориентированные теории восприятия	14
1.1.2. Объект-ориентированные теории восприятия	20
1.2. Моделирование внимания	23
1.2.1. Селективные модели внимания.	25
1.2.2. Ресурсные модели внимания	49
1.2.3. Деятельностный подход к моделированию внимания	61
1.3. Выводы	72

2. Формализация когнитивных моделей восприятия и внимания74

2.1. Класс-структурированные модели восприятия	77
2.1.1. Классы сенсорных событий и схем гипотетического набора	78
2.1.2. Модель восприятия Найсера.	83
2.2. Класс-структурированные модели внимания.	89
2.2.1. Классы моделей внимания	90
2.2.2. Селективные модели слухового внимания Бродбента и Трейсмана	95
2.2.3. Ресурсная модель внимания Канемана.	110
2.3. Выводы	115

3. Моделирование структурных элементов симулятора	
селективного слухового внимания	117
3.1. Сенсорная часть слухового анализатора.	118
3.2. Кодирование звука и представление звукового сенсорного сегмента	122
3.3. Моделирование затухания звукового сенсорного сегмента	127
3.4. Моделирование постсенсорной системы	135
3.5. Работа фильтра-переключателя Бродбента	140
3.6. Выводы.	143
4. Прототип программного симулятора селективного	
слухового внимания	145
4.1. Программные компоненты прототипа симулятора	147
4.1.1. Компонент, моделирующий сенсорный вход	148
4.1.2. Компонент, моделирующий сенсорный буфер и очередь сенсорных сегментов.	152
4.1.3. Компонент, моделирующий постсенсорную обработку	160
4.1.4. Компонент, моделирующий фильтр Бродбента.	167
4.2. Компонентная модель симулятора	169
4.3. Подготовка симулятора к проведению экспериментов	174
4.4. Эксперименты с симулятором.	177
4.4.1. Проверка адекватности модели естественного затухания.	177
4.4.2. Первый эксперимент с бинауральными списками. Последовательное фокусирование внимания на левом и правом сенсорных каналах	179
4.4.3. Второй эксперимент с бинауральными списками. Параллельное фокусирование внимания на левом и правом сенсорных каналах	185
4.5. Выводы.	191
Список использованных источников	193

ВВЕДЕНИЕ

Авторы относят настоящую работу к области искусственного интеллекта. К тому направлению в искусственном интеллекте, которое основано на когнитивном моделировании и исповедует философию, согласно которой внешнее антропоморфное поведение системы искусственного интеллекта должно быть следствием ее внутренней антропоморфной организации. Авторы считают, что в качестве источника знаний об отмеченной антропоморфной внутренней организации когнитивных систем могут служить публикации в области когнитивной психологии, в которых описаны модели базовых когнитивных феноменов и систем.

Авторы, также, разделяют точку зрения тех, кто утверждает, что барометром того насколько глубоко когнитивные психологи понимают человеческую психику является их профессионализм в отображении когнитивных моделей в адекватные искусственные системы. Если некоторая когнитивная модель предоставляет точный, когерентный и полный учет возможностей моделируемого феномена человеческой психики, в рамках оговоренных ограничений, то когнитивный психолог должен быть в состоянии использовать эту модель для построения искусственной системы, которая демонстрирует точно такие же возможности. Знакомство с публикациями в области когнитивной психологии, в которых описаны модели базовых когнитивных феноменов и систем, позволяет легко заметить значительную дистанцию между способом презентации моделей и усилиями, необходимыми для превращения этих моделей в искусственные компьютерные симуляторы. Одно из препятствий, мешающих уменьшить отмеченную дистанцию — это использование когнитивными психологами, в подавляющем большинстве случаев, слабо формализованных средств, при описании своих моделей. Как правило, в качестве основного средства описания используется естественный язык и, редко, графические схемы, в парадигме:

«вход — процесс — выход». Если целью является использование когнитивных моделей для синтеза искусственных систем в виде компьютерных симуляторов, то для описания когнитивных моделей необходимо использовать более ограниченные и формализованные средства. Эти средства должны обеспечивать отображение модели и ее компонентов в такие измерения, как пространственная структура, поведение, интерактивное взаимодействие компонентов и прочие, а также возможность применения современных технологий программной инженерии.

С точки зрения авторов, когнитивные психологи, в своих исследованиях психики человека, проходят только первую половину пути, которую условно можно разбить на два этапа: (1) проводятся эксперименты и накапливаются экспериментальные данные относительно того или иного феномена или системы; (2) проводится анализ полученных экспериментальных данных и конструируется когнитивная модель исследуемого феномена или системы. Вторая и необходимая половина пути, заключающаяся в верификации сконструированной модели, как правило, игнорируется. В работе предлагается один из возможных подходов к верификации когнитивных моделей. Этот подход предполагает выполнение следующих этапов.

На первом этапе когнитивная модель, описанная словесно (и, возможно, представленная диаграмматически), отображается в класс-структурированную модель в виде диаграммы классов унифицированного языка моделирования UML.

На втором этапе проводятся исследования, направленные на точную спецификацию типов полей и алгоритмов методов класс-структурированной модели.

На третьем этапе класс-структурированная модель с уточненными типами полей и разработанными алгоритмами методов отображается в программный код программы-симулятора когнитивного феномена.

На четвертом этапе повторно проводятся исходные эксперименты с подменой человека-субъекта на программный симулятор. Если имеет место совпадение ранее полученных результатов экспериментов с результатами, полученными при помощи симулятора, то можно утверждать, что когнитивная модель адекватна моделируемому феномену или системе, по крайней мере, в контексте некоторой группы экспериментов.

Представление когнитивной модели в виде класс-структурированной модели (UML диаграмма классов), на втором этапе предлагаемого подхода, вызвано тем, что предполагается осуществить последующую практическую реализацию этой модели в виде компьютерной программы-симулятора. Следовательно, субстратом реализации когнитивной модели является архитектура компьютера. Поэтому такой подход должен хорошо работать в тех случаях, когда моделируются центральные структуры и процессы человеческой психики, которые слабо связаны с восприятием внешнего мира и воздействием на внешний мир. При моделировании феноменов, в функционирование которых вовлечены сенсорная система или эффекторы, этот подход наталкивается на проблему несоответствия структуры сенсорной системы, эффекторов человека и периферийной части компьютера. Например, система восприятия и обработки звука в компьютере устроена не так, как слуховой анализатор человека.

Работа посвящена объектно-ориентированному моделированию восприятия и внимания, однако она не предлагает еще одну гипотезу или модель этих феноменов. В этом смысле работа добавляет совсем немного в понимание того, что такое «восприятие» и «внимание» и то как устроена психика человека. Вместо этого она предлагает новое видение уже известных «старых» моделей. Это новое представление когнитивных моделей обладает рядом полезных свойств. Во-первых, благодаря использованию унифицированной онтологии объектно-ориентированного моделирования, появляется возможность представить структуру различных когнитивных моделей в рамках единого и унифицированного концептуального базиса. Класс-структурированные модели более формализованы и содержат меньшее количество неопределенности. Во-вторых, модели представляются в таком виде, который позволяет рассматривать их как спецификации компьютерных программ-симуляторов.

Для чтения книги и понимания ее содержимого необходимы знания основ психологии восприятия и внимания, а также базовые знания в области объектно-ориентированного моделирования средствами Языка Унифицированного Моделирования (Unified Modeling Language — UML) и в области компонентного программирования в среде Visual Basic.

1

КОГНИТИВНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ФЕНОМЕНОВ ВОСПРИЯТИЯ И ВНИМАНИЯ

Рассел и Норвиг в своей известной книге «Искусственный интеллект: современный подход» в качестве одного из основных направлений в искусственном интеллекте выделяют подход на основе *когнитивного моделирования*, который они описывают метафорой «думать как человек» [1]. Суть философии подхода на основе когнитивного моделирования заключается в том, что наблюдаемое внешнее антропоморфное поведение искусственной интеллектуальной системы *должно* быть следствием внутреннего антропоморфного процесса решения проблемы. Очевидно, что это не единственное возможное направление в искусственном интеллекте. Внешнее антропоморфное поведение системы может быть следствием внутреннего процесса, в основе которого лежат не антропоморфные методы решения проблем. Например, внешнее антропоморфное поведение компьютерной программы играющей в шахматы определяется внутренними процессами, которые очень не похожи на те, которые происходят в голове у человека шахматиста.

Когнитивная модель призвана, с одной стороны, моделировать те или иные феномены человеческой психики, а, с другой — порождать антропоморфный процесс решения проблемы. Таким образом, реализация искусственной интеллектуальной системы в соответствии с метафорой «думать как человек» может быть разделена на два этапа: (1) синтез адекватной когнитивной модели; (2) отображение когнитивной модели в компьютерную программу.

Существует несколько источников когнитивных моделей. В первых, это огромное количество публикации в области традиционной

когнитивной психологии [2,3]. Когнитивные модели, описанные в этих работах, являются сугубо концептуальными. Они призваны объяснить результаты психологических экспериментов, направленных на исследование отдельных феноменов человеческой психики: восприятия, внимания, памяти и прочие ментальные процессы. Вторым источником когнитивных моделей являются публикации в той части когнитивной психологии, где исследуются не отдельные феномены человеческой психики, а синтезируются интегрированные и конструктивные модели, имитирующие процессы решения проблем и принятия решений человеком. Например, публикации, посвященные унифицированным теориям познания Soag и АСТ [4,5]. К третьему источнику когнитивных моделей отнесем публикации в области когнитивных наук [6,7]. Это пограничная область между искусственным интеллектом и когнитивной психологией, которую, с точки зрения искусственного интеллекта, можно рассматривать как развитие направления обозначенного метафорой «думать как человек».

Концептуальные когнитивные модели традиционной когнитивной психологии, как правило, обладают одним общим недостатком. Они представлены с такой высокой степенью неопределенности, что не могут быть непосредственно отображены в компьютерную программу. Требуются дополнительные исследования и усилия по трансформации этих, сугубо концептуальных моделей, в конструктивные модели, настолько точные и определенные, что их можно однозначно отобразить в компьютерную программу.

Интегрированные когнитивные модели, имитирующие процессы решения проблем и принятия решений человеком, как правило, основаны на компьютерной метафоре. Компьютерная метафора предполагает, что в структуре психики человека выделяются элементы, аналогичные структурным элементам компьютера, а психические процессы человека аналогичны информационным процессам внутри компьютера при выполнении программы. Считается, что первые работы по реализации компьютерной метафоры, с целью построения когнитивных моделей, выполнены Ньюэллом и Саймоном, сформулировавшим компьютерную метафору в виде гипотезы о физической символической системе [8,9].

Последующая часть настоящего раздела посвящена обзору гипотез, теорий и моделей феноменов восприятия и внимания в том виде, в каком они представлены в публикациях традиционной когнитивной психологии.

1.1. Моделирование восприятия

Моделирование восприятия это, по сути, моделирование процесса порождения перцептивных образов, возникающих в результате воздействия внешнего мира на сенсорную систему человека. Продуктом процесса восприятия являются образы воспринимаемой и ощущаемой действительности, необходимые для формирования целенаправленного поведения. Процесс восприятия не является дискретным. Сенсорная система генерирует непрерывный поток сенсорных событий, отображаемых в последовательность перцептивных образов.

Сложно построить модель только восприятия, поскольку в порождении последовательности перцептивных образов участвует не только сенсорная система, но и такие когнитивные системы как внимание и память. Поэтому, публикации, имеющие отношение к когнитивному моделированию восприятия, обычно, посвящены не когнитивным моментам, а, скорее, психологическим гипотезам и теориям восприятия.

Сенсорная система человека представлена двумя классами рецепторов: (1) контактные рецепторы (рецепторы осязания и вкуса, регистрирующие параметры внешнего мира только при непосредственном соприкосновении с ним) и (2) дистантные рецепторы (рецепторы зрения, слуха и обоняния, реагирующие на отдалённые объекты). В связи с этим в сенсорной системе человека можно выделить несколько подсистем в соответствии с модальностью тех ощущений, в формировании которых они участвуют: зрительная, слуховая, вестибулярная, вкусовая, обонятельная и соматосенсорная подсистемы.

Согласно [10], вся воспринимаемая человеком информация выражается в аналоговой или в знаковой форме. Сенсорные подсистемы участвуют в формировании внутренней модели мира в трёх аналоговых формах: визуальных образах, звуках и ощущениях. Как только

воспринимаемый объект, представленный аналоговыми формами, приобретает имя, он переходит в знаковую форму. Информация в знаковой форме создаёт модель внешнего мира.

Процесс восприятия можно представить в виде последовательности, состоящей из трех этапов: (1) сенсорный этап, во время которого рецепторы осуществляют преобразование физических характеристик стимула в форму, необходимую для передачи этого стимула в нервную систему; (2) этап синтеза, во время которого происходит обобщение сенсорной и несенсорной информации о полученном стимуле; (3) этап перцептивного решения, во время которого происходит категоризации стимула и отнесение его к определенной категории объектов. Поступление информации, полученной на первом этапе процесса восприятия, в кору головного мозга ещё не сопровождается ощущением [11]. Ощущение возникает на втором этапе, а осознание значимости воспринимаемой информации, и её категоризация — на третьем этапе.

Все теории восприятия принято делить на две группы: (1) субъект-ориентированные теории восприятия и (2) объект-ориентированные теории восприятия [12–14]. Можно выделить три основные отличительные характеристики этих теорий: (1) степень участия внешнего мира в восприятии; (2) содержание воспринятого образа; (3) свойства процесса восприятия.

Степень участия внешнего мира в восприятии. Для субъект-ориентированных теорий восприятия главной детерминантой восприятия является субъект, с его познавательным опытом, мотивацией, избирательностью сознания и функцией внимания. Для объект-ориентированных теорий восприятия главной детерминантой восприятия является объект или образ, как итог преобразования внешних воздействий в чувственную форму.

Содержание воспринятого образа. Согласно субъект-ориентированным теориям восприятия, в воспринятом образе присутствует не только отображение внешнего мира, но и собственные внутренние когнитивные конструкторы человека. Согласно объект-ориентированным теориям восприятия, процесс восприятия представляет собой отображение объективных свойств внешнего мира в образы.

Свойства процесса восприятия. Субъект-ориентированные теории восприятия представляют процесс восприятия как индивидуальный и персонализированный процесс построения образа, тесно связанный с жизненным опытом субъекта. Восприятие зависит от конкретной личности, её эмоционального состояния, опыта, целей. Воспринятый образ сходен для всех людей, однако у каждого человека своё индивидуальное «видение». Объект-ориентированные теории восприятия считают, что процесс восприятия осуществляется автоматически по неким непреложным законам, которые детерминированы внешним миром, и, что как процесс восприятия, так и его механизмы одинаковы для всех субъектов.

1.1.1. Субъект-ориентированные теории восприятия

Существенный вклад в формирование субъект-ориентированных теорий восприятия внесли Гельмгольц (теория иероглифов), Брунер (теория перцептивных гипотез), Запорожец (теория формирования перцептивных действий) и Найсер (когнитивная теория восприятия).

Гносеологические выводы, сделанные Гельмгольцем из данных современной ему науки, легли в основу *теории иероглифов* — направления в гносеологии, согласно которому ощущения и представления человека являются произвольными условными знаками, используемыми им для формирования целенаправленного поведения [12]. Считается, что воззрения Гельмгольца сформировались под влиянием «физиологического идеализма» Мюллера, а именно его принципа «специфической энергии» органов чувств [15]. Некие знаки реальности, которые можно назвать «иероглифами», попадают на нервные окончания, и освобождают в них энергию, воспринимаемую человеком, как ощущения.

Гельмгольц, полагая чувственные ощущения только символами отношений, существующих во внешнем мире и отрицая за ними сходство с тем, что они отражают, считал, что качество ощущений зависит не от внешнего объекта, а от нервной системы, передающей ощущения. Поэтому, ощущения, возникающие у человека, являются результатом проявления специфической энергии органов чувств.

Гельмгольц рассматривает три вида образов: (1) первичный образ, (2) образ представления и (3) образ восприятия. Первичный образ формируется физиологическими механизмами. Образ представления об объекте окружающего мира рассматривается как знания, которые человек получает в ходе практической деятельности. Взаимодействие с окружающим миром порождает определённые представления о свойствах, локализации и формах существования объектов, с которыми он взаимодействует. Образ восприятия — это бессознательное умозаключение, которое появляется в результате синтеза первичного образа и образа представления.

Главная идея теории иероглифов заключается в том, что ощущения являются условными знаками объектов окружающего мира, не имеющими ничего общего с реальными объектами и их свойствами.

Восприятие нельзя отделить от категоризации. Брунер, автор *теории перцептивных гипотез*, рассматривал восприятие как процесс категоризации на основе прошлого опыта [16–18]. Одно из метафорических определений восприятия, данное Брунером, утверждает, что процесс восприятия представляет собой движение от признаков к категориям, происходящее, как правило, бессознательно.

Процесс категоризации, как его представляет Брунер, может рассматриваться как процесс решения перцептивной задачи. В этом процессе Брунер выделяет четыре стадии анализа сенсорной информации: (1) первичная категоризация; (2) поиск атрибутов; (3) подтверждающая проверка и (4) завершение проверки.

Первичная категоризация осуществляется бессознательно. Ее главная функция заключается в выделении объекта восприятия, обладающего некоторыми пространственными, временными и количественными характеристиками.

Главная функция стадии «поиск атрибутов» заключается в анализе выделенного объекта восприятия с целью выделения его существенных атрибутов. В том случае, если анализу подвергается знакомый объект, который ранее неоднократно воспринимался, то эта стадия осуществляется бессознательно. Если воспринимается новый объект, то в процессе поиска атрибутов участвует сознание.

Стадия «подтверждающая проверка» является стадией предварительной категоризации. Ее главная функция заключается в формировании и проверке рабочей гипотезы относительно категории объекта. На этой стадии отвергаются нерелевантные атрибуты, которые не соответствуют рабочей гипотезе.

На стадии «завершение проверки» осуществляется окончательная категоризация. Ее результатом становится окончательное соотнесение выделенных атрибутов с определенной категорией.

При исследовании восприятия долгое время фактически игнорировалась взаимосвязь восприятия и деятельности. Как правило, восприятие изучалось вне практической деятельности, а деятельность рассматривалась независимо от восприятия. В начале 1930-х годов Ананьев, Гальперин, Леонтьев, Лурия, Запорожец и другие опубликовали результаты исследований зависимости восприятия от характера деятельности субъекта. Результатом этой работы является *теория формирования перцептивных действий* [19].

Согласно теории формирования перцептивных действий, в основе любого познавательного процесса лежат практические действия. В частности, восприятие и мышление можно рассматривать как систему перцептивных действий, участвующих в формировании перцептивного образа. Перцептивные действия, которые реализуются с помощью различных наборов перцептивных операций, рассматриваются в данной теории как основные структурные единицы процесса восприятия, обеспечивающие построение перцептивного образа. Само восприятие трактуется как процесс овладения всё более сложными видами перцептивных действий, основанный на сопоставлении свойств воспринимаемых объектов с системами сенсорных эталонов, которые формируются у человека в детстве. Предполагается, что первоначально происходит овладение внешнедвигательными формами обследования объектов на основе материальных эталонов, затем образуются собственно перцептивные действия, а материальные эталоны сменяются эталонными представлениями. Для систематизации свойств окружающей мира используются сенсорные эталоны, представляющие собой системы сенсорных качеств предметов. Они являются своеобразными «чувственными мерками» и формируются в

процессе общественно-исторического развития субъекта. Примерами сенсорных эталонов являются фонемы естественного языка и геометрические фигуры. Сенсорные эталоны предлагаются человеку для изучения и использования в качестве образцов при обследовании объектов, и анализа их свойств.

Найсер предложил *когнитивную теорию восприятия*, на основе идеи о циклическом характере процесса формирования и проверки когнитивных гипотез [20]. С точки зрения Найсера восприятие является не пассивным процессом отображения объектов внешнего мира в ментальные образы, а процессом активного поиска и восприятия образов, релевантных решаемой проблеме. Цикл восприятия Найсера интегрирует «восходящий» (от сенсорной системы к долговременной памяти) и «нисходящий» (от долговременной памяти к моторной системе) процессы в единый, циклически повторяющийся, процесс.

Найсер использует понятие «когнитивная схема» как обобщённое имя модели фрагмента знаний, который хранится в долговременной памяти и управляет деятельностью субъекта. Простейшая классификация делит когнитивные схемы на фреймы (декларативные знания) и сценарии (процедурные знания) [21]. Когнитивные схемы являются амодальными и обобщёнными, поэтому позволяют ассимилировать и обрабатывать информацию об окружающем мире, имеющую различную модальность. Восприятие, в теории Найсера, рассматривается как непрерывный, активный процесс взаимодействия человека с окружающим миром. Этот процесс опирается на прежний опыт, позволяющий осуществлять прогноз и порождать ожидаемую когнитивную схему. Таким образом, каждый цикл восприятия зависит от уже существующих в долговременной памяти когнитивных схем, которые направляют перцептивную активность и трансформируются по ходу её протекания.

На рис. 1.1 изображена структура цикла восприятия Найсера.

С точки зрения Найсера, когнитивная структура, являющаяся ключевой в процессе восприятия представляет собой *набор схем, ожидаемых быть воспринятыми, или гипотетический набор схем*.

Гипотетический набор схем совместно с перцептивным исследованием определяет информацию, которая будет воспринята и

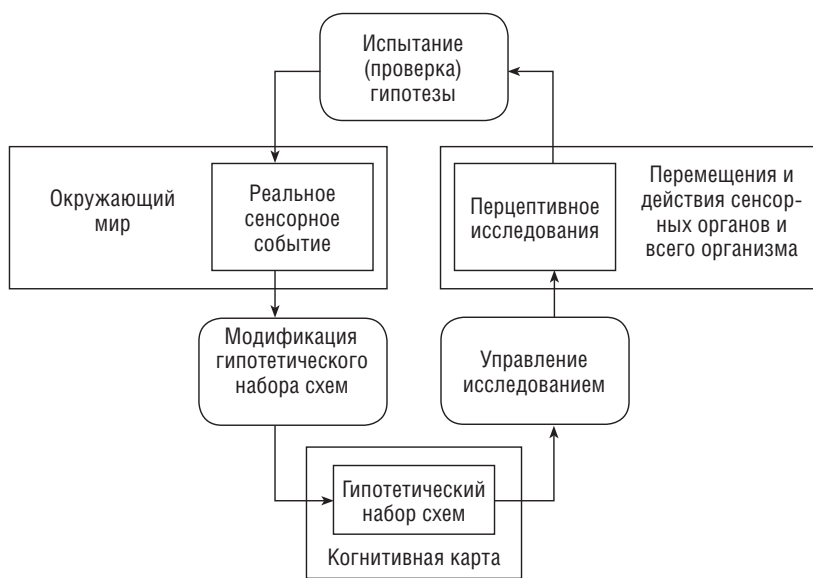


Рис. 1.1. Цикл восприятия Найсера

категоризована. Восприятие является конструктивным процессом в том смысле, что в каждый момент времени конструируется очередной гипотетический набор схем. Гипотетический набор схем встроен в когнитивную структуру, впервые предложенную Толманом [22] и названную им «когнитивная карта». Под когнитивной картой понимается ментальное отображение окружающего мира. Понятие «когнитивная карта» чаще всего используется в контексте зрительного восприятия и включает в себя ментальное отображение не всего окружающего мира, а только его фрагмента.

Образование очередного гипотетического набора схем порождает процесс перцептивного исследования окружающего мира с целью установления степени адекватности гипотетического набора схем, набору реальных сенсорных событий. Процесс исследования предполагает перемещение сенсорных органов, головы и всего тела. Наиболее ярким примером перцептивного исследования является ощупывание

предмета при его тактильном восприятии. Процесс перцептивного исследования завершается тем, что сенсорная система фокусируется на конкретном наборе сенсорных событий. Сенсорная система формирует информационные массивы, которые затем воспринимаются как реальный набор схем. Воспринятый реальный набор схем является причиной модификации гипотетического набора. Как было отмечено выше, суть процесса модификации текущего гипотетического набора схем заключается в конструировании последующего гипотетического набора.

Отметим, что гипотетический набор схем формируется из ранее воспринятых и запомненных схем, составляющих когнитивную карту. Таким образом, цикл Найсера предполагает, что процесс восприятия детерминирован двумя факторами: окружающим миром и прошлым перцептивным опытом.

Цикл Найсера хорошо моделирует процесс рутинного восприятия, под которым понимается процесс последовательной фокусировки сенсорной системы на внешних, не представляющих угрозу (не подозрительных) сенсорных событиях. Учет восприятия подозрительных сенсорных событий, требует модификации цикла Найсера. Например, поскольку «обработка» подозрительных сенсорных событий должна выполняться быстро, то, очевидно, они должны иметь возможность прерывать цикл рутинно восприятия на любом этапе.

Найсер построил свою теорию восприятия, частично, на основе теории перцептивных гипотез Брунера [16–18] и, частично, на основе положений объект-ориентированной экологической теории восприятия Гибсона [23]. Согласно Найсеру, восприятие — это не просто активный процесс, а активно-двигательный процесс. Для процесса восприятия важна не только среда, но и внутренняя мотивация человека, ибо, в первую очередь, воспринимаются объекты, необходимые для решения текущей проблемы.

В одной из своих последних работ Найсер предлагает рассматривать три перцептивные системы, объединяющие восприятие и деятельность [24]. Первая перцептивная система представляет собой систему прямого восприятия и непосредственных реакций. Эта система является фундаментальной для всего поведения человека и не предполагает использования предыдущего опыта. Вторая перцептивная система это

система межличностного восприятия, которая основана на восприятии и оценке результатов социальных взаимодействий. Найсер отмечает, что социальные взаимодействия осуществляются на протяжении всей жизни человека, а межличностные контакты наблюдаются уже у грудных младенцев. Третья перцептивная система это система распознавания объектов в связи с их ментальными репрезентациями. Это наиболее сложная система, которая связывает восприятие с ментальными репрезентациями, опытом, знаниями и культурой. Предполагается, что все три перцептивные системы взаимодействуют между собой и что все ментальные процессы связаны с каждой из перцептивных систем.

1.1.2. Объект-ориентированные теории восприятия

Объект-ориентированные теории формировались в результате работ Титченера (структуралистская теория восприятия), Коффки, Кёлера, Брауна, Вота (гештальт теория восприятия), Гибсона (экологическая теория восприятия), Геринга (нативистическая теория восприятия).

Основоположником *структуралистской теории восприятия* считается Титченер [25]. Согласно структуралистской теории, мир восприятия состоит из ощущений, которые возникают при раздражении отдельного рецептора, а также образов памяти, которые представляют собой следы пережитых ощущений. Приверженцы структуралистской теории восприятия считают, что воспринимаемые объекты и явления внешнего мира представляют собой комбинации элементарных ощущений. Таким образом, процесс восприятия является процессом интеграции группы элементарных ощущений и образов памяти, которые ассоциированы с ними, результатом которого является целостный образ восприятия. Этот процесс функционирует по законам, которые определяются исключительно законами центральной нервной системы. Для отделения ощущений от знаний, относящихся к значению воспринимаемого объекта, структуралисты широко использовали метод аналитической интроспекции [26].

Гештальт теория восприятия базируется, главным образом, на работах Коффки и Кёлера, а также Брауна и Вота [27–30]. В основу этой

теории легли исследования зрительного восприятия, показавшие, что люди воспринимают окружающий мир в виде упорядоченных целостных конфигураций, а не в виде его отдельных фрагментов. Сторонники гештальт теории восприятия предлагают изучать психику человека с точки зрения целостных структур — гештальтов. Они исходят из предположения, что все явления в окружающем мире изначально целостны, и, следовательно, процесс восприятия окружающего мира должен определяться не последовательностью единичных элементарных ощущений, а всей совокупностью действующих на организм раздражителей и структурой воспринимаемого образа в целом. Основная идея гештальт теории заключается в том, что восприятие визуального образа не может быть сведено к интеграции последовательности восприятий его отдельных частей, поскольку свойства образа не есть сумма свойств его частей.

С точки зрения гештальт теории, для восприятия необходимо осуществить некоторую деятельность, направленную на исследование воспринимаемого визуального образа по отношению к базисным принципам гештальт теории.

Принцип фигуры и фона. Каждый гештальт воспринимается как образ, выделяющийся из окружающего фона. Формирование образа означает проявление к нему интереса и сосредоточение на нем внимания с целью удовлетворения возникшего интереса.

Принцип дифференциации. Принцип дифференциации определяет отношение между конфигурацией, образуемой внешними раздражителями при восприятии визуального образа, и гештальтом, формируемым в сознании.

Принцип замыкания. В соответствии с принципом замыкания неполные конфигурации достраиваются в процессе восприятия до полных конфигураций — по аналогии со способностью человека воспринимать написанное слово даже в том случае, если в нем пропущены некоторые буквы.

Принцип хорошей формы. Принцип хорошей формы предполагает, что при сохранении типа конфигурации, образуемой внешними раздражителями при восприятии, менее организованный образ будет заменен в сознании более организованным образом.

Принцип изоморфизма. Принцип изоморфизма означает, что между нейрофизиологическим процессом восприятия и структурой воспринимаемого образа имеет место изоморфизм или подобие.

Основоположником *экологической теории восприятия* является Гибсон [23]. Наименование теории связывают с идеей Гибсона строить теорию восприятия не на основании результатов экспериментов, полученных в искусственных лабораторных условиях, а исходя из поведения субъекта восприятия в реальной среде обитания. Экологическая теория восприятия, так же, как и гештальт теория, является, главным образом, теорией зрительного восприятия.

Гибсон использовал понятие «воспринимающая система», отличающееся от традиционного понятия органов чувств. Гибсон, следуя Найсеру, считал, что восприятие представляет собой активный процесс осматривания, слушания, осязания, обоняния. Воспринимающая система обладает органами чувств, а органы чувств — рецепторами. Воспринимающая система способна ориентироваться в пространстве, обследовать и исследовать объект восприятия, адаптироваться к условиям восприятия, тогда как органы чувств на это не способны.

Воспринимающая система обладает иерархической структурой. Система зрительного восприятия, например, может быть описана следующим образом. Самый нижний уровень иерархии образован хрусталиком, зрачком, глазным яблоком и сетчаткой. Это уровень аккомодации и адаптации к градации света и тени. На следующем уровне иерархии располагается глаз и мышцы, осуществляющие движение глаза. Это уровень компенсаторных движений, фиксации объекта, и сканирования поля зрения. В случае бинокулярного зрения уровень включает пару глаз, обеспечивающих стереоскопическое зрение. В последующий уровень иерархии могут быть включены голова и мышцы шеи, осуществляющие движение головы, необходимые для восприятия движущегося в пространстве объекта. И наконец, на самом высоком уровне иерархии располагается тело человека. Таким образом, воспринимающая система Гибсона включает эффекторы, обеспечивающие активное восприятие.

В экологической теории зрительного восприятия одно из центральных мест занимает концепция перцептивных инвариантов.

Гибсон предлагает рассматривать поле зрительного восприятия в виде четырехмерного пространства, включающего три пространственные и одну временную координаты. Перцептивный инвариант — это свойство, выделяемое в структуре оптической информации, которое остается неизменным независимо от тех изменений, которые происходят при изменении положения объектов окружающей среды, движений наблюдателя или того и другого одновременно.

Основоположителем *нативистической теории восприятия* является Геринг [31]. Согласно нативистической теории восприятия, перцептивные образы, получаемые человеком в процессе восприятия, определяются врожденными механизмами и лишь в незначительной степени могут корректироваться на основе приобретённого опыта. Применительно к зрительному восприятию нативистическая теория предполагает, что сетчатка глаза изначально наделена способностью пространственного видения, и поэтому мы можем судить о пространстве и глубине, не обращаясь к опыту. В публикациях, посвященных нативистической теории восприятия, часто, в качестве аргумента в пользу теории Геринга, упоминается тот факт, что черный уголь на ярком солнце может отражать больше света, чем белая бумага, но все же его цвет воспринимается как черный. Этот факт подтверждает предположение о том, что формирование перцептивного образа происходит в сетчатке глаза, а не является результатом бессознательного или осознанного умозаключения. На основе предположений нативистической теории восприятия Геринг построил теорию цветового зрения, в которой цветоразличение объяснялось процессами диссимилиации и ассимиляции, происходящими в трех типах клеток сетчатки, ответственных за восприятие трех качеств (белое–черное, красное–зеленое, желтое–синее).

1.2. Моделирование внимания

Внимание является тем психологическим феноменом, в отношении природы и права на самостоятельное существование которого, до сих пор нет единодушия. В ряде публикаций высказывается точка зрения

о том, что в психике человека отсутствует особый и независимый феномен, называемый вниманием, и, что внимание выступает лишь как элемент более сложных психических процессов. Однако, имеется и значительное количество работ, авторы которых рассматривают внимание как отдельный психологический феномен, экспериментально исследуют его свойства и строят когнитивные модели, призванные объяснить результаты экспериментов.

Познер отмечает, что внимание это наименование области исследования человеческой психики, многообразие которой определяется многообразием проявлений феномена внимания [32]. Внимание, например, участвует и в процессе селекции внешнего сенсорного события или внутреннего ментального образа, и в процессе поддержки некоторого уровня психического возбуждения или бдительности.

В начале 1950-х годов когнитивные науки, при изучении внимания, следовали направлению, намеченному Джемсом [33]. В результате, исследование внимания трансформировалась в исследование избирательности человеческого сознания. В ряде случаев это позволило, при моделировании внимания, использовать метафору технического устройства, осуществляющего селекцию или фильтрацию информации сенсорного потока.

Исследование внимания сыграло центральную роль в так называемой «когнитивной революции» 1950-х годов. Более того, именно внимание признаётся первым признаком, отличающим когнитивную психологию от классического бихевиоризма, поскольку предполагает активность субъекта в выборе того, что воспринять, запомнить и выполнить [34]. Моделирование внимания является, также, одной из актуальных тем в когнитивном направлении искусственного интеллекта.

Одной из центральных идей, позволяющей объяснить как необходимость механизма внимания, так и внутреннюю природу этого механизма, является идея об ограниченности системы обработки информации человеком. Внимание необходимо для согласования способности сенсорной системы генерировать поток сенсорных событий с ограниченной способностью внутренних механизмов воспринимать и обрабатывать информацию. Идея об ограниченной «пропускной способности» психики как воспринимать и перерабатывать информацию,

так и выделять ресурсы, необходимые для этой переработки, эволюционировала и породила множество теорий и моделей внимания. По отношению к концепции, лежащей в основе моделей внимания, их можно разделить на три группы.

Селективные модели внимания. Эта группа моделей представлена работами Бродбента [35,36], Трейсмана [37–39], Дж. Дойча и Д. Дойча [40], а также Нормана [41].

Ресурсные модели внимания. Наиболее известная модель внимания, относящаяся к группе ресурсных моделей, принадлежит Канеману, который положил начало развития направления, рассматривающего феномен внимания как некий ментальный ресурс, необходимый для осознанно решения задач [42].

Деятельностные модели внимания. Функциональное понимание феномена внимания, а также связь внимания с деятельностью отражены в моделях Найсера [43,44], Оллпорта [45], Неймана [46,47], Нормана и Шалиса [48].

Работы по исследованию и моделированию внимания группируют не только по отношению к концептуальному пониманию феномена внимания, но и по отношению к сенсорной модальности. Ранние работы, как правило, посвящались исследованию слухового внимания, или исследованию феномена внимания, проявляющегося при восприятии информации при помощи слухового анализатора [49]. Современные исследования внимания сосредоточены, в основном, на проявлении феномена внимания при восприятии визуальной информации при помощи зрительного анализатора [50].

1.2.1. Селективные модели внимания

Селективные модели внимания, называемые, также, моделями фильтрации внимания можно рассматривать как исторически первую группу моделей в ряде моделей внимания, базирующихся на идее ограниченности человеческой психики. Авторы селективных моделей считали, что внимание необходимо, поскольку сознание ограничено в своих возможностях по категоризации сенсорной информации и

восприятию перцептивных образов. Следовательно, необходим селектор или фильтр для того, чтобы выделить из большого объема входной информации только ту, которая может быть воспринята. Существует несколько подгрупп моделей фильтрации внимания, отличающихся предположением о том, в каком месте цепочки процессов, реализующих восприятие, осуществляться селекция.

Модели ранней селекции, предложенные Бродбентом [35,36] и Трейсман [37–39] предполагают, что процесс фильтрации должен осуществляться до процесса категоризации, и, следовательно, фильтр должен осуществлять селекцию входной сенсорной информации.

Модель поздней селекции, впервые предложенная Дж. Дойчем и Д. Дойчем [40] и позже дополненная Норманом [41] предполагает, что процесс фильтрации осуществляется после процесса категоризации, и, следовательно, фильтр должен осуществлять селекцию перцептивных образов.

Селективные модели внимания строились на основе данных, полученных, в основном, в результате экспериментов по изучению способности человека фокусировать внимание в процессе восприятия звуковых стимулов.

Модель ранней селекции Бродбента объясняет результаты некоторых экспериментов по дихотическому слушанию и может рассматриваться как гипотеза о структуре механизма восприятия и внимания человека [35,36]. Методика экспериментальной процедуры, называемой «затенение» или дихотическое слушание, впервые была предложена Черри, а, затем, широко использовалась при изучении слухового внимания [51]. Методика дихотического слушания заключается в том, что при помощи специальной аппаратуры в левое и правое ухо субъекта эксперимента синхронно транслируются потоки различной информации и ему предлагается воспринимать либо поток информации, поступающей только в одно ухо, например, правое, либо попытаться воспринять оба потока информации. Предполагается, что при дихотическом слушании внимание субъекта должно быть либо постоянно сфокусировано на восприятии информации, поступающей в одно ухо, либо постоянно переключаться между левым и правым ухом.

Согласно гипотезе Бродбента информация, переносимая потоком сенсорных событий первоначально и кратковременно хранится в

сенсорном буфере, а затем одно из сенсорных событий выбирается и подвергается категоризации. Бродбент ассоциировал процесс выбора сенсорного события с процессом фильтрации. Он сформулировал свою гипотезу в виде набора принципов, которые по своей общности претендуют не только на объяснение результатов экспериментов по дихотическому слушанию, но могут рассматриваться как некие общие принципы переработки информации нервной системой человека.

Принцип 1. Нервная система, в определенных пределах, действует как единый канал связи, и, поэтому, целесообразно рассматривать её как систему, обладающую ограниченной пропускной способностью.

Принцип 2. Некоторая операция выполняется на входе единого канала связи. Суть этой операции — селекция сенсорных событий по признаку общности свойств. Основой для такой селекции могут служить, например, физические свойства звукового сенсорного события: интенсивность, высота тона, или пространственная локализация звука.

Принцип 3. Селекция не осуществляется случайным образом, и вероятность выбора конкретного класса событий возрастает при наличии у события определённых свойств, а также при определённых состояниях организма.

Принцип 4. Свойства событий, которые увеличивают вероятность их прохождения через канал с ограниченной пропускной способностью, включают: физическую интенсивность; время, прошедшее с того момента, когда последнее событие из этого класса событий поступило в канал; высокую частоту звуков в противоположность низкой (у человека); звуки в противоположность визуальным стимулам или прикосновение в противоположность теплу (у собак).

Принцип 5. Состояния организма, которые увеличивают вероятность селекции классов событий — это такие состояния, которые обычно описываются психологами, изучающими животных, как «драйв» или «побуждение». Когда организм находится в состоянии побуждения, то он предпочитает выбирать то событие, которое является первостепенным для этого побуждения. Поэтому, например, еда имеет высокую вероятность быть выбранной животным, если его лишали пищи в течение 24 часов. Кроме того, все классы событий, которые были ранее выбраны непосредственно перед таким побуждением или

перед событиями, ведущими к таким побуждениям (смотри принципы 6 и 7), имеют больше шансов быть выбранными в будущем.

Принцип 6. Если два события были выбраны один за другим, то условная вероятность выбора второго при условии выбора первого сохраняется в нервной системе в долговременном (с относительно медленным затуханием) хранилище.

Принцип 7. Когда животное находится в состоянии побуждения, то оно будет демонстрировать поведение «удовлетворения аппетита» (appetitive behavior) до тех пор, пока на его сенсорные органы не поступит одно из высокоприоритетных событий. В этом случае его поведение будет меняться таким образом, чтобы получать последовательность стимулов, которая (с учетом прошлых условных вероятностей) имеет наивысшую вероятность удовлетворения данного состояния побуждения.

Принцип 8. Поступающая сенсорная информация хранится во временном хранилище, затем она проходит через канал, если класс событий, к которому она принадлежит, будет выбран следующим. Максимальное время хранения информации во временном хранилище равно нескольким секундам.

Принцип 9. Чтобы обойти ограничения, сформулированные принципом 8, информация имеет возможность вернуться в кратковременное хранилище после прохождения через канал. Это обеспечивает кратковременное хранилище неограниченным временем хранения за счет снижения пропускной способности канала вплоть до нуля. Долговременная память не влияет на пропускную способность канала, а, скорее, является средством подгонки внутренней кодировки к вероятности внешних событий, таким образом, чтобы ограниченность канала являлась информационной, а не определялась просто количеством одновременно поступающих стимулов.

Принцип 10. Сдвиг процесса селекции с одного класса событий на другой, требует некоторого времени, которое не является пренебрежимым, по сравнению с минимальным временем, потраченным на обработку любого из классов.

Принципы Бродбента, несмотря на значительную степень неопределенности, позволяют синтезировать структуру системы,

осуществляющей полный цикл переработки информации нервной системой человека в парадигме «вход — процесс — выход». На рис. 1.2 приведен один из вариантов такой системы [52].

Предполагается, что кроме хранения и транспортировки информации, блоки, изображённые на рис. 1.2, осуществляют также её трансформацию. Целесообразно рассматривать два класса информационной трансформации, осуществляемые нервной системой: *сенсорная трансформация* (осуществляемая до фильтрации), и *постсенсорная трансформация* (осуществляемая после фильтрации). Сенсорная трансформация преобразует поток внешних сенсорных событий к виду, необходимому для его хранения в сенсорном буфере. В своих последующих публикациях Бродбент определил суть постсенсорной трансформации в распознавании или категоризации сенсорных событий [53].

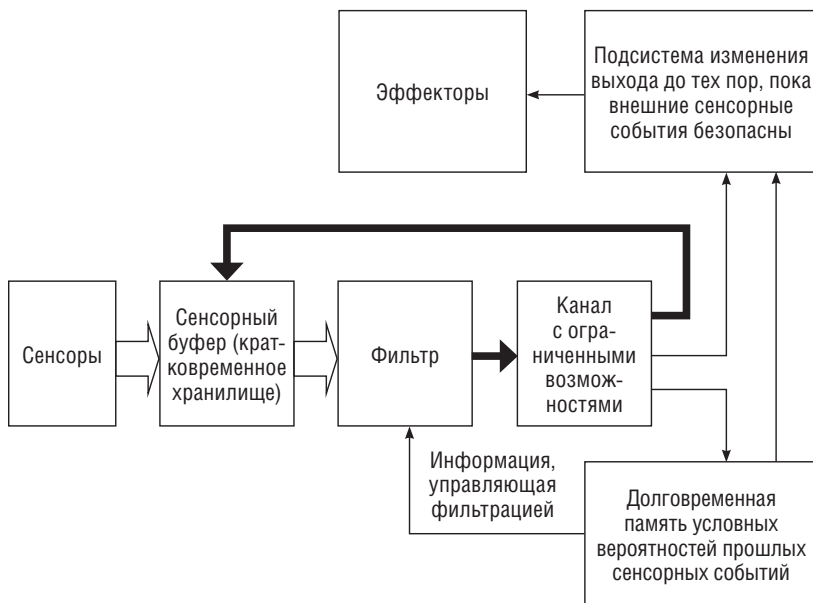


Рис. 1.2. Переработка информации нервной системой человека, согласно гипотезе Бродбента

Таким образом, канал с ограниченными возможностями осуществляет категоризацию сенсорных событий и их трансформацию к виду, необходимому для хранения в долговременной памяти. В этом смысле ограниченность канала следует понимать, как его способность работать сугубо последовательно и осуществлять категоризацию сенсорных событий по принципу «одно событие за один раз» в течение некоторого фиксированного промежутка времени.

Фильтр Бродбента, изображенный на рис. 1.2, является, по сути, переключателем, который пропускает в канал с ограниченными возможностями только релевантные сенсорные события на которых сфокусировано внимание. Эксперименты показывают, что фильтр осуществляет полномасштабное переключение с одного сенсорного события, хранящегося в сенсорном буфере, на другое (например, с сенсорного события, транслируемого в правое ухо, на сенсорное событие, транслируемое в левое ухо) примерно за 1-2 секунды. Таким образом, структура, изображенная на рис. 1.2, предполагает, что если сенсорное событие, находящееся в сенсорном буфере не подверглось селекции, и время его нахождения в буфере превысило время естественного затухания, то оно безвозвратно пропадает.

Информация в долговременной памяти хранится в форме, позволяющей учитывать корреляцию нескольких, следующих друг за другом событий, и характеризуется Бродбентом при помощи условных вероятностей. Эта информация, используется для воздействия на окружающую среду при помощи эффекторов. Предполагается, что такое воздействие осуществляется дифференцировано, в зависимости от того, является ли внешнее сенсорное событие опасным или безопасным для организма.

Фильтр Бродбента работает как простой переключатель и хорошо объясняет результаты ряда экспериментов по дихотическому слушанию. В частности, он отвечает на вопрос о том, почему в некоторых экспериментах субъект абсолютно не воспринимает нерелевантные сенсорные события. Объяснение заключается в том, что фильтр Бродбента отключает поток этих сенсорных событий от канала, осуществляющего категоризацию и восприятие, и они исчезают в сенсорном буфере в результате естественного затухания. Однако результаты некоторых

других экспериментов по дихотическому слушанию не могут быть объяснены в рамках концепции фильтра-переключателя Бродбента. Например, фильтр Бродбента не объясняет следующий факт. Если субъект сфокусировал внимание на разговоре с собеседником в комнате, где находится много других разговаривающих людей, то он воспринимает только речь своего собеседника. Остальные разговоры становятся для субъекта нерелевантными и не воспринимаются. Однако, если среди этих нерелевантных сенсорных событий прозвучит фамилия субъекта или словосочетание, которое семантически сильно связано со словами из релевантного потока, то субъект, как правило, воспримет такое сенсорное событие.

Трейсман провела серию собственных экспериментов по дихотическому слушанию и показала в каких случаях нерелевантные сенсорные события воспринимаются практически достоверно [37]. Таким образом представление фильтра в виде простого переключателя потоков сенсорных событий является существенным упрощением природы сфокусированного внимания. Фильтр, согласно гипотезе Трейсман, устроен сложнее и представляет собой не переключатель, а аттенюатор, который не отключает полностью поток нерелевантных сенсорных событий, а ослабляет его интенсивность до такой степени, что восприятие этих событий становится маловероятным. Трейсман вводит понятие порога распознаваемости для каждого сенсорного события. Только те сенсорные события интенсивность которых выше их порога распознаваемости имеют высокую вероятность быть воспринятыми. Смысл управления фильтрацией, согласно Трейсман, заключается в манипулировании порогами распознаваемости сенсорных событий. Устанавливая порог распознаваемости для некоторого сенсорного события ниже его интенсивности, фильтр Трейсман делает такое сенсорное событие доступным для восприятия. Однако, интроспекция и результаты ряда экспериментов по дихотическому слушанию, показывают, что существует класс сенсорных событий, которым имманентно присуще настолько низкое значение порога, что они распознаются даже в том случае, когда находятся в потоке нерелевантных событий. Отсюда следует, что канал с ограниченными возможностями (рис. 1.2), который осуществляет категоризацию, должен каким-то образом

уметь идентифицировать эти события на фоне рутинной перцепции релевантного потока сенсорных событий. Согласно гипотезе Трейсмана эту работу выполняет некая гипотетическая иерархическая система анализаторов (*hierarchy of analyzers*). К классу сенсорных событий с имманентно низким порогом распознаваемости относятся события, которые либо сигнализируют о потенциальной опасности, угрожающей субъекту, либо события, которые семантически сильно связаны с сенсорными событиями из релевантного потока.

Дойч и Дойч нашли более простое объяснение тому факту, что некоторые сенсорные события воспринимаются даже в том случае, когда они находятся в потоке нерелевантных событий. Они предложили гипотезу поздней селекции согласно которой: (1) как релевантные так и нерелевантные потоки сенсорных событий подвергаются категоризации и превращаются в перцептивные образы; (2) селекции подвергаются не сенсорные события, а перцептивные образы; (3) выбранный перцептивный образ используется в процессе решения текущей проблемы и запоминается в долговременном хранилище [40]. Иными словами, в психологическом процессе решения текущей проблемы используется только тот перцептивный образ на котором было сфокусировано внимание. Дойч и Дойч приводят ряд доводов, а также множество поведенческих и нейрофизиологических свидетельств в пользу гипотезы поздней селекции, однако не предлагают когнитивную модель системы, которая могла бы осуществлять такую селекцию.

На рис. 1.3 приведены структуры моделей ранней и поздней селекции в парадигме «вход-процесс-выход» согласно гипотезам Бродбента, Трейсмана, а также Дойч и Дойч.

Норман посчитал модель поздней селекции Дойч и Дойч наиболее адекватной результатам экспериментов по исследованию феномена сфокусированного внимания при восприятии и предложил принципы организации фильтра поздней селекции [41]. В своих рассуждениях Норман исходил из того что внимание необходимо для обслуживания главного психологического процесса, использующего как результаты восприятия, так и знания о внешнем мире. Психологический процесс, о котором идет речь, можно рассматривать как процесс решения организмом некоторой текущей проблемы, порожденной внешним миром.

Внимание необходимо для того, чтобы в каждый момент времени предоставлять этому процессу наиболее подходящий или уместный (pertinent) перцептивный образ. Поэтому способ оценки степени уместности перцептивных образов является ключевым в фильтре поздней селекции Нормана.

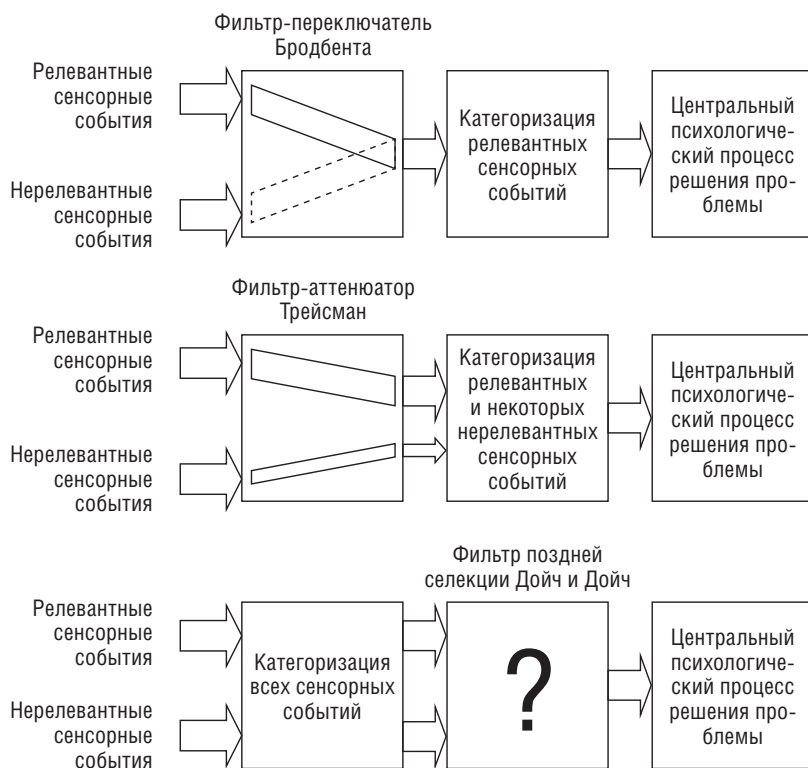


Рис. 1.3. Селективные модели внимания Бродбента, Трейсмана, Дойч и Дойч

При описании механизма поздней селекции Норман выдвинул несколько предположений. Во-первых, он предположил, что оценка

уместности перцептивных образов формируется некоторым осознанным, а не автоматическим психологическим процессом. Норман считает, что это процесс рассуждений или умозаключений. Во-вторых, оценки уместности предопределены в том смысле, что они формируются до того, как образуется множество перцептивных образов и, в некотором смысле, ожидают появления этих перцептивных образов в памяти. В третьих, информация о том, какой перцептивный образ был в итоге выбран на текущем шаге решения проблемы внешнего мира, передается в процесс, формирующий оценку уместности, и используется этим процессом для формирования оценок уместности на следующем шаге.

Рис. 1.4 иллюстрирует работу фильтра поздней селекции Норман.

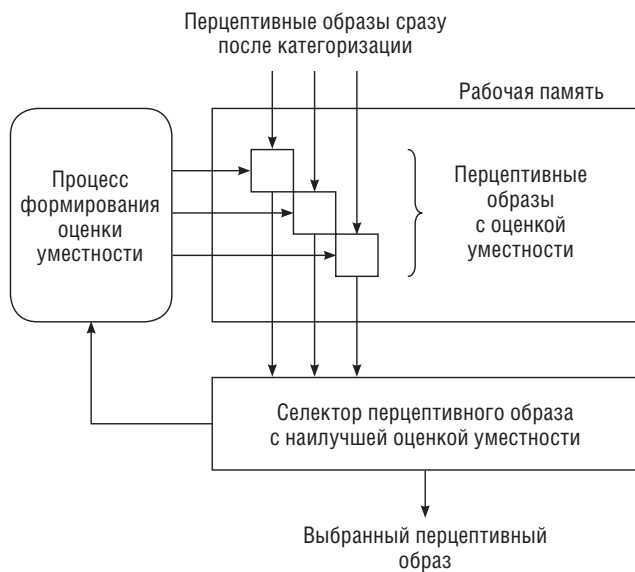


Рис. 1.4. Фильтр поздней селекции согласно гипотезе Норман

Поздняя селекция, согласно гипотезе Норман, осуществляется с использованием памяти в которую попадают перцептивные образы,

соответствующие как релевантным, так и нерелевантным сенсорным событиям. На рис. 1.4 эта память названа рабочей. Понятие памяти в когнитивной психологии обычно не тождественно понятию запоминающее устройство в компьютерных науках. Рабочая память на рис. 1.4 не только хранит объекты, соответствующие перцептивным образам, но и предполагает возможность выполнения операций над этими объектами. Перцептивные образы попадают в память, снабженные некоторым количеством атрибутов. Находясь в памяти каждый перцептивный образ получает дополнительный атрибут в виде оценки уместности. Назначая высокое значение уместности, перцептивному образу, который соответствует сенсорному событию из нерелевантного потока (например, фамилии субъекта), можно заставить субъекта воспринять это сенсорное событие.

Норман считает, что модель поздней селекции и выбор перцептивного образа на основе оценки его уместности (пригодности для решения текущей проблемы) является более универсальной чем модели ранней селекции, поскольку можно сформулировать ограничения, при которых модель поздней селекции работает либо как модель Бродбента, либо как модель Трейсман.

Современные варианты теории поздней селекции разрабатывались применительно к зрительному вниманию на основе экспериментов, посвященных исследованию процесса зрительного поиска, который, сегодня, является одной из наиболее разработанных областей в исследовании зрительного внимания. Результаты экспериментов по решению задач зрительного поиска используются, не только для моделирования сфокусированного внимания, но позволяют, ответить на некоторые вопросы относительно природы распределённого внимания. Один из главных вопросов в области зрительного внимания состоит в том, осуществляется ли поиск целевого объекта в зрительном поле параллельными или последовательными процессами. Согласно тезису об ограниченности системы обработки информации человеком, механизм внимания, в общем случае, ограничивает количество сенсорной информации, поступающей в единицу времени, на вход системы категоризации и восприятия, защищая тем самым эту систему от перегрузки. Однако, как показывают результаты экспериментов, в зрительном

поиске принимают участие механизмы распределённого внимания, благодаря которым человек способен отметить появление целевого объекта в любой точке зрительного поля в любой момент времени, а при некоторых условиях зрительный поиск осуществляется и вовсе до включения в работу механизмов внимания. Поэтому переработка информации при решении задачи зрительного поиска может быть последовательно-параллельной. Олпорт полагает, что зрительный поиск осуществляется системой, включающей множество параллельно работающих информационных каналов [54]. Вулф выдвигает предположение о том, что эта система устроена по принципу конвейера, а единственной сугубо последовательной операцией на этом конвейере является операция категоризации текущего объекта и его привязка к классу объектов в долговременной памяти. Внимание участвует в выполнении именно этой операции [55,56].

В ряде работ выдвигается гипотеза о том, что в процессе зрительного восприятия, сфокусированное внимание не является перманентно функционирующим процессом. Восприятие может осуществляться автоматически до тех пор, пока для этого есть необходимые условия и достаточные ресурсы. Янтис и Джонстон сформулировали гипотезу «переменного местоположения» селекции, зависящего от требований задачи [57]. Лэви выдвинул предположение о том, что восприятие представляет собой автоматический процесс, и не является объектом сознательного контроля до тех пор, пока для его осуществления хватает ёмкости системы переработки информации. В противном случае в действие вступают механизмы отбора, именуемые вниманием [58].

Доминирующей теорией селективного внимания, применительно к проблемам зрительного поиска, является *теория интеграции признаков*, предложенная Трейсман [59–62]. Теория объясняет способность зрительной системы человека быстро обнаруживать объекты, для последующего анализа, работой механизма сфокусированного внимания и подтверждает результаты экспериментальных исследований Сперлинга, указывающие на существование памяти, которая кратковременно удерживает данные об объекте восприятия [63]. Позже Найсер назвал эту память «иконической» [43].

Трейсман предполагает, что образ любого объекта, на котором сфокусировано внимание, формируется в виде совокупности его визуальных признаков. Такими признаками могут быть: цвет объекта, его ориентация, размер, направление движения и прочие признаки, различимые зрительным анализатором. Признаки регистрируются на ранних стадиях анализа зрительного поля параллельными процессами и автоматически (без участия сознания). Процесс категоризации осуществляется на более позднем этапе и требует участия сознания. Принципы организации системы зрительного поиска, на которых основывается теория интеграции признаков Трейсман можно сформулировать следующим образом.

Принцип 1. Любой объект наблюдения характеризуется совокупностью визуальных признаков, которые выделяют его среди окружения. Человек не способен осознанно воспринимать объект без привязки к его признакам.

Принцип 2. Существует два процесса влияющие на направленность внимания и селекцию целевого объекта: один из них нацелен на обработку визуальных признаков всех объектов, находящихся в поле зрения, другой — на комбинирование этих признаков для идентификации целевого объекта. В совокупности оба эти процесса дают возможность сформировать образ целевого объекта в виде «досье объекта».

Принцип 3. Обработку сенсорной информации, поступающей на вход зрительного анализатора, можно разбить на два этапа. На первом этапе осуществляется относительно быстрая и параллельная обработка, которая происходит автоматически и неосознанно. На втором этапе осуществляется относительно медленная и последовательная обработка с участием сознания.

Принцип 4. Время, необходимое для фокусировки внимания на объекте восприятия и его селекции, увеличивается с увеличением количества значимых визуальных признаков объекта.

Принцип 5. Будучи единожды сформированным, «досье объекта» позволяет осуществлять автоматический мониторинг изменений в объекте до тех пор, пока эти изменения остаются в ожидаемых пределах. Однако, как только изменения в объекте выходят за ожидаемые

пределы, для обновления информации об объекте опять требуется участие сознания.

Принцип 6. Фокусировка внимания и селекция объекта восприятия происходит на этапе последовательной обработки. Если селекция не произошла, то это означает, что комбинированию подверглись признаки различных объектов на случайной основе.

На рис. 1.5 представлена структура модели селективного зрительного внимания согласно гипотезе Трейсмана.

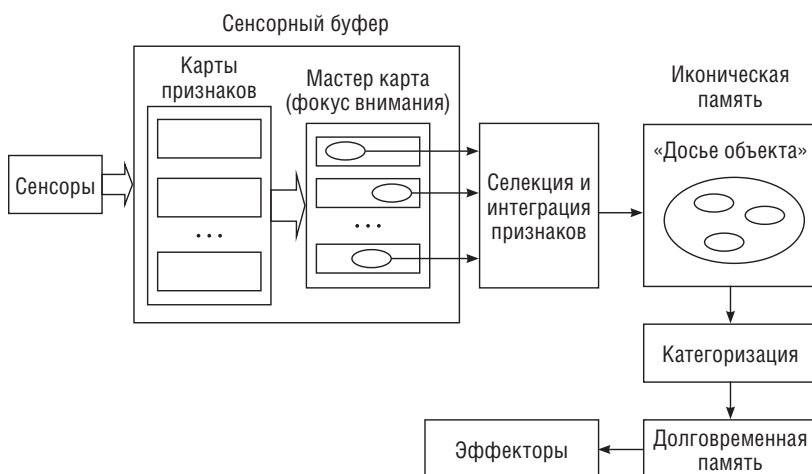


Рис. 1.5. Структура модели селективного зрительного внимания согласно теории интеграции признаков Трейсмана

Трейсман отмечает, что фокусировка внимания не является перманентным процессом, а включается эпизодически при первичном формировании или изменении «досье объекта».

Процессы, составляющие два этапа обработки сенсорной информации, отмеченные в принципе 3, различаются по отношению: (1) к алгоритмам обработки (на первом этапе работают параллельные алгоритмы, а на втором — последовательные); (2) к скорости обработки (на

первом этапе высокая скорость, а на втором — низкая); (3) к способом кодирования данных (на первом этапе кодируются визуальные признаки объектов, а на втором — осуществляется категоризация всего объекта); (4) к задаче поиска целевого объекта (процессы первого этапа не зависят от поставленной задачи, а процессы второго этапа — зависят).

На первом этапе процесса восприятия зрительной информации происходит построение набора, так называемых «карт признаков» (feature maps) всего зрительного поля, каждая из которых кодирует определённый признак зрительного стимула (цвет, ориентация, размер и т.п.) Затем из «карт признаков» формируется «мастер карта размещения» (master map of locations), соответствующая тому участку зрительного поля на котором сосредоточен фокус внимания. Трейсмэн называет его «attentional spotlight». Селекции и интеграции подвергаются признаки объектов, находящиеся не в «картах признаков», а в «мастер карте размещения».

Трейсмэн метафорически представляет работу зрительного внимания, функционально схожей с «прожектором» и «клеем». Прожектор высвечивает определённый участок на карте зрительного поля, а клей соединяет имеющиеся на этом участке зрительные признаки в объект восприятия. Чтобы воспринять весь набор объектов в поле зрения, фокус внимания должен последовательно перемещаться от одного местоположения к другому. Это порождает последовательную обработку на втором этапе восприятие зрительной информации.

На втором этапе происходит интеграция признаков и селекция объекта восприятия. Выбранный объект размещается в иконической памяти, классифицируется и переносится в долговременную память.

«Досье объекта» позволяет осуществлять мониторинг изменений объекта до тех пор, пока эти изменения остаются в ожидаемых пределах. Как только изменения объекта выходят за ожидаемые пределы, для обновления информации об объекте опять требуется участие внимания и процесс повторяется вновь. Задача зрительного поиска, согласно теории интеграции признаков, тем сложнее, чем большим количеством признаков отличается воспринимаемый объект.

Теория интеграции признаков Трейсмэн получила свое дальнейшее развитие в теории сходства Дункана и Хамфриса [64,65], теории

интерференции Шапиро и Реймонда [66–68], а также теории управляемого поиска Вульфа [69–71].

Теория сходства Дункана и Хамфриса, а также её модификация — *теория интерференции Шапиро и Реймонда*, были разработаны для объяснения процесса пространственного зрительного поиска и послужили, в свою очередь, предтечей для объяснения зрительного поиска в условиях быстрой смены зрительных стимулов. Согласно этим теориям процесс зрительного поиска включает три основных этапа: (1) этап параллельного построения перцептивных описаний стимулов, находящихся в зрительном поле; (2) этап отбора стимулов, путем сопоставления полученных описаний с внутренними шаблонами, описывающими целевые стимулы; (3) этап передачи отобранных стимулов в кратковременную память для их осознания.

Зрительные стимулы попадают в кратковременную память на основе конкуренции согласно их «весу», зависящему от степени близости описаний стимулов к текущим внутренним шаблонам. Суммарный «вес», который может приписываться стимулам, также ограничен. Поэтому сложность поиска целевого объекта в зрительном поле возрастает как функция степени сходства его описателей с отличительными признаками, а также отличительных признаков между собой. Теория сходства Дункана и Хамфриса и теория интерференции Шапиро и Реймонда объединяют представления о внимании как о механизме фильтрации путем селекции, и представления о внимании как о ментальном ресурсе, который необходим для решения тех или иных психологических проблем.

Вульф предложил *теорию управляемого поиска*, которая существенно дополняет и расширяет теорию интеграции признаков Трейсмана. Теория управляемого поиска предполагает, что анализ зрительного поля начинается с параллельной работы нескольких восходящих процессов, осуществляющих преобразование физических признаков зрительных стимулов в атрибутивные описания и формирование множества «карт признаков» (feature maps). Например, одна из карт признаков может содержать значение атрибута «цвет» для всех объектов, находящихся в зрительном поле, другая — значение атрибута «ориентация на плоскости» и т.д. Если целевой объект задан единственным

отличительным признаком, то дальнейший поиск осуществляется в соответствии с теорией интеграции признаков Трейсман. Если же целевой объект задан сочетанием нескольких признаков, то в действие вступает нисходящий процесс, управляющий дальнейшим процессом поиска. Нисходящий процесс направлен на карты признаков. Его задача выделить и активировать те карты, которые содержат предопределенные атрибуты поиска. Например, предопределенными атрибутами поиска могут быть: «цвет», «ориентация на плоскости» и «тип фигуры» со значениями: «черный», «горизонтальный» и «линия», соответственно.

Теория управляемого поиска Вульфа рассматривает внимание как ментальный ресурс, который выделяется нисходящему процессу, осуществляющему управляемый поиск. Выделение ресурса внимания происходит автоматически, на основе информации, содержащейся в «карте активации внимания» (activation map). Вульф выдвигает гипотезу о том, каким образом может формироваться содержимое карты активации внимания и каким образом на основе этой информации выделяется внимание при зрительном поиске.

Модели селективного внимания для случая восприятия зрительных образов (Трейсман, Дункан и Хамфрис, Шапиро и Реймонд, Вульф), а также описанные ранее, модели селективного внимания для случая восприятия звуковых образов (Бродбент, Трейсман, Дойч и Дойч, Норман) построены исходя из незыблемости точки зрения, согласно которой селекция происходит *только в одном месте* цепи информационной переработки, осуществляющей восприятие. Местоположение этого единственного селектора и его природа являются предметом дискуссии. Отмеченная точка зрения, по всей видимости, является следствием представления восприятия в виде *однонаправленной* последовательности процессов преобразования информации, которая начинается сенсорным входом и завершается в долговременной памяти.

Эрдели, объясняя феномены, известные в психологии под наименованием перцептуальная защита (perceptual defence) и перцептуальная бдительность (perceptual vigilance) предложил *теорию гибкой и множественной селекции* [72]. Ряд экспериментов обнаружил повышение (перцептивная защита) или, напротив, понижение (перцептивная

схема, приведенная на рис. 1.6, содержит значительное количество неопределенности и может рассматриваться как первое приближение процесса более детальной разработки.

Ниже описаны основные принципы, лежащие в основе модели восприятия и множественной селекции Эрдели и их экспликация в соответствии с публикацией [72].

Принцип 1. Модель предполагает мультисистемный характер когнитивной обработки. Вся когнитивная система состоит из множества подсистем, которые, в свою очередь, могут быть представлены некоторым количеством подсистем более низкого порядка. В основе каждой из подсистем лежит соответствующая память — долговременная, кратковременная и иконическая.

Принцип 2. Поток входных данных, обозначенный на рис. 1.5 сплошными линиями, непрерывно преобразуется при переходе от одной подсистемы к другой и является *разнонаправленным*. Данные могут перемещаться как в прямом, так и в обратном направлении.

Принцип 3. Подсистемы осуществляют взаимные консультации, обозначенные на рис. 1.6 пунктирными линиями. Консультации не предполагают передачу содержимого памяти. Изучение содержимого памяти одной подсистемы при помощи другой подсистемы не порождает сохранения изучаемых данных или их понимание. Таким образом, долговременная память может изучать и анализировать данные в иконической памяти, но это изучение само по себе не приводит к осознанию анализируемых данных и их сохранению в долговременной памяти. Сохранение осуществляется посредством выполнения *управляющих команд*, которые обозначены пунктирными линиями со стрелками. Например, перемещение содержимого кратковременной памяти в долговременную память осуществляется при выполнении команды, которая порождает последовательность следующих операций: кодирование выбранной информации в кратковременной памяти; повторение для удержания в кратковременной памяти (*rehearse*) и объединение данных, удерживаемых в кратковременной памяти до тех пор, пока не осуществляется передача в долговременную память, и далее процесс повторяется. Узкое место в цепи операций осуществляющих информационную обработку изображений проявляется не при анализе данных,

содержащихся в изображении (icon), а при категоризации и осознании изображения.

Принцип 4. Консультации между подсистемами могут инициировать прерывание текущих операций с памятью. Например, долговременная память на основе анализа данных в иконической памяти может прервать дальнейшее кодирование информации, которая в данный момент находится в иконической памяти.

Принцип 5. Предполагается, что область, в которой, в итоге, осуществляется осознанная категоризация, находится в кратковременной памяти или рядом с системой кратковременной памяти. За пределами кодирующей системы, но перед долговременной памятью. Восприятие следует рассматривать как крайнее звено процесса осознания (в цепи предшествующих неосознанных процессов), которое расположено в области кратковременной памяти. Перцептуальная защита, согласно такому пониманию восприятия, означает неудачу эмоционального значимого сенсорного события достичь области кратковременной памяти для обработки.

Принцип 6. Модель, приведенная на рис. 1.6, не фиксирует специфическое местоположение восприятия, поскольку это понятие является одновременно и слишком произвольным и слишком неопределенным. Понимаемые в широком смысле, процессы восприятия могут мыслиться как интегрирующие полную последовательность процессов связанных с получением и объединением информации, начинающуюся сразу после сенсорного входа и заканчивающуюся перед постоянным хранением в долговременной памяти. В таком виде восприятие представляет не местоположение, а широкую область пространства обработки.

В соответствии с моделью множественной селекции Эрдели перемещение данных из иконической памяти в систему кодирования соответствует представлениям моделей ранней селекции. Селекцией данных на этом этапе могут управлять как долговременная память, так и результаты текущей переработки в системе кодирования. Перемещение данных из системы кодирования в кратковременную память соответствует представлениям модели поздней селекции. Селекция здесь обусловлена как текущими, так и устойчивыми предпочтениями субъекта.

Основная роль в структуре модели множественной селекции Эрдели отводится долговременной памяти. Как видно из рис. 1.6 долговременная память хранит *не только данные* (воспринятые образы, которые перемещаются в нее из кратковременной памяти), *но и процессы*, управляющие всеми действиями, связанными с восприятием. Пунктирные стрелки направлены из долговременной памяти практически на все остальные структурные элементы модели.

При разработке селективных моделей внимания почти всегда возникает вопрос о соотношении между бессознательными (автоматическими) и осознанными действиями в процессе восприятия и селекции. Шифрин и Шнайдер строят свою модель, делая акцент именно на разграничении автоматических и осознанных действий в процессе восприятия и переработки информации человеком [73].

Центральными структурными элементами модели Шифрина и Шнайдера являются долговременная и кратковременная память. Согласно их модели кратковременная память не является отдельным структурным элементом, как, например, в модели Эрдели на рис. 1.6, а представляет собой подвижный фрагмент долговременной памяти. В различные моменты времени этот фрагмент может находиться в различных местах долговременной памяти. По сути, кратковременная память, по Шифрину и Шнайдеру, это лабильная часть долговременной памяти, элементы которой в данный момент времени находятся *в активном состоянии*.

Организация долговременной и кратковременной памяти.

Память (как долговременная, так и кратковременная) состоит из большого количества связанных между собой узловых элементов. Связи между узлами формируются при обучении. Как узловые элементы, так и связи между ними имеют тенденцию усложняться по мере обучения. Большинство узлов находятся в пассивном состоянии и только часть узлов — в активном. Узлы могут быть активированы тремя источниками: сенсорными входами, другими узлами и вниманием. Активные узлы составляют кратковременную память. Человек может осознавать и оперировать только той информацией, которая находится в кратковременной памяти и ассоциирована с активными узлами. Информация становится недоступной сознанию (теряется или забывается), если

активный узел возвращается в пассивное состояние. Долговременная память хранит процедурные знания или навыки (последовательности реакций, релевантные состояниям окружающего мира) в виде *связанных последовательностей узловых элементов*. Эти последовательности могут быть инициированы либо внутренними процессами, либо внешними сенсорными событиями. Будучи инициированы, последовательности выполняются автоматически с минимальным потреблением ресурса внимания.

Узловые элементы долговременной памяти, или, по крайней мере, их часть объединены в уровни (levels). Таким образом, *автоматические последовательности*, в общем случае, состоят не из отдельных узлов, а из групп узлов или уровней. Объединение узлов в уровни предполагает направленность обработки в том смысле, что некоторые узлы могут активизировать другие узлы, но не наоборот. Имеет место сокращение объема данных при активизации последующих уровней. Например, визуально представленное слово может вначале обрабатываться уровнем, осуществляющим выделение контрастных областей, цветов и прочих признаков; затем активируется уровень, выделяющий линии, углы и другие близкие характеристики; затем активируется уровень, выделяющий буквы, их имена и вербальный код; затем — уровень, формирующий вербальный код слова; и, наконец, — уровень, формирующий значение и семантическую корреляцию слова.

Кратковременная память реализует две, в некотором смысле, различные базовые функции. Во-первых, это предоставление временного хранилища для информации, которая важна для организма в данный момент времени. В этом смысле, Шифрин и Шнайдер метафорически сравнивают кратковременную память с окном в долговременную память. Наличие такого окна позволяет уменьшить до приемлемых размеров количество информации, которой оперирует человек. Вторая роль кратковременной памяти заключается в предоставлении сознанию рабочего пространства для обдумывания и принятия решений.

Автоматические и контролируемые процессы. Автоматический процесс определяется как последовательность узлов, которая становится активной под влиянием некоторого особого инициализирующего стимула (внешнего или внутреннего происхождения). Активизация

автоматической последовательности может происходить без привлечения внимания субъекта. Несколько различных автоматических последовательностей могут содержать один и тот же узловой элемент. Например, две различные автоматические последовательности, формирующие: (1) реакцию водителя автомобиля на красный свет и (2) реакцию пешехода на красный свет, может содержать один и тот же узел осуществляющий восприятие красного света.

Формирование автоматической последовательности требует временных затрат. Полное формирование автоматической последовательности осуществляется в процессе тренировки, заключающемся в многократном повторении одних и тех же действий. Когда автоматическая последовательность инициализирована, ее узлы активизируются и она становится частью кратковременной памяти. В этот промежуток времени информация, ассоциированная с узлами, становится доступной сознанию. Однажды инициализированная автоматическая последовательность не обязательно будет успешно завершена. Вероятность этого зависит от порога активации (activation threshold) и силы стимула, осуществляющего инициализацию. Например, если субъекту предъявлено изображение буквы с низкой интенсивностью или на очень короткое время, то это изображение, при высоком пороге активации, может быть воспринято не как буква, а как набор линий.

Контролируемые процессы работают с текущей последовательностью активированных узлов. Только одна такая последовательность может контролироваться сознанием без интерференции. Поскольку активированные узлы находятся в кратковременной памяти, то природа ограничений, накладываемых на контролируемые процессы, определяется емкостными характеристиками кратковременной памяти.

Обучение и передача знаний в долговременную память. Знания могут передаваться из кратковременной памяти в долговременную. Передача знаний из кратковременной памяти в долговременную означает, что в долговременной памяти *формируются новые структурные элементы*, которых там раньше не было. Шифрин и Шнайдер считают, что отмеченный процесс формирования структурных элементов памяти связан либо с формированием новых связей между узловыми элементами памяти, либо с усилением уже имеющихся связей.

Новые знания формируются в процессе обучения субъекта. Согласно Шифрину и Шнайдеру в основе обучения лежит повторение с целью запоминания (rehearsal). То, что остается в долговременной памяти в результате восприятия, представляет собой воспринятый объект подвергнутый процессу повторения с целью запоминания. Поскольку некоторая степень внимания необходима для контролируемого процесса повторения с целью запоминания, то внимание является предпосылкой для запоминания в долговременной памяти.

Рис. 1.7 иллюстрирует структуру модели Шифрина и Шнайдера.

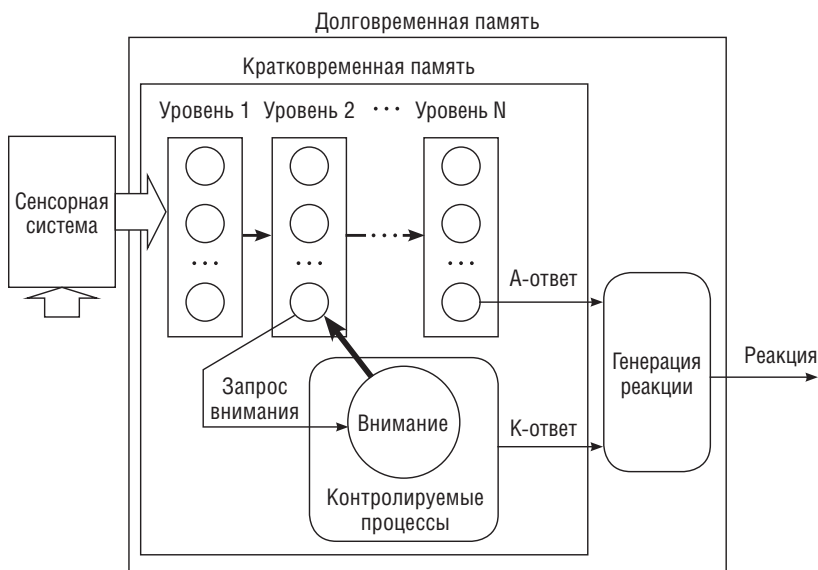


Рис. 1.7. Модель автоматической и контролируемой обработки информации Шифрина и Шнайдера.

На рис. 1.7 изображены N уровней узловых элементов, объединенных в автоматическую последовательность. Сами узловые элементы изображены в виде небольших окружностей внутри каждого из уровней. Стрелка, направленная из узлового элемента второго уровня к

блоку «внимание» символизирует необходимость подключения внимания к процессу автоматической обработки. Жирная стрелка, направленная из блока «внимание» на узловой элемент второго уровня означает, что контролируемый процесс подключился к процессу обработки. Стрелка, обозначенная надписью «А-ответ» (автоматический ответ), соответствует случаю, когда реакция формируется автоматическими процессами без участия внимания. Стрелка, обозначенная надписью «К-ответ» (контролируемый ответ) соответствует случаю, когда реакция формируется контролируемым процессом с участием внимания. Например, в ходе логических умозаключений. Модель предполагает, что в процессе решения ментальной задачи (например, поиска визуального объекта) автоматические и контролируемые процессы комбинируются.

Считается, что модель Шифрина и Шнайдера продолжает линию моделей поздней селекции Дойч и Дойч в одном, но важном пункте. Как и модели поздней селекции Дойч и Дойч, в модели Шифрина и Шнайдера предполагается полная обработка всех текущих сенсорных событий. Однако эта обработка распространяется только на те сенсорные события, для которых имеются соответствующие структуры в долговременной памяти. Если субъект занят решением хорошо знакомой проблемы (многokrатно решаемой ранее), то информационная переработка сенсорных стимулов и формирование реакции происходит быстро и без участия внимания. При решении новых задач подключаются медленные, последовательные процессы контролируемой переработки, где главную роль играет процесс контролируемого внимания, который может подключаться на любом этапе автоматической обработки.

1.2.2. Ресурсные модели внимания

Селективные модели внимания объясняют, главным образом, работу механизма внимания в процессе восприятия. Однако, феномен внимания обладает не только свойством селективности и проявляется не только в процессе восприятия. В объём понятия внимание включается также способность человека *осознанно* решать ментальные задачи.

Это могут быть задачи, связанные с осознанным выбором одного из входных сенсорных событий в соответствии с заданным набором признаков, или задачи принятия решений с соответствующей моторной реакцией. Одним из факторов успешного осознанного решения любой ментальной задачи является количество внимания, которое ей выделяется.

Берлин [74] обратил внимание на связь между вниманием и степенью возбуждения организма. Эксперименты показывают, что при некоторых условиях способность успешно решать ментальную задачу тем выше, чем выше уровень возбуждения. Однако, успешность решения задачи и уровень возбуждения не связаны линейной зависимостью, а подчиняются закону Йеркеса-Додсона [75]. Закон Йеркеса-Додсона является эмпирическим и, первоначально, был сформулирован для обобщения результатов экспериментов, полученных в опытах над мышами. Согласно этому закону, если уровень возбуждения непрерывно повышается, то способность эффективно решать ментальные задачи вначале также плавно повышается, достигая максимума, а затем начинает снижаться. Графически этот закон, часто, изображают в виде колоколообразной кривой, изображенной на рис. 1.8.



Рис. 1.8. Графическое представление закона Йеркеса-Додсона

Из графика следует, что имеется некоторый оптимальный уровень возбуждения, при котором успешность решения задачи (продуктивность ментальной деятельности) является наивысшей. Как недовозбуждение, так и перевозбуждение оказывают одинаково негативный эффект на продуктивность ментальной деятельности.

Канеман, учитывая закон Йеркеса-Додсона, предложил ресурсную модель феномена внимания. Он предположил, что на успешность решения задачи влияет только тот тип возбуждения, который способствует ментальному усилию и отождествил внимание с неким ментальным ресурсом без которого осознанная психическая деятельность невозможна [42].

Поэтому Канеман отождествляет такие выражения, как: «уделить внимание» (pay attention), «приложить ментальное усилие» (exert effort) или «инвестировать способность» (invest capacity). Одно из главных предположений Канемана заключается в том, что общее количество внимания, которое человек может выделить для решения ментальных задач в каждый момент времени, ограничено и, поэтому, организм вынужден решать задачу рационального распределения ограниченного ресурса внимания между несколькими задачами, требующими решения.

Теория Канемана не даёт полного ответа на вопрос о логической или физической природе ресурса внимания. Предполагается, что каждой ментальной деятельности соответствует некоторая *когнитивная структура* в долговременной памяти. Такая структура может находиться в активном или пассивном состоянии. Выделение ресурса внимания эквивалентно активизации той когнитивной структуры, которая релевантна задаче требующей решения. В общем случае, для того чтобы осознанная ментальная деятельность могла выполняться, необходимо чтобы соответствующая когнитивная структура получила как порцию информации со стороны сенсорной системы, так и ресурс внимания. Диаграмма на рис. 1.9 отражает базовые концептуальные элементы модели внимания Канемана.

В каждый момент времени существует некоторое конечное множество ментальных задач, которые претендуют на выделение ресурса внимания. Предполагается, что каждой из задач соответствует



Рис. 1.9. Модель внимания Канемана.

Пунктирные линии символизируют возможность увеличения или уменьшения количества общего ресурса внимания.

когнитивная структура в долговременной памяти. Только те когнитивные структуры, которые были выбраны, получили ресурс внимания и, возможно, порцию сенсорной информации становятся активными, а соответствующая им ментальная деятельность выполняется осознанно. Канеман предполагает, что для автоматического выполнения ментальных процессов достаточно, чтобы соответствующие когнитивные были только выбраны и получили сенсорную информацию. Для таких задач нет необходимости выделять ресурс внимания. Поэтому, модель, приведенная на рис.1.9, рассматривает только задачи, решаемые осознанно. Рациональным является предположение, что когнитивная структура, которая получила ресурс внимания, может изменяться в процессе решения задачи, и это — главное отличие осознанного решения задачи от автоматического. При

автоматическом решении задачи соответствующая ей когнитивная структура остаётся неизменной.

Различные ментальные задачи требуют различное количество ресурса внимания или различный «размер» когнитивной структуры. В тех случаях, когда задача не получает достаточное количество ресурса внимания, она либо не решается, либо решается с ошибками. Таким образом, задача не решается в том случае, когда она: (1) недополучила необходимого ресурса внимания; (2) не получила достаточное количество сенсорной информации. Так, например, если в некотором тексте отсутствует часть букв, то мы можем, сконцентрировав внимание (привлекая дополнительные знания и увеличивая «размер» когнитивной структуры) восстановить текст в исходном виде. Однако ясно, что если в тексте отсутствует слишком большое количество букв, то никакая концентрация внимания не позволит его восстановить.

Модель Канемана, приведенная на рис. 1.9, содержит два важных элемента управления: *стратегия распределения ресурса* (allocation policy) и *оценка потребности в ресурсе* (evaluation of demands). Количество ресурса, которое необходимо и достаточно для решения задачи имманентно присущее самой задаче. Элемент модели, названный «оценка потребности в ресурсе», определяет это количество ресурса и выделяет его. Это происходит только в том случае, если задача выбрана вторым элементом стратегии распределения ресурса. Не все задачи могут получить ресурс внимания, а только те, которые выбраны стратегией распределения ресурса.

Канеман не относит элементы модели «оценка потребности в ресурсе» и «стратегия распределения ресурса» к метальным задачам, которые сами потребляют ресурс внимания. Поэтому, будем считать, что эти задачи выполняются автоматически без участия сознания. Работа стратегии распределения ресурса подчиняется следующим четырём принципам.

Принцип продолжительных диспозиций (enduring dispositions). Согласно этому принципу ресурс внимания должен произвольно выделяться для решения таких задач, как, например, наблюдение за движущимся объектом, внезапно появившемся в поле зрения, или слушание разговора, в котором упомянуто ваше имя. Этот принцип

применим во всех случаях, когда в окружающем мире появляется новое, экстраординарное и подозрительное сенсорное событие.

Принцип краткосрочных намерений (momentary intention). Согласно этому принципу ресурс внимания должен выделяться осознанно и на добровольных началах для решения таких задач, как, например, слушание голоса в правом наушнике, разыскивание рыжеволосого мужчины со шрамом. Этот принцип предполагает также, что ресурс, выделенный для решения задач, перешедших в ранг рутинных уменьшается, что, с одной стороны, приводит к торможению решения рутинной задачи, а, с другой — высвобождает ресурс для решения задач, связанных с обработкой новых и подозрительных стимулов.

Принцип оценки потребности в ресурсе. Согласно этому принципу, если две задачи требуют больше ресурса, чем имеется в наличии, то одна из них завершается. В том случае, если детектируется подозрительное сенсорное событие, то этот принцип позволяет прогнозировать потребность в ресурсе для задач обработки подозрительных событий. Убыстренное движение глаз и наостренные уши у кошек и собак являются признаком готовности к решению задачи, связанной с обработкой подозрительных сенсорных событий. Тревожный звук с конкретного направления является тем признаком, который вызывает перераспределение ресурса с целью облегчения регистрации и обработки стимулов, поступающих с этого направления.

Принцип регуляции уровня возбуждения. Согласно этому принципу, если общего ресурса недостаточно, то его можно увеличить путём увеличения уровня возбуждения. В том случае, когда детектируется подозрительное сенсорное событие, то уровень возбуждения и общий ресурс внимания повышаются. Это делается с целью подготовки к возможному решению задачи по обработке подозрительного события.

Канеман считает, что даже в том случае, когда со стороны задач отсутствуют запрос о выделении ресурса, некоторое количество внимания всё равно зарезервировано. Этот ресурс используется для непрерывного мониторинга окружающего мира и является резервным. Опыты показывают, что резервный ресурс может, тем не менее, частично использоваться, если возникает потребность в увеличении ресурса для решения первоочередной задачи.

Существует взаимная зависимость между степенью возбуждения, общим ресурсом внимания и множеством активных задач. Если для решения задачи требуется увеличение ресурса внимания, то это приводит к увеличению степени возбуждения, и, следовательно, к увеличению общего ресурса внимания. С другой стороны, если внешние детерминанты изменяют уровень возбуждения, то это сказывается на решении задач. Согласно Канеману регуляция уровня возбуждения выполняется автоматически и не находится под управлением сознания. Существуют внешние и внутренние источники возбуждения. *Внутренние источники* используются системой автоматического отслеживания требуемого ресурса. К *внешним источникам* относятся те источники, которые, безусловно, повышают возбуждение, даже тогда, когда в этом нет необходимости с точки зрения решения задачи. К внешним источникам относятся: тревога, страх, мускульное напряжение, сексуальное возбуждение, приём лекарственных препаратов. Увеличение возбуждения может быть зарегистрировано в следующих физиологических проявлениях: расширение зрачков, увеличение электрической проводимости кожи и учащение пульса.

Таким образом, закон Йеркеса-Додсона можно интерпретировать, как *зависимость внимания от возбуждения*. Поэтому объяснение этого закона связано с природой ресурса внимания. Одно из объяснений предлагает Истербрук [76]. Согласно Истербруку возрастание возбуждения приводит к более точному выбору когнитивных структур (к сужению диапазона когнитивных структур), которые организм использует для ментальной деятельности. При низком уровне возбуждении диапазон когнитивных структур широкий и включает как релевантные, так и нерелевантные структуры. Большая доля нерелевантных структур затрудняет решение задачи. При возрастании возбуждения количество нерелевантных структур уменьшается, и эффективность решения задачи увеличивается. При дальнейшем возрастании возбуждения часть релевантных когнитивных структур не попадает в диапазон и эффективность решения задачи снова уменьшается.

Попытка связать воедино концепции ментального ресурса и селективности была сделана в теории Джонстона и Хейнза [77]. Обсуждая селективные теории внимания, авторы занимают позицию близкую к

взглядам Эрдели [72]. В своей теории они утверждают, что селекция может произойти различными способами и на любом этапе всего континуума восприятия и формирования реакции. Поэтому, Джонстон и Хейнз определяют свою теорию как *мультимодальную теорию внимания*. Основным положением этой теории является положение о том, что селекция требует ментальных ресурсов. Величина этих ресурсов зависит от места и способа селекции. Расход ресурсов на осуществление селекции тем больше, чем дальше или глубже по цепи информационной переработки она совершается. Джонстон и Хейнз отрицают существование «узких мест» в цепи переработки информации и соответствующих им процессов селекции. Согласно авторам, *внимание само по себе является ограничением*, а его «узость» растёт при переходе от ранней к поздней селекции. Чем позже происходит селекция, тем больше информации воспринимается. Но за широту восприятия приходится расплачиваться снижением качества или степенью переработки релевантной информации. Единая, эффективная стратегия внимания заключается, по мнению авторов, в преимущественном использовании ранних способов селекции и периодическим кратковременным обращениям к поздним способам селекции.

Теорию внимания, опирающуюся на предположение о существовании единых ограниченных ресурсов переработки информации, в начале 1970-х годов разработала команда во главе с Познером и Снайдером [78,79]. Они выдвинули гипотезу о двух типах переработки информации и, соответственно, двух видах внимания: неосознанного и осознанного. В случае неосознанного внимания обнаружение, регистрация и переработка сенсорного события происходит автоматически. Акт такого внимания возникает без намерения и не интерферирует с другой умственной деятельностью, он сам и его продукт не осознаются. Сенсорное событие активирует определённый элемент долговременной памяти, и эта активация быстро распространяется к другим семантически родственным элементам. Осознанное внимание характеризуется тем, что субъект осознает процесс фокусировки внимания и его продукт, а акт такого внимания интерферирует с другой сознательной деятельностью. Внимание этого вида Познер называет «активным» и отождествляет его с функционированием некоего *центрального исполнительного*

устройства или процессора ограниченной мощности. Механизм осознанного внимания не влияет на работу механизма неосознанного внимания, хотя и тормозит процесс автоматической активации элементов долговременной памяти. Познер считал, что центральное исполнительное устройство едино, универсально и, в зависимости от задачи, может гибко подключаться на любых стадиях автоматической переработки.

При дальнейшей разработке представлений о функциях и механизмах внимания Познер отказался от концепции единого центрального исполнительного устройства и предположил, что внимание может быть специфично для различных модальностей и когнитивных систем.

Противоречие между теориями ранней и поздней селекции снимает теория Нормана и Боброва о процессах, ограниченных данными и ресурсами [80,81]. В основу своей теории авторы положили результаты экспериментов по решению, так называемых, двойных задач. Двойная задача предполагает, что субъект одновременно решает две задачи, и, следовательно, соответствующие когнитивные процессы должны конкурировать за имеющийся ограниченный ментальный ресурс.

В своей теории Норман и Бобров вводят несколько систем классификации когнитивных процессов переработки информации. Во-первых, все процессы разделяются на два класса, по отношению к направлению движения информации в процессе переработки: (1) «восходящая» переработка, или переработка, ведомая данными и (2) «нисходящая» переработка, или концептуально-ведомая переработка. Восходящая переработка инициируется входными сенсорными событиями, поднимаясь «снизу вверх» по цепи информационной переработки, вплоть до полной категоризации сенсорного события, и завершается в долговременной памяти. Нисходящая переработка управляется знаниями субъекта, находящимися в долговременной памяти и развивается в противоположном направлении. Поток информации, направленный «снизу вверх», в значительной степени отражает характеристики сенсорных событий как таковых (энергетические, пространственные и другие), а поток информации, направленный «сверху вниз», отражает специфику субъекта, воспринимающего сенсорное событие, его мотивацию, интересы и стремления. Оба процесса происходят одновременно и согласованно.

Во-вторых, Норман и Бобров классифицируют когнитивные процессы переработки информации по отношению к ограничениям, накладываемым на эти процессы. Эта классификация также дихотомическая и разделяет все процессы на два класса: (1) процессы, ограниченные данными и (2) процессы, ограниченные ресурсом. Выделение ментального ресурса процессам, ограниченным данными, не приводит к увеличению их эффективности. Эти процессы ограничены самими данными, поступающими либо от сенсорного входа, либо из долговременной памяти. Ограниченность данных может быть связана, например, с дефектами сенсорных событий или с неадекватностью информации, получаемой из памяти.

Эффективность процессов, ограниченных ресурсом, напротив, зависит от выделенного ресурса. Их эффективность тем выше, чем большее количество ресурса выделено. Как было отмечено ранее, особенно ярко эта зависимость обнаруживается при решении двойных задач, когда субъект должен уметь распределять имеющийся ограниченный ресурс внимания между двумя задачами.

Зависимость эффективности решения задачи от величины выделенного ей ментального ресурса для различных классов когнитивных процессов можно проиллюстрировать при помощи графиков, изображенных на рис. 1.10.

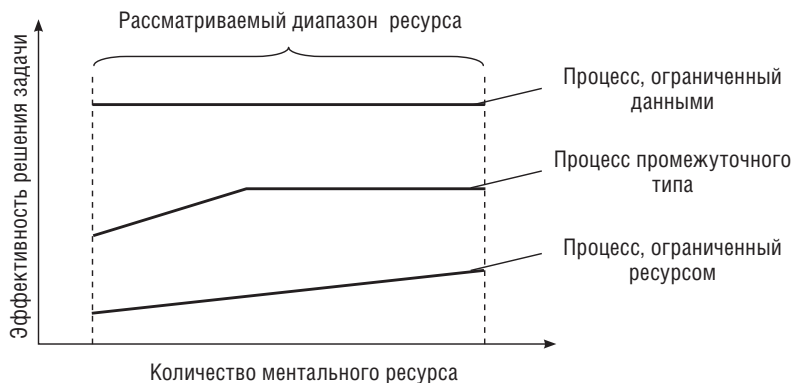


Рис. 1.10. Зависимость эффективности решения задач от величины выделенного ей ресурса для различных классов когнитивных процессов

Горизонтальный отрезок прямой, в верхней части рис. 1.10, соответствует процессу, ограниченному данными. Эффективность решения задачи остается неизменной, несмотря на увеличение количества выделяемого ресурса. Наклонный отрезок прямой, в нижней части рис. 1.10, соответствует процессу, ограниченному ресурсом. При возрастании количества выделенного ресурса, возрастает эффективность решения задачи. В средней части рис. 1.10 изображен график, соответствующий процессу, который частично ограничен ресурсом, а частично — данными. Вначале, при возрастании количества выделяемого ресурса эффективность решения задачи возрастает, но, начиная с некоторой величины ресурса, эффективность перестает увеличиваться. Норман и Бобров отмечают, что большинство ментальных процессов относятся именно к этому типу.

Теория Канемана о едином и ограниченном ментальном ресурсе, необходимом для решения задач, являлась, некоторое время, универсальным объяснением интерференций, наблюдаемых при решении некоторых двойных задач. Однако, вскоре, эта теория столкнулась с проблемой объяснения фактов успешного одновременного решения нескольких задач без какой-либо наблюдаемой интерференции. Так, например, увеличение сложности первичной, более приоритетной задачи, в ряде случаев не вызывало соответствующего снижения эффективности решения вторичной задачи. Кроме того, эксперименты показали, что при некоторых условиях человек способен одновременно и эффективно решать две сложные задачи, требующие значительного количества ментального ресурса. В попытке объяснить подобные факты были разработаны теории составных ресурсов.

Одной из наиболее известных теорий составных ресурсов является *теория составных ресурсов*, Уикенза [82–85]. Уикенз показывает, что разнотипные задачи, на различных стадиях обработки, используют не один и тот же ограниченный ресурс, как это предполагает модель Канемана, а несколько различных ресурсов. В этом случае задачи не конкурируют за использование одного и того же ресурса и между ними отсутствует интерференция. Интерференция наблюдается в том случае, когда решаются две однотипные задачи, которые на одной и той же стадии обработки конкурируют за общий ограниченный ресурс.

Уикенз не предлагает когнитивную модель восприятия и переработки сенсорных событий с участием внимания и множества разнотипных ментальных ресурсов. Он сосредоточил свои исследования на примерной классификации ресурсов и предложил систему трехмерной классификации, схематично изображенной на рис. 1.11.

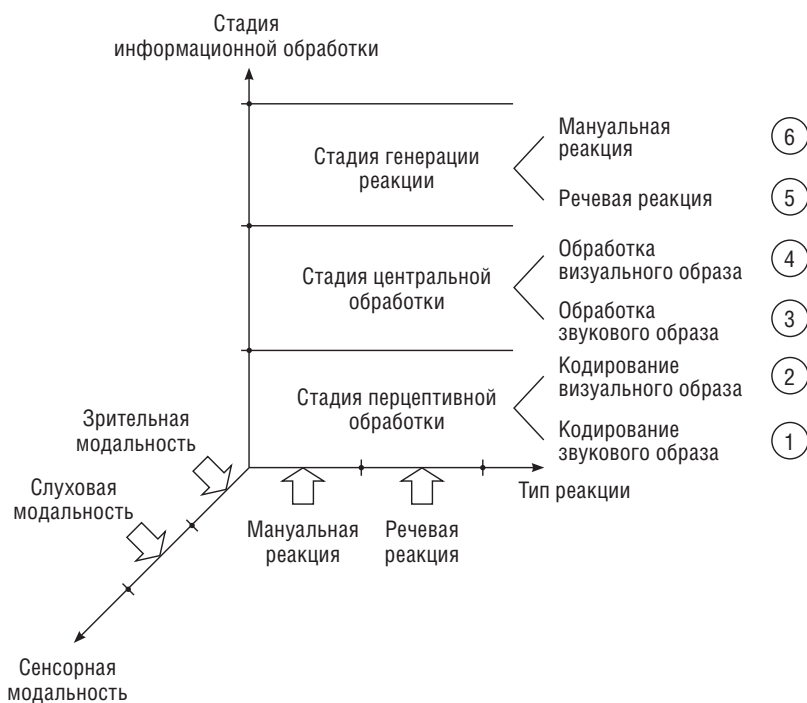


Рис. 1.11. Трехмерная система классификации ментальных ресурсов Уикенза

Пространство классов ментальных ресурсов Уикенза формируется тремя измерениями: (1) стадия информационной обработки; (2) тип реакции; (3) сенсорная модальность.

Измерение, названное «стадия информационной обработки» разделено на три участка:

- стадия перцептивной обработки;
- стадия центральной обработки;
- стадия генерации реакции.

Измерение «тип реакции» разделено на два участка:

мануальная реакция;
речевая реакции.

Измерение «сенсорная модальность» также разделено на два участка:

- зрительная модальность;
- слуховая модальность.

Таким образом, согласно Уикензу, когнитивная система человека использует следующие шесть классов ментальных ресурсов:

1. ресурсы, необходимые для перцептивной обработки и кодирования звуковых образов;
2. ресурсы, необходимые для перцептивной обработки и кодирования визуальных образов;
3. ресурсы, необходимые для центральной обработки и категоризации звуковых образов;
4. ресурсы, необходимые для центральной обработки и категоризации визуальных образов;
5. ресурсы, необходимые для генерации речевой реакции;
6. ресурсы, необходимые для генерации мануальной реакции.

Распределение ментальных ресурсов (распределение внимания) между двумя задачами будет тем эффективнее, а интерференция между ними будет тем меньше, чем меньше количество общих ресурсов эти задачи используют.

1.2.3. Деятельностный подход к моделированию внимания

Теории и модели внимания, рассмотренные выше, и в особенности селективные модели сфокусированного внимания, описанные в под-разделе 1.2.1, нацелены на объяснение результатов экспериментального

исследования восприятия. Деятельностный подход к моделированию внимания направлен на объяснение роли внимания в формировании целенаправленного поведения путем селекции последовательности действий, а также селекции и параметризации необходимых эффекторов. В основе рассмотренных выше теорий лежит аксиома об ограниченных возможностях системы обработки информации человеком, порождающая необходимость селекции. Природа, характеристики и месторасположение этого ограничения когнитивные психологи обсуждали на протяжении полувека и продолжают обсуждать до сих пор.

Одним из первых, кто поставил под сомнение тезис об ограниченных возможностях системы обработки информации человеком, был Найсер. Сохраняя представление о селективной функции внимания, Найсер отрицает существование специальных структур и процессов, осуществляющих селекцию. В качестве отправного пункта своей теории когнитивных процессов вообще, и внимания, в частности, Найсер использует идеи Бартлетта [86,87]. Эволюция взглядов Найсера на природу внимания прошла два качественно различных этапа. На раннем этапе Найссер строит теорию внимания, придерживаясь идеи двух последовательных стадий переработки информации: (1) предвнимательную и (2) внимательную или фокальную [43]. Он даёт им характеристику, сходную с той, которую сформулировал Бродбент в работе [88], но подчеркивает *активный характер* построения перцептивного образа. На начальной стадии переработки информации автоматически разворачиваются процессы пассивной предвнимательной переработки. Функция этих процессов заключается в обнаружении жизненно значимых сенсорных событий. Кроме того, они обеспечивают первичную «грубую» организацию структуры воспринимаемой информации. За процессами автоматической переработки следует стадия активного конструирования образа, названная фокальной переработкой. Нерелевантная информация не ослабляется и не блокируется при помощи какого-то специфического механизма, а просто пренебрегается субъектом, поскольку не отвечает текущим действиям, целям и ожиданиям.

Новая линия исследований Найсера получила наименование *подхода на основе концепции умений и навыков* [44]. Центральным понятием

этого подхода является понятие схемы или внутренней когнитивной структуры, участвующей в переработке входного потока сенсорных событий. Процесс восприятия предполагает циклически повторяющиеся действия по прогнозированию новых, ожидаемых схем и действия по поиску релевантной информации в окружающем мире. Набор ожидаемых схем вместе с доступной, на данном шаге восприятия, сенсорной информации определяют, что будет воспринято на последующем шаге. Найсер считает, что селективный характер использования воспринимаемых данных обусловлены не наличием каких-либо ограничений внутри самих данных, а предназначением соответствующей схемы и спецификой ее структуры, которые сформировались в процессе обучения, при неоднократном выполнении одной и той же деятельности. Отсюда следует, что никаких особых механизмов селекции не существует, а трудности одновременного выполнения двух действий могут быть преодолены путём их многократного повторения. Большинство автоматических операций, относимых ранее к классу предвнимательных процессов, Найсер объясняет работой простых, автономных и врождённых схем. Эти операции следует отличать от операций, обеспечиваемых функционированием сложных иерархически организованных схем, сформированных в процессе формирования навыков в процессе обучения путем многократного повторения действий. Наличие схем, обеспечивающих автоматическую деятельность, с точки зрения Найсера, обеспечивает принципиальную возможность одновременного восприятия релевантного и нерелевантного сенсорных событий при условии специально организованной, и продолжительной предварительной практики.

В исследованиях селективной функции внимания, несмотря на работы Найсера, длительное время доминировало представление об ограниченных возможностях системы обработки информации человеком. Ситуация изменилась в начале 1980-х годов, когда обозначилось направление теоретического анализа внимания не с точки зрения внутреннего кодирования или преобразований восходящего потока информации, а с точки зрения участия внимания в управлении моторными действиями. Значительный вклад в это направление исследований внимания внесли работы Оллпорта [45, 54, 90–91]. Взгляд Оллпорта на

организацию системы восприятия и переработки информации стали называть *теорией многоканальной или многопроцессорной переработки*.

Эмпирическое обоснование своей теории Оллпорт находит в результатах исследования распределенного внимания, а именно, в известном факте зависимости степени интерференции от различия одновременно выполняемых деятельности. Например, в ряде экспериментов, субъект мог воспринимать и безошибочно повторять вслух продолжительную речь и в то же самое время воспринимать сложные, не связанные с содержанием речи, визуальные сцены; либо воспринимать и безошибочно повторять вслух речь и в то же самое время играть на пианино по нотам. Результаты подобных экспериментов позволили Оллпорту сделать вывод о том, что в механизме внимания отсутствует единый центральный процессор общего назначения с ограниченной возможностью перерабатывать информацию. Оллпорт предлагает гипотезу, согласно которой сложные, но различные деятельности используют разные *специализированные процессоры с памятью*, которые могут работать параллельно. Оллпорт, однако, допускает, что в некоторый момент времени две деятельности могут пытаться использовать ресурс одного и того же процессора. В этом случае возникает интерференция. Вероятность успешного и одновременного выполнения двух деятельностей обратно пропорциональна количеству одновременно используемых процессоров. Если выполнение деятельностей не требует одновременной работы одного и того же процессора, то они могут выполняться успешно и параллельно без интерференции.

Оллпорт считает, что ни один из специализированных процессов не является главным, уникальным и универсальным. Каждый раз, в зависимости от требований задачи, внутренних и внешних условий её решения, формируется определённая совокупность процессоров. Для обоснования своей теории Оллпорт привлекает данные психологических, нейрофизиологических и нейропсихологических исследований.

Деятельностный подход к моделированию внимания, с опорой на идеи Найсера и Оллпорта, развивает Нойман [46,47]. Подобно Найссеру, он отрицает наличие единого ограниченного центрального процессора и, подобно Оллпорту, считает, что селекция нужна для управления

моторными деятельностями. Поскольку поведенческая цель может быть достигнута несколькими различными деятельностями, то для выбора конкретной деятельности необходима селекция.

Важный тезис теории Ноймана заключается в том, что ограниченная способность центра является следствием, а не причиной селективности восприятия. Избирательность восприятия необходима для управления деятельностями субъекта при движении к цели и предотвращения поведенческого хаоса, который может возникнуть, если при управлении деятельностью будет использована нерелевантная информация. Наблюдаемая ограниченность психики выступает, в этом смысле, как функционально полезный феномен, а не как ее недостаток.

Под деятельностью Нойман понимает последовательность осознанных (нерефлекторных) действий эффекторов, управляемую схемой. Схема, у Ноймана, это — благоприобретенные процедурные знания, которые формируются прижизненно в результате многократного решения поведенческих задач. Местом хранения схем является долговременная память. Вместо термина «процедурные знания» Норман использует термины «умения» и «навыки». Есть две важные характеристики умения. Во-первых, умение определяет не одну конкретную последовательность действий, а класс подобных последовательностей. Например, футболист, умеющий бить по мячу, будет использовать это умение, при нанесении ударов из разных положений. Во-вторых, умения организованы в иерархии. Так, удары по мячу как умения более низкого уровня подчиняются умению играть в футбол.

Для достижения определенной цели необходимо отобрать и подключить к управлению эффекторами конкретную схему или последовательность схем. В некоторый момент времени конкретным эффектором может управлять одна схема, но существует множество схем, которые потенциально могут управлять этим эффектором. Нойман отмечает, что любой организм физиологически ограничен в своей деятельности эффекторами, а именно: (1) количеством имеющихся эффекторов и (2) их параметрами, обеспечивающими генерацию требуемой реакции. Поскольку один и те же эффектор может быть использован разными схемами, то возникает проблема связывания конкретного эффектора с одной из схем. Решение отмеченной проблемы связывания

можно понимать как поиск ответа на вопрос: «Какие схемы, которые могут быть использованы для достижения цели, получают доступ к данной системе эффекторов?» Ясно, что для решения этой проблемы необходима селекция.

Кроме проблемы связывания схемы с конкретным эффектором, еще одна проблема, которая также, по мнению Ноймана, решается при помощи селекции. Система должна решить не только что делать, но и как делать. Действие может быть выполнено различными способами, отобрать же надо только один. Таким образом, теория Ноймана предполагает, что внимание решает проблемы, связанные с выбором и спецификацией действий.

Тезис о селективной функции внимания не означает, что внимание участвует во всех операциях селекции. Селекция действия не всегда осуществляется осознанно и, следовательно, не всегда требует участия механизмов внимания. Долговременная память включает как врожденные, так и приобретенные (сформированные в процессе обучения) схемы, внутри которых обработка информации также чрезвычайно избирательна, но осуществляется без участия внимания. Селекция такого рода происходит автоматически и обусловлена структурой схем. Для управления такими деятельностью как, например, поддержание равновесия тела при ходьбе или вождение автомобиля, складываются системы жестких сенсомоторных связей, которые обеспечивают чрезвычайную избирательность входной информации. В случаях таких автоматизированных действий никаких дополнительных механизмов селекции не требуется.

Кроме выбора и спецификации действий селекция необходима для актуализации информации в долговременной памяти. В этом смысле Нойман говорит о двух видах информации и соответствующей селекции: (1) внутренняя репрезентация состояния окружающего мира, представляющая собой все воспринятые сенсорные события (согласуется с моделями поздней селекции); (2) часть внутренней репрезентации, выбранная с целью обследования и модернизации (согласуется с моделями ранней селекции). Оба вида селекции служат, в конечном итоге, одной цели — обновлению информации в долговременной памяти и приведению ее в соответствие с текущим состоянием окружающего мира.

Обследование с целью модернизации является моторной деятельностью и предполагает селекцию эффекторов и их параметров.

На рис. 1.12 схематически представлены основные концепты и отношения между ними для деятельностной модели внимания Ноймана. Номера, приведенные на рис. 1.12, обозначают следующие типы селекции: 1 — селекция эффекторов; 2 — селекция параметров эффекторов; 3 — селекция сенсорных событий репрезентации; 4 — селекция части внутренней репрезентации с целью обследования. Селекция может осуществляться параллельно и одновременно.

Нойман пытается интегрировать модели ранней и поздней селекции, утверждая правоту и, в то же время, односторонность каждой из них. Он считает, что все сенсорные события перерабатываются полностью в том смысле, что актуализируют соответствующие внутренние репрезентации в долговременной. Однако изменение этой репрезентации, необходимое для адекватного отражения текущего состояния окружающего мира предполагает селекцию в долговременной памяти.

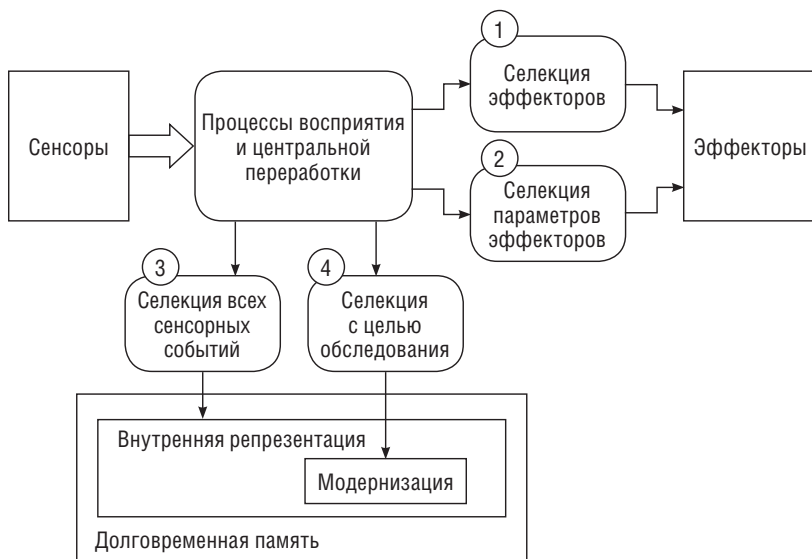


Рис. 1.12. Деятельностная модель внимания Ноймана

Нойман считает, что следует пересмотреть объем понятия «селекция» как переход с одной сущности на другую. Селекция, в механизме внимания, свидетельствуют не о переходе, а скорее об изменении степени и способа переработки информации в одной и той же когнитивной структуре. В подтверждение этого тезиса Нойман приводит данные нейрофизиологических исследований, говорящие об отсутствии информационного перехода между структурами центральной нервной системы по типу «все или ничего».

Норман и Шаллис предложили свое видение понятий «внимание» и «селекция» в формировании поведения и еще одну версию деятельностной модели внимания [48,92]. Они рассматривают свою работу как дополнение к теории автоматических и осознанных процессов Шифрина и Шнайдера в направлении управления автоматическими и осознанными процессами [73]. С точки зрения Нормана и Шаллиса термин автоматический процесс используется в четырех различных смыслах.

1. Некоторая деятельность, выполняемая без осознания субъектом деталей ее выполнения (например, ходьба по плоской и безопасной поверхности).
2. Выполнение некоторого действия, которое инициируется без преднамеренного осознания субъектом (например, субъект берет стакан с водой и начинает из него пить во время разговора).
3. Ситуация «ориентированного отклика», когда внимание автоматически фокусируется на некотором объекте без осознанного управления процессом фокусировки.
4. Ситуация, когда некоторая деятельность выполняется без интерференции с другими деятельностями и не нуждается в привлечении дополнительных ресурсов обработки.
5. Для запуска, по крайней мере, некоторых автоматических процессов требуется участие внимания. Затем они выполняются самостоятельно.

Деятельности, которые выполняются осознано и требуют участия внимания, с точки зрения Нормана и Шаллиса, делятся на пять категорий.

1. Деятельности, включающие планирование или принятие решений (например, путем умозаключений).

2. Деятельности, которые предполагают поиск дефектов или диагностики.
3. Деятельности, которые плохо изучены или содержат новые, ранее не используемые последовательности действий.
4. Деятельности, которые оценены как опасные или технически трудные.
5. Деятельности, которые требуют преодоления привычки или сопротивление искушению.

Норман и Шаллис постулируют, что любой деятельностью, выполняемой автоматически, или выполняемой осознанно, управляют процедурные знания в виде набора схем, находящихся в активном состоянии. Таким образом, одним из ключевых понятий теории Нормана и Шаллиса является понятие активной схемы как особой структуры знания, управляющей отдельной деятельностью или действием субъекта. Авторы различают схемы двух видов: схемы-компоненты (схемы, управляющие относительно простыми действиями) и схемы-источники (схемы, управляющие сложной деятельностью/поведением). Элементарные схемы-компоненты непосредственно связаны с эффекторами. Схемы взаимосвязаны и образуют иерархические структуры. Понятия «схема-компонент» и «схема-источник» относительны. Например, деятельность «вождение автомобиля» управляется иерархически упорядоченным набором схем. На вершине иерархии находится схема-источник, ответственная за весь набор навыков, требуемых для вождения автомобиля. Эта схема связана со схемами-компонентами, ответственные за такие навыки как «руление», «ускорение», «торможение» и т.п. Каждая из этих схем, в свою очередь, является схемой-источником по отношению к схемам, управляющим более простыми действиями, необходимыми, например для торможения.

Схемы могут находиться в одном из трех состояний: (1) состояние покоя; (2) состояние готовности и (3) состояние управления деятельностью.

В состоянии покоя схема не влияет на текущую деятельность и просто хранится в долговременной памяти.

Схема приходит в состояние готовности, если она активирована выше определенного порога, например ближайшей схемой-источником.

При достаточной степени активации схема выбирается и переходит в состояние актуального управления деятельностью.

Набор схем, обслуживающих автоматическую деятельность, авторы называют горизонтальным потоком/тредом (horizontal thread). Специализированные схемы горизонтального потока управляют деятельностью в соответствии со своей «программой». Такие схемы могут управлять привычными деятельностями, например «питье из стакана», «арифметический счет», «приготовление завтрака», «возвращения домой после работы». Формирование релевантного множества схем горизонтального потока осуществляет двумя структурными компонентами модели, названными «планирование с учетом соперничества» (contention scheduling) и «триггерная база данных» (trigger data base), которые, по мнению авторов, работают без участия внимания.

Блок «планирование с учетом соперничества» осуществляет выбор схем, релевантных деятельности, кооперацию этих схем в единый ансамбль и разрешение конфликтов между схемами, возникающих при конкуренции за одни и те же эффекторы. Основу функционирования этого блока составляют активизация «нужных» и торможение «ненужных» схем.

Блок «триггерная база данных» хранит временные последовательности для деятельностей и осуществляет точное распределение во времени (в соответствии со схемой) выполнение действий/деятельностей.

На рис. 1.13 изображена диаграмма, иллюстрирующая основные структурные элементы деятельностной модели внимания Нормана и Шаллиса.

При осознанной деятельности используется ограниченный ресурс внимания, участвующий в сознательном изменении уровня активации схем. Для этой цели в модель введен блок, названный авторами «руководящая система внимания» (Supervising Attentional System — SAS). Таким образом, Норман и Шаллис ассоциируют внимание с выходом блока «руководящая система внимания». Блок служит для оперативного краткосрочного повышения или понижения уровня активации определенных схем. Однако этим функции «руководящей системы внимания» не ограничиваются. Авторы отмечают, что в ряде случаев осознанное поведение может быть реализовано либо благодаря интеграции

нескольких существующих схем, либо путем *создания новой схемы*. В модели Нормана и Шаллиса внимание непосредственно не осуществляет селекцию схем. Эта функция реализуется блоком «планирование с учетом соперничества».

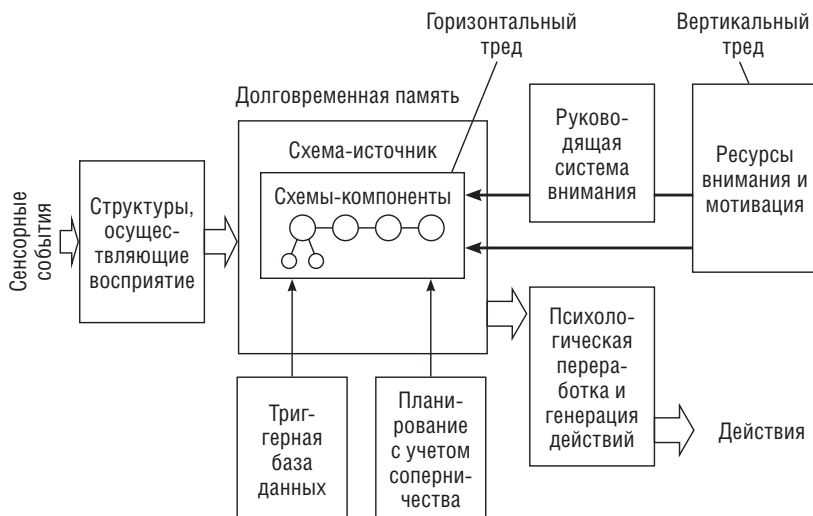


Рис. 1.13. Деятельностная модель внимания Нормана и Шаллиса.

В долговременной памяти хранится множество горизонтальных тредов. На рисунке, с целью упрощения, изображен только один горизонтальный тред, состоящий из одной схемы-источника

Долговременные и медленные изменения активации схем происходят благодаря мотивации субъекта. Дополнительные средства, необходимые для обслуживания осознанной деятельности, авторы называют вертикальным потоком/тредом (vertical thread).

Норман и Шалис формулируют четыре главных аспекта своей модели внимания Нормана и Шаллиса.

1. Деятельность, выполняемая осознанно, под контролем внимания субъекта, требует привлечения дополнительных средств к

тем средствам, которые используются при автоматическом выполнении деятельности.

2. Процессы с участием внимания могут осуществлять селекцию схем только путем их активации или торможения. Внимание к деятельности не является непосредственной причиной селекции последовательности деятельностей.
3. Процессы с участием внимания ответственны, главным образом, за инициализацию деятельности, а не за ее выполнение.
4. Селекция между конкурирующими последовательностями действий осуществляется посредством механизма «планирования и учета соперничества».

1.3. Выводы

Из приведенного обзора гипотез, теорий и моделей восприятия и внимания сделаем несколько обобщающих выводов, которые, позволят связать содержание первого раздела с последующим изложением.

Феномен внимания не является локальным, относящимся к фиксированному месту в цепи восприятия и переработки информации психикой человека. Феномен внимания проявляется: (1) в процессе перцепции (ранние гипотезы и модели внимания относились, главным образом, к перцептивному вниманию); (2) в процессе центральной переработки при выборе структурных элементов долговременной памяти; (3) в моторной деятельности при выборе одного из эффекторов и параметров работы этого эффектора.

Понятие внимания синонимично с понятием селекция. Проявление внимания к некоторой сущности есть, по сути, селекция одного из элементов этой сущности. Сущности, которые подвергаются селекции можно разделить на два класса: (1) блоки информации, которые подвергаются трансформации в процессе восприятия и переработки; (2) структурные элементы ментальной системы человека, часто квалифицируемые как ресурсы.

Проблема моделирования восприятия и внимания это, по сути, проблема моделирования всей когнитивной системы переработки

информации человеком от восприятия сенсорных событий и до генерации реакции. Рассмотренные модели всегда включают сенсорную систему, множество памятей (сенсорный буфер, ионическая память, кратковременная память, долговременная память), множество процессов, работающих в разные моменты времени и в разных местах всего континуума когнитивной обработки, а также систему эффекторов.

Существует множество различных гипотез, теорий и моделей восприятия и внимания. Каждая из них объясняет результаты соответствующих экспериментальных данных, полученных в искусственных лабораторных условиях. Отсутствие единой теории внимания, или единой когнитивной модели внимания может быть следствием того, что когнитивные психологи строят свои модели только на основе анализа поведения субъектов в искусственных лабораторных условиях, а не в условиях решения реальных проблем реального мира.

Презентация моделей в публикациях, посвященных моделированию внимания, осуществляется как при помощи слов, так и при помощи различных диаграмм. Вербальная презентация часто сопровождается формулированием выводов-принципов, лежащих в основе предлагаемой модели, и, как правило, содержит больше информации, чем графическая презентация. Это говорит о том, что в когнитивной психологии в настоящее время отсутствуют средства для адекватной, точной, полной и формализованной презентации когнитивных структур и моделей.

2 ФОРМАЛИЗАЦИЯ КОГНИТИВНЫХ МОДЕЛЕЙ ВОСПРИЯТИЯ И ВНИМАНИЯ

Как показал обзор когнитивных моделей восприятия и внимания, приведенный в первом разделе, когнитивные психологи испытывают трудности при представлении структур своих моделей в парадигме «вход — процесс — выход». Как правило, схемы и диаграммы, которые представляют структуру модели, в работах по когнитивной психологии, не изображают последовательность, состоящую из блоков, каждый из которых преобразует информацию, получаемую с выхода предыдущего блока, и передает ее на вход последующего блока. Эти схемы и диаграммы, скорее, определяют некоторое множество сущностей и отношения между этими сущностями. В качестве сущностей выступают: воспринимаемое сенсорное событие (на различных этапах его кодирования); структурные элементы когнитивной системы (селектор, кратковременная память, долговременная память, эффектор и т.п.) и то, что авторы называют психологическими процессами. Например, в модели множественной селекции Эрдели (см. рис. 1.6) базовыми сущностями являются: афферентная сенсорная память, иконическая память, кратковременная память и долговременная память. Между памятьями имеют место различные отношения. Характер одного из этих отношений предполагает, что передача данных из одной памяти в другую осуществляется не в процессе консультации между памятьями, а только при помощи специальных управляющих команд.

Кроме структуры любая система обладает поведением, которое, в некоторый момент времени, реализуется конкретной деятельностью, принадлежащей множеству потенциально доступных деятельностей. Ни в одной из рассмотренных, в первом разделе, моделей эти

деятельности не представлены диаграммами. Как правило, они ассоциируются с общими или частными психологическими процессами и, либо просто названы, либо описаны вербально и лапидарно.

Для многих разработчиков больших программных систем фактическим стандартом проектирования является Унифицированный Язык Моделирования (Unified Modeling Language — UML) [93]. Одно из характерных и отличительных свойств этого языка заключается в множественном представлении моделируемой системы. Язык является диаграмматическим и предполагает, что модель программной системы представляется в виде композиции унифицированных и абстрактных диаграмм. Степень формализации диаграмм достаточна для отображения их в программный код. Среди UML-диаграмм есть диаграммы, предназначенные для изображения структуры моделируемой системы, и диаграммы, предлагаемые для изображения поведения системы. Отмеченные свойства UML делают этот язык привлекательным средством моделирования не только программных, но и когнитивных систем. Поскольку UML ориентирован на отображение своих моделей в программный код, то это дает надежду на то, что UML-модели когнитивных систем могут быть относительно легко отображены в программные симуляторы когнитивных систем. В настоящем разделе UML используется для формализованного и унифицированного представления некоторых моделей восприятия и внимания, описанных в первом разделе.

Хотя степень формализации UML-диаграмм достаточно высока и позволяет использовать их как исходные спецификации для разработки программного кода, тем не менее, они содержат значительное количество неопределенности, усложняющее кодирование. Для уменьшения количества неопределенности UML-диаграммы дополняются описаниями либо на естественном языке, либо на искусственном языке, названном Языком Объектных Ограничений. (Object Constraint Language — OCL). OCL — это искусственный символьный язык, со строгим синтаксисом, предложения которого уточняют информацию, содержащуюся в UML-диаграмме [94]. OCL-спецификации записываются таким образом, чтобы не накладывать ограничения на способ реализации этих спецификаций в процессе кодирования. При изображении

моделей восприятия и внимания, в настоящем разделе, используется только UML и не используется OCL. Неопределенности, препятствующие кодированию симулятора внимания, описанного в четвертом разделе, разрешаются исследованиями, описанными в третьем разделе.

Для получения формализованных и унифицированных моделей восприятия и внимания путем отображения известных когнитивных моделей в UML-диаграммы нужен не весь арсенал UML, а только те его средства, которые используются для моделирования структуры системы, инвариантной к ее поведению, а также средства, которые используются для моделирования поведения системы с заданной структурой. В качестве таких средств авторы предлагают использовать *диаграмму классов* (моделирует структура) и *диаграмму деятельности* (моделирует поведение).

В объектно-ориентированном моделировании класс моделирует множество однотипных объектов, отличающихся именем и состоянием, но обладающих одинаковым поведением. Класс описывается набором атрибутов класса (называемых полями) и набором методов класса, моделирующих множество потенциальных действий допустимых для любого из объектов этого класса. Диаграмма классов, включает набор классов и отношения между этими классами. Отношения типизированы. Это означает, что отношения, используемые при синтезе диаграммы классов, принадлежат фиксированному набору типов отношений, разрешенных в UML.

В диаграмме деятельности поведение рассматривается как последовательности шагов-действий, приводящих к достижению одной или нескольких целей. Деятельность понимается в широком смысле. Это либо выполнение отдельного элементарного действия (соответствующего отдельному предложению программного кода), либо выполнение блока предложений, либо выполнение отдельного метода класса, либо выполнение группы логически связанных методов.

В настоящем разделе мы ограничимся только диаграммами классов, поскольку наш «исходный материал» — диаграммы, приведенные в первом разделе, а они, как правило, делают акцент на изображении структуры, а не поведения когнитивной системы. Мы рассматриваем диаграмму классов, как один из вариантов практической реализации

парадигмы «вещь — свойство — отношение», которая, как было отмечено в начале раздела, более естественна для представления структур когнитивных систем, чем парадигма «вход — процесс — выход». В работах Умова показано, что парадигма «вещь — свойство — отношение» является универсальной и может быть применена к представлению любой сущности окружающего мира [95]. Более того представление структуры в парадигме «вход — процесс — выход» является частным случаем представления структуры в парадигме «вещь — свойство — отношение». При определенных ограничениях из одной диаграммы классов можно получить несколько диаграмм типа «вход-процесс-выход».

Методика получения когнитивных моделей восприятия и внимания, приведенных в настоящем разделе, заключается в отображении известных вербальных и диаграмматических описаний моделей в UML-диаграммы классов. Первый шаг в этой работе заключается в трансформации онтологического базиса, используемого при разработке моделей когнитивными психологами (сенсорные события, перцептивное кодирование, память, схема, психологический процесс и т.п.) в онтологический базис объектно-ориентированного моделирования (класс, метод, поле, отношение и т.п.)

2.1. Класс-структурированные модели восприятия

Термин «объектно-ориентированное моделирование» является общепринятым и устоявшимся. Однако, поскольку моделирование структуры системы, при помощи диаграммы классов, предполагает, что структурным элементом диаграммы является класс, а не объект, в настоящем подразделе мы используем термин «класс-структурированное моделирование».

В качестве модели восприятия, которая будет предметом исследования и отображения в диаграмму классов фигурирует цикл восприятия Найсера, описанный в первом разделе (см. рис. 1.1 и публикацию 20), поскольку цикл Найсера можно рассматривать как модель, к которой применимо понятие структура.

Напомним, что Найсер синтезировал свою модель частично на основе идей теории перцептивных гипотез Брунера [16–18], а частично на основе идей экологической теории восприятия Гибсона [23]. Общим элементом модели Найсера и гипотезы Брунера является положение о том, что восприятие включается в контекст общего поведения. Общим элементом модели Найсера и теории Гибсона является положение о том, что восприятие включается в контекст той среды обитания, в которой находится субъект, а также наличие тесной взаимосвязи между восприятием и деятельностью субъекта. Модель Найсера представляет восприятие в виде циклически повторяющегося и непрерывного взаимодействия сенсорной системы, структур долговременной памяти и моторной системы. Это взаимодействие включает процессы: (1) предвосхищения/предчувствования поступающей внешней информации (формирование гипотетического набора схем); (2) двигательной моторной активности, которая способствует получению новой информации (перцептивные исследования с целью проверки когнитивной гипотезы и управляемые гипотетическим набором схем); (3) выбор и восприятие реальных сенсорных событий; (4) формирование нового гипотетического набора схем из предыдущего набора путем его редактирования. Найсер рассматривает человека (субъекта восприятия) как активную систему, которая влияет на процесс получения новых знаний из окружающего мира. Считается, что благодаря циклической модели восприятия Найсера в когнитивных науках появилось фундаментальное предположение о том, что личностно-зависимые знания, хранящиеся в памяти субъекта, влияют на процесс восприятия информации, поступающей из окружающего мира.

2.1.1. Классы сенсорных событий и схем гипотетического набора

Для разработки класс-структурированного представления модели восприятия Найсера проведём отображение базовых концептов, которыми пользовался автор, в концепты, необходимые для синтеза структуры модели в виде диаграммы классов.

Как и ранее, будем продолжать оперировать понятием «сенсорное событие», а не понятием «входной стимул». В данном случае сенсорное событие это фрагмент окружающего мира, который может быть однозначно категоризован и отождествлен с одной из схем гипотетического набора схем (в процессе постсенсорной обработки). Понятие сенсорное событие шире, чем понятие входной стимул, поскольку не привязано к определённой сенсорной модальности. Любое сенсорное событие окружающего мира интегрирует в себе, как правило, несколько входных стимулов. Хотя, в искусственных лабораторных условиях, сенсорное событие часто соответствует одной сенсорной модальности. Например, в экспериментах Черри сенсорное событие соответствует исключительно слуховой модальности [51].

Разделим все объекты класса сенсорных событий на два подкласса: (1) унимодальные сенсорные события и (2) многомодальные сенсорные события. Каждый из этих подклассов, в свою очередь, разделим еще на два подкласса: (1) рутинные сенсорные события и (2) подозрительные сенсорные события. Отметим, что в реальном мире граница между рутинными и подозрительными сенсорными событиями нечёткая и, в зависимости от контекста, одни и те же сенсорные события могут относиться как к рутинным, так и к подозрительным. Диаграмма классов, на рис. 2.1, моделирует описанную систему классов.

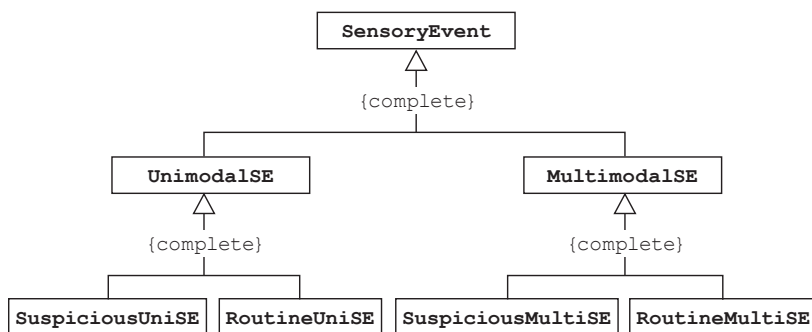


Рис. 2.1. Классы сенсорных событий

Хотя чтение книги и предполагает знакомство с основами объектно-ориентированного моделирования, авторы посчитали полезным прокомментировать рис. 2.1 с точки зрения синтаксиса UML. Графический символ класса, использованный при изображении классов на рис. 2.1, представляет собой прямоугольник внутри которого записано имя класса. Это простейший вид графического символа класса. В общем случае графический символ класса это прямоугольник, разделенный на три отделения горизонтальными отрезками. В верхнем отделении записывается имя класса, в среднем — список полей класса (моделируют атрибуты), а в нижнем — список методов класса (моделируют поведение).

Первая буква имени класса — прописная, остальные — строчные. Имя класса записывается жирным шрифтом. Имя может состоять из нескольких слов, которые записываются подряд без пробелов. Каждое новое слово начинается с прописной буквы. Имена в UML-моделях принято записывать на английском языке. На рис. 2.1 между классами установлено отношение типа «обобщение-специализация». Это один из шести типов отношений, допустимых в UML. Отношение типа «обобщение-специализация» может быть использовано для моделирования иерархической соподчиненности между классами. Наименование обусловлено тем, что при движении вверх по дереву иерархии происходит обобщение классов, а при движении вниз — специализация. Графическим символом отношения типа «обобщение-специализация» является отрезок прямой линии с полым треугольником на конце. Треугольник указывает на класс, имеющий статус суперкласса, а противоположная сторона отрезка — на класс, имеющий статус подкласса. Если класс имеет статус подкласса, то это означает, что он может наследовать (заимствовать) поля и методы у всех своих суперклассов. Таким образом, система классов сенсорных событий, представленная диаграммой классов на рис. 2.1 включает следующие классы:

`SensoryEvent` — класс, который моделирует все сенсорные события.

`UnimodalSE` — подкласс класса `SensoryEvent`, который моделирует все унимодальные сенсорные события, как рутинные, так и подозрительные.

`MultimodalSE` — подкласс класса `SensoryEvent`, который моделирует все многомодальные сенсорные события, как рутинные, так и подозрительные.

`SuspiciousUniSE` — подкласс класса `UnimodalSE`, который моделирует только унимодальные подозрительные сенсорные события.

`RoutineUniSE` — подкласс класса `UnimodalSE` который моделирует только унимодальные рутинные сенсорные события.

`SuspiciousMultiSE` — подкласс класса `MultimodalSE` который моделирует только многомодальные подозрительные сенсорные события.

`RoutineMultiSE` — подкласс класса `MultimodalSE` который моделирует только многомодальные рутинные сенсорные события.

Каждое из отношений типа «обобщение-специализация», на рис. 2.1, уточнено при помощи ограничения `complete`. Это означает, что имеет место полное разделение суперкласса на подклассы. Например, все объекты класса `SensoryEvent` могут принадлежать либо классу `UnimodalSE`, либо классу `MultimodalSE`. Других объектов в классе `SensoryEvent` нет.

Термин гипотетическая схема будем интерпретировать как наименование схемы, которая релевантная ожидаемому сенсорному событию и формируется на основе прежнего опыта субъекта. Набор гипотетических схем является структурой, управляющей перцептивным исследованием и фокусировкой внимания, в процессе поиска реального сенсорного события, подлежащего восприятию. Предполагается, что схемы амодальны и, следовательно, не привязаны к определённой сенсорной модальности.

Исходя из представлений Найсера и общепринятых в когнитивной психологии представлений о схемах, как о различных элементах ментального представления знаний, введем классификацию схем, которая распространяется и на схемы, названные, выше гипотетическим набором [4, 20, 96]. Все множество схем разделим на схемы-фреймы и схемы-сценарии. Как и прежде будем предполагать, что схемы-фреймы хранят декларативные знания, а схемы-сценарии — процедурные знания или навыки. Схемы-фреймы, в свою очередь разделим на

несколько классов: (1) фреймы для хранения декларативных знаний в виде пропозиций; (2) фреймы для хранения декларативных знаний в виде образов. Предвосхищая возможную критику, отметим, что предложенная классификация схем не претендует на то, чтобы быть всеобъемлющей и единственной. Она еще раз иллюстрирует возможности UML как средства для «наведения порядка» и формализации описания в плохо-формализуемых проблемных областях. Диаграмма классов, на рис. 2.2, моделирует предложенную систему классификации схем.

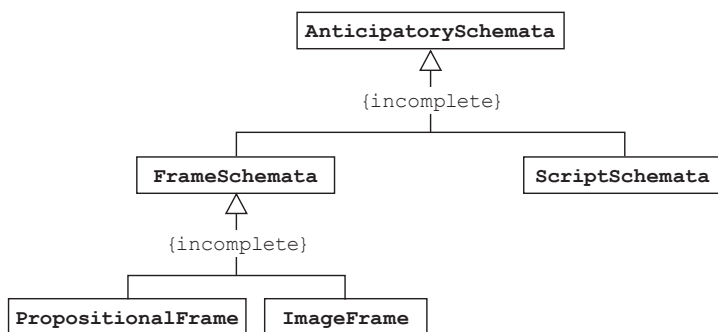


Рис. 2.2. Классы гипотетического набора схем

Система классов гипотетического набора схем, представленная диаграммой классов на рис. 2.2 включает следующие классы:

AnticipatorySchemata — класс, который моделирует все схемы, из которых формируется набор гипотетических/ожидаемых схем.

FrameSchemata — подкласс класса **AnticipatorySchemata**, который моделирует все схемы-фреймы, как имеющие структуру пропозиций, так и имеющие структуру образов.

ScriptSchemata — подкласс класса **AnticipatorySchemata** который моделирует все схемы-сценарии.

PropositionalFrame — подкласс класса **FrameSchemata**, который моделирует только схемы-фреймы, имеющие структуру пропозиций.

`ImageFrame` — подкласс класса `FrameSchemata`, который моделирует только схемы-фреймы, имеющие структуру образов.

Диаграмма классов, на рис.2.2, предполагается, что разбиение классов `AnticipatorySchemata` и `FrameSchemata` на подклассы является неполным. Это обозначено ограничение `incomplete`, которым помечены отношения типа «обобщение-специализация». Ограничение `incomplete` означает, что множество подклассов неполное и может быть расширено путем добавления новых классов.

2.1.2. Модель восприятия Найсера

Класс-структурированная модель цикла перцепции Найсера, синтезу которой посвящен настоящий подраздел, с точки зрения UML, представляет собой диаграмму классов. И как каждая диаграмма классов детерминирует классы объектов, из которых состоит структура моделируемой системы и отношения, установленные между этими классами.

В подразделе 2.1.1 мы ввели в рассмотрение несколько ключевых классов будущей модели. Это классы:

`SensoryEvent` (Класс сенсорных событий окружающего мира.

Объект этого класса — это конкретное сенсорное событие, прошедшее кодирование в сенсорной системе и подвергшееся категоризации).

`AnticipatorySchemata` (Класс гипотетических/ожидаемых наборов схем. На каждом цикле перцепции «работает» один из объектов этого класса.);

Перечисленные классы моделируют два ключевых понятия модели Найсера, необходимые для синтеза модели. Еще одним ключевым понятием этой модели является понятие «когнитивная карта». Будем рассматривать когнитивную карту не как простой набор схем, а, скорее, как сценарий перцепции, представленный наборами ожидаемых схем-сценариев и отношениями между ними. Поэтому используем, при синтезе класс-структурированной модели, еще один класс с именем

CognitiveMap, и будем понимать объекты этого класса как структуры, управляющие переходом от текущего набора ожидаемых схем к последующему. Объект класса CognitiveMap получает сообщение, включающее идентификатор воспринятого сенсорного события и идентификатор текущего набора ожидаемых схем и, в ответ, формирует идентификатор последующего набора ожидаемых схем.

Для того, чтобы сделать модель максимально информативной, и пригодной для возможного последующего ее отображения в программный код, определим атрибуты и поведение каждого из перечисленных классов, которые следуют из описания цикла восприятия, данного Найсером. На рис. 2.3 приведены графические символы классов AnticipatorySchemata и SensoryEvent, в которые включены основные атрибуты и методы.

AnticipatorySchemata	SensoryEvent
schemaArray:Schema[1..*]	
id(current:SensoryEvent):boolean creator():Schema[1..*]	selection():SensoryEvent categorization():SensoryEvent

Рис. 2.3. Атрибуты и методы основных классов модели

В класс AnticipatorySchemata включен атрибут schemaArray, моделирующий гипотетический набор схем и представляющий собой массив, состоящий из некоторого количества схем. Созданием нового гипотетического набора схем, предназначенного для управления восприятием на последующем цикле, занимается метод creator того же класса AnticipatorySchemata.

Будем различать *процесс категоризации текущего сенсорного события* и *процесс его идентификации с одной из схем гипотетического набора схем*. Задача категоризации предполагает, что для объекта некоторого класса, представленного набором атрибутов и набором методов, необходимо определить, к какому конкретному классу он принадлежит (например, к одному из классов, изображенных на рис. 2.1). В простейшем случае категоризация может осуществляться только на

основании набора атрибутов. Для выполнения категоризации текущего сенсорного события введём метод с именем `categorization`. Будем считать, что категоризацией «занимается» класс `SensoryEvent`, поэтому метод `categorization` размещаем в этом классе.

В процессе идентификации тип категоризованного текущего сенсорного события последовательно сравнивается с типами, соответствующими схемам из ожидаемого набора схем. Идентификация завершается, когда тип сенсорного события совпадает с типом в одной из ожидаемых схем. Для выполнения идентификации введём метод `id`, который разместим в классе `AnticipatorySchemata`. В качестве входного параметра метод получает распознанное/категоризованное сенсорное событие и возвращает значение `true` если оно идентифицировано, либо значение `false` если это сенсорное событие не идентифицировано.

Таким образом, класс `AnticipatorySchemata` моделирует фрагмент когнитивной карты, управляющий процессом перцепции на текущем цикле. Особенность объекта класса `SensoryEvent` в том, что он продуцирует последовательность сенсорных событий по принципу «одно событие за один раз», используя механизм внимания/селекции (метод `selection`) и категоризации (метод `categorization`). Следовательно, объект класса `SensoryEvent` ответственен за выбор и категоризацию сенсорного события, а его идентификация осуществляется объектом класса `AnticipatorySchemata`.

Из классов `AnticipatorySchemata`, `SensoryEvent` и `CognitiveMap` формируется структура модели путем установления между ними необходимых отношений. На рис. 2.4 приведена класс-структурированная модель цикла перцепции Найсера.

Между классами `AnticipatorySchemata` и `SensoryEvent` установлено отношения типа «зависимость». Отношение типа зависимость, на диаграмме классов, применяется для моделирования ситуации, когда функционирование одного или нескольких классов зависит от других классов этой же диаграммы. Отношение типа зависимость называется, также, отношением типа снабженец-клиент, в котором класс-клиент зависит от класса-снабженца. Зависимость класса-клиента от класса-снабженца понимается в том смысле, что изменения в

классе-снабженце, приводят к необходимости выполнения изменений в классе-клиенте. Графическим символом отношения типа зависимость является пунктирная линия со стрелкой, указывающей на независимый класс (класс-снабженец). На рис. 2.4, класс `SensoryEvent` является независимым и снабжает класс `AnticipatorySchemata` типом `SensoryEvent`, который является типом входного параметра метода `id`.

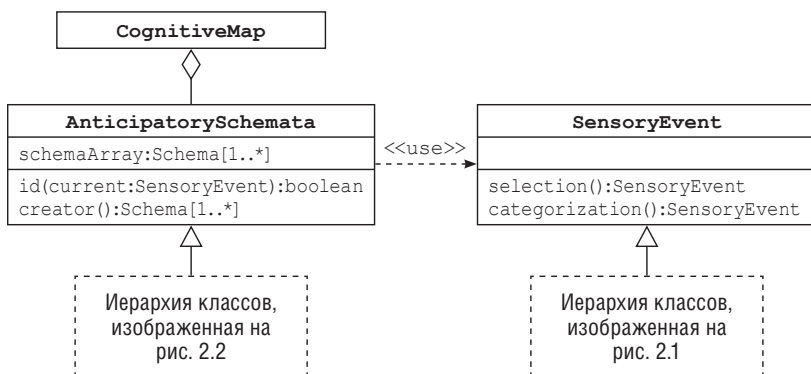


Рис. 2.4. Класс-структурированная модель цикла перцепции Найсера

Между классами `AnticipatorySchemata` и `CognitiveMap` установлено отношения типа «агрегация». Отношение типа агрегация является одним из двух отношений «часть-целое», разрешенных в UML. При использовании отношения типа агрегация принята следующая терминология. Класс, который рассматривается как целое, называется агрегатом, а класс, который рассматривается как часть целого — конститuentом. В нашем случае агрегатом является класс `CognitiveMap`, а конститuentом — класс `AnticipatorySchemata`. Объект класса `CognitiveMap` моделирует конкретную когнитивную карту, например, когнитивную карту некоторого субъекта. Отношение типа агрегация, на рис. 2.4, говорит, что любой гипотетический набор схем некоторого субъекта является частью его когнитивной карты.

Классы `AnticipatorySchemata` и `SensoryEvent` являются самыми верхними суперклассами иерархии классов, изображенных на рис.2.1 и 2.2. Эти иерархии можно было бы включить в диаграмму. Однако, чтобы не загромождать рисунок, они опущены.

Модель цикла восприятия, изображенная на рис. 2.4, не учитывает некоторые особенности оригинального описания модели, сделанные Найсером [20]. Простая интроспекция позволяет сделать вывод о том, что одному и тому же сенсорному событию, по всей видимости, соответствует несколько гипотетических наборов схем, принадлежащих различным перцептивным сценариям. Например, наблюдая улыбку человека, в зависимости от контекста восприятия мы ожидаем воспринять: (а) ту или иную форму зубов, (б) то или иное положение губ, (в) то или иное отношение к некоторому событию (улыбка может быть вежливой, сардонической, оскорбительной и т.п.).

Очевидно, что в процессе перцепции сознание имеет возможность использовать один из нескольких перцептивных сценариев, отличающихся текущей целью перцепции. Следовательно, модель должна быть усложнена, и учитывать множество целей перцепции, связанное с ним множество перцептивных сценариев и средства выбора того или иного сценария. Простейшим способом учёта целенаправленного характера сценария перцепции является включение в описание класса `CognitiveMap` атрибута, моделирующего описание цели перцепции.

Теория восприятия Найсера проводит весьма условную границу между окружающим миром и его отражением в сознании человека. Многие люди придерживаются точки зрения, согласно которой наше восприятие окружающего мира не изменяет сам мир. Но все согласны с тем, что восприятие окружающего мира изменяет субъекта перцепции. Объект класса `AnticipatorySchemata`, задействованный в перцептивном цикле, является продуктом, как данного цикла, так и всех предыдущих циклов, в которых он использовался. От цикла к циклу происходит «эволюционное развитие» схемы, названное Пиаже в его теории когнитивного развития аккомодацией схемы (*accommodation*) [97]. В каком-то смысле схемы «хранят» историю развития сознания индивида. Следовательно, модель должна быть модернизирована и предусматривать возможность аккомодации схем. Будем учитывать способность

схемы к аккомодации включением метода `schemaAccommodation` в список методов класса `AnticipatorySchemata`.

С возможностью аккомодации схем связана дифференциация схем на врождённые, заложенные на генетическом уровне, и благоприобретённые в процессе обучения. Это означает, что необходимо усложнить классификацию схем, изображённую на рис. 2.2 путем введения еще одного уровня классификации, разделяющего все множество схем на врожденные и благоприобретенные. На рис. 2.5, изображена класс-структурированная модель цикла перцепции Найсера, учитывающая аккомодацию схем и деление схем на врожденные и благоприобретенные.

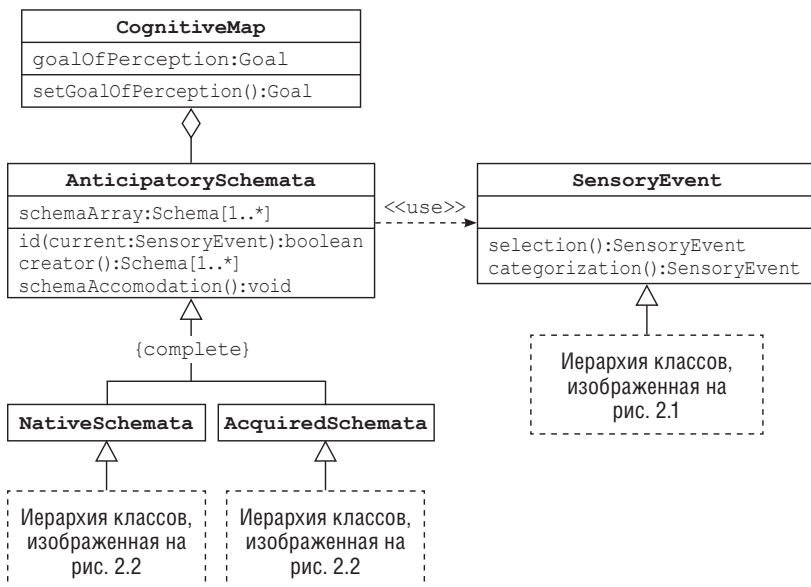


Рис. 2.5. Класс-структурированная модель цикла перцепции Найсера с учетом аккомодации схем

В модель, на рис. 2.5, при помощи отношения типа «обобщение-специализация» введена дихотомия класса

AnticipatorySchemata, разделяющая все объекты этого класса на два подкласса: NativeSchemata (врождённые схемы) и AcquiredSchemata (благоприобретённые схемы). Множество подклассов характеризуется как полное (complete).

В класс AnticipatorySchemata добавлен метод, расширяющий поведение его объектов. Метод schemaAccommodation моделирует способность схемы к аккомодации. В класс CognitiveMap добавлены атрибут goalOfPerception и соответствующий ему метод setGoalOfPerception, моделирующие целенаправленный характер перцепции и возможность изменения цели.

2.2. Класс-структурированные модели внимания

Ответу на вопрос: «Что такое внимание?» посвящен обзор теорий и моделей внимания, приведенный в первом разделе. Из этого обзора следует, что трудно (или, даже, невозможно) определить понятие «внимание» одной фразой. Можно, лишь, сформулировать некоторое количество утверждений, которые все вместе дают представление о понятии «внимание» и, в общих чертах, описывают объем этого понятия.

Понятие «внимание» синонимично понятию «селекция». Словосочетание «уделить внимание некоторой сущности», как правило, означает необходимость выбора одной из многих сущностей и выделения ей ментального ресурса того или иного типа. Тип ресурса определяется типом и местом решаемой психической задачи в континууме от восприятия до управления эффекторами.

Внимание характеризует избирательность или селективность при восприятии объектов внешнего мира. Возможности сенсорной системы человека по генерации потока сенсорных событий превосходят возможности центральных механизмов психики по их осознанию. Внимание позволяет согласовать производительность центральных механизмов с объёмами информации, продуцируемыми сенсорной системой путем селекции только необходимой информации.

Внимание характеризует избирательность или селективность восприятия объектов внутреннего мира, или схем, хранящихся в

долговременной памяти. Схемы могут быть как отображениями объектов внешнего мира в долговременную память человека, либо продуктами внутренних психических процессов. Человек решает ментальные проблемы по принципу «одна проблема за один раз», поэтому необходим механизм селекции релевантных схем в долговременной памяти.

Внимание не является самостоятельной сущностью/процессом человеческой психики с постоянной локализацией, а проявляется только в связке с другими процессами. Поэтому внимание можно понимать как атрибут осознанных психических процессов. Психические процессы, выполняемые полностью автоматически, не требуют участия внимания.

2.2.1. Классы моделей внимания

Многообразие и обилие публикаций, описывающих результаты экспериментального исследования феномена внимания, а также многообразие гипотез, теорий и моделей внимания делает рациональным разработку системы классификации как самого концепта «внимание», так классификацию моделей внимания. Ранее было показано, что классификационное дерево легко и удобно изображать в виде диаграммы классов, на которой между классами установлено отношение типа «обобщение-специализация».

В основу классификации внимания положим не все, описанные в литературе классификационные признаки внимания, а только те, которые имеют отношение к теориям и моделям внимания, рассмотренным в первом разделе. Представим классы/типы внимания по отношению к следующим трем классификационным признакам.

1. По отношению к направленности внимания на внешний или внутренний мир.
2. По отношению к участию сознания в выборе объекта внимания.
3. По отношению к количеству объектов, на которые направлено внимание.

Направленность внимания на внешний или внутренний мир.

Внимание может быть обращено либо на объекты внешнего мира, либо на объекты внутреннего мира. В случае, когда внимание направлено

на внешний мир, то селекции подвергаются сенсорные события. Такое внимание называется *внешним вниманием*. Если внимание направлено на внутренний мир, то селекции подвергаются схемы или группы схем, которые осознаются как единое целое. Это внимание называется *внутренним вниманием*.

Участие сознания в выборе объекта внимания. В зависимости от степени участия сознания в выборе объекта, внимание разделяют на *непроизвольное/неосознанное* и *произвольное/осознанное*. Непроизвольное внимание означает, что в выборе объекта внимания сознание не принимает участия. Выбор объекта осуществляется автоматически или рефлекторно. Непроизвольное внимание, часто является проявлением врожденных рефлекторных механизмов и необходимо для быстрой генерации реакции на опасный внешний раздражитель. Произвольное внимание осуществляется осознанно и возникает благодаря намерению человека, вследствие приложения им волевого усилия. Непроизвольное внимание наблюдается как у животных, так и у человека. Считается, что произвольное внимание присуще только человеку и его навыки формируются в процессе обучения. Произвольное внимание целенаправленно и сопровождается приложением большего или меньшего волевого усилия. Длительное произвольное внимание вызывает утомление, которое может быть большим, чем физическое напряжение.

Количество объектов, на которые направлено внимание. При изучении феномена внимания часто исследуется способность человека либо концентрировать внимание на одном объекте, либо разделять его между несколькими объектами (несколькими сенсорными событиями и/или схемами). По отношению к этой характеристике внимание делится на *сфокусированное* и *разделенное*. Разделенное внимание предполагает одновременное решение нескольких задач, а для его изучения субъектам часто предлагается решать, так называемые двойные задачи. Сфокусированное и разделённое внимание являются фундаментальными типами феномена внимания.

На рис. 2.6 изображена UML-диаграмма классов, моделирующая классификацию внимания по отношению к отмеченным признакам. Диаграмма классов представляет собой бинарное дерево, в котором каждый класс подвергается дихотомическому делению на два подкласса.

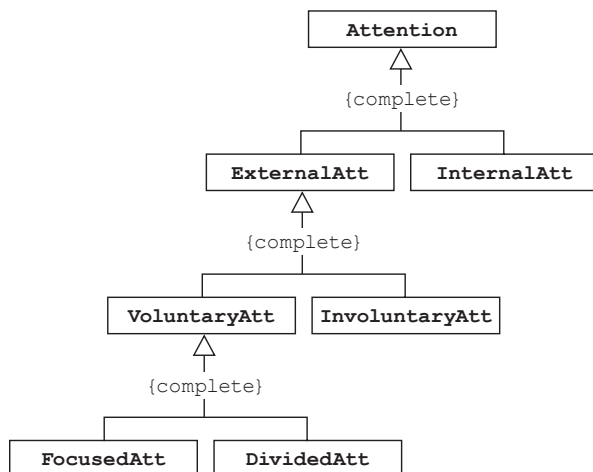


Рис. 2.6. Дихотомическая классификация внимания по отношению к трем базовым классификационным признакам

На рис. 2.6 использованы следующие наименования классов.

Attention — класс, который моделирует все типы внимания.

ExternalAtt — подкласс класса Attention, который моделирует все типы внешнего внимания.

InternalAtt — подкласс класса Attention, который моделирует все типы внутреннего внимания.

VoluntaryAtt — подкласс класса ExternalAtt, который моделирует внешние, произвольные типы внимания.

InvoluntaryAtt — подкласс класса ExternalAtt, который моделирует внешние произвольные типы внимания.

FocusedAtt — подкласс класса VoluntaryAtt, который моделирует внешние, произвольные, сфокусированные типы внимания.

DividedAtt — подкласс класса VoluntaryAtt, который моделирует внешние, произвольные, распределенные типы внимания.

Легко заметить, что дихотомии подвергается только левая часть дерева на рис. 2.6. Отсюда можно сделать вывод о том, куда

направлен вектор усилий когнитивных психологов, занимающихся изучением внимания. Большинство работ посвящены исследованию и моделированию внешнего, произвольного и сфокусированного внимания, и почти отсутствуют работы посвященные моделированию внутреннего, непроизвольного и распределенного внимания.

Рассмотрим теперь классификацию моделей внешнего, произвольного и сфокусированного внимания (класс `FocusedAtt` на рис. 2.6). Эта классификация, с учетом материала первого раздела может быть представлена диаграммой классов, приведенной на рис. 2.7.

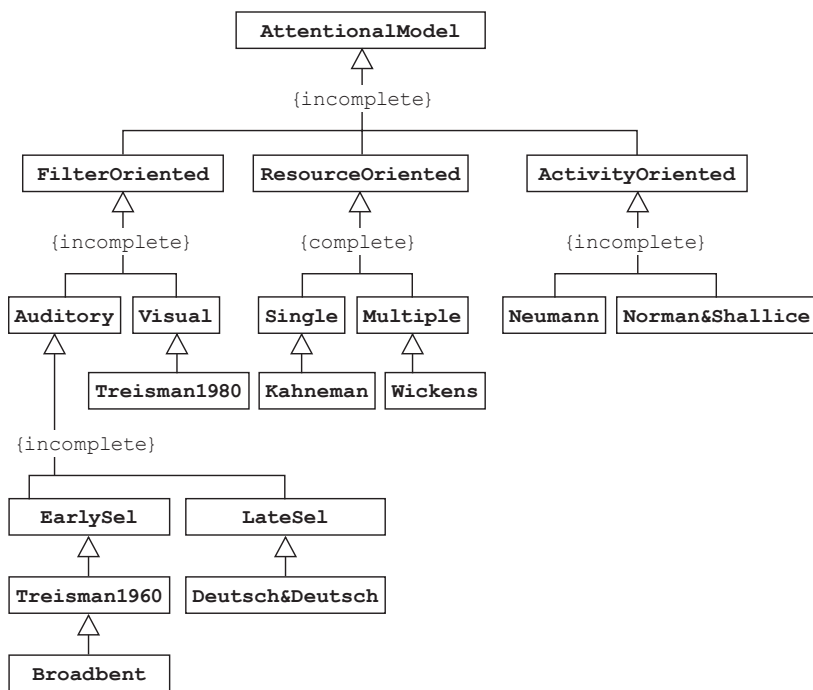


Рис. 2.7. Классы моделей произвольного сфокусированного внимания

На рис. 2.7, все известные модели внешнего, произвольного и сфокусированного внимания моделируются классом `AttentionalModel`. Отдельная и конкретная модель внимания моделируется отдельным и конкретным объектом этого класса.

По отношению к парадигме моделирования все модели внимания, представленные классом `AttentionalModel` разделены на три подкласса:

- фильтр-ориентированные модели (класс `FilterOriented`);
- ресурс-ориентированные модели (класс `ResourceOriented`) и
- деятельностьные модели (класс `ActivityOriented`).

Считаем, что это множество подклассов неполное, и возможны другие парадигмы моделирования внимания.

По отношению к ведущему анализатору (сенсорной модальности) класс фильтр-ориентированных моделей внимания делится на два подкласса:

- фильтр-ориентированные модели слухового внимания (класс `Auditory`) и
- фильтр-ориентированные модели зрительного внимания (класс `Visual`).

Считаем, что это множество подклассов также неполное, поскольку существуют и другие анализаторы (например, обонятельный и осязательный).

По отношению к месту расположения фильтра в цепи информационной переработки класс фильтр-ориентированных моделей слухового внимания делится на два подкласса:

- фильтр-ориентированные модели слухового внимания ранней селекции, в которых селекции подвергаются сенсорные события (класс `EarlySel`) и
- фильтр-ориентированные модели слухового внимания поздней селекции, в которых селекции подвергаются воспринятые образы (класс `LateSel`).

Считаем, что это множество подклассов неполное, поскольку фильтр-селектор может быть расположен и в других точках цепи информационной переработки.

Фильтр-ориентированные модели слухового внимания ранней селекции представлены моделями Трейсман (класс `Treisman1960`)

и Бродбента (класс Broadbent). Между классами Treisman1960 и Broadbent установлено отношение типа «обобщение-специализация» в котором статусом суперкласса обладает класс Treisman1960. Считается, что модель внимания Бродбента является частным случаем модели внимания Трейсман.

Фильтр-ориентированные модели слухового внимания поздней селекции представлены моделью Дойча и Дойча (класс Deutsch&Deutsch)

Фильтр-ориентированные модели зрительного внимания представлены моделью Трейсман, построенной в соответствии с ее теорией интеграции признаков (класс Treisman1980).

Ресурсные и деятельностные модели внимания являются амодальными, поэтому для классов ResourceOriented и ActivityOriented отсутствует деление на подклассы по отношению к слуховой или зрительной модальностям.

По отношению к количеству используемых ресурсов все ресурс-ориентированные модели делятся на два подкласса:

- модели внимания с единым ресурсом (класс Single);
- модели внимания с несколькими ресурсами (класс Multiple).

Естественно предположить, что это множество подклассов является полным.

Модели внимания с единым ресурсом представлены моделью Канемана (класс Kahneman), а модели внимания с несколькими ресурсами — моделью Уикенса (класс Wickens).

Деятельностные модели внимания представлены неполным множеством подклассов, моделирующих модель Ноймана (класс Neumann) и модель Нормана и Шаллиса (класс Norman&Shallice).

2.2.2. Селективные модели слухового внимания Бродбента и Трейсман

Прежде чем перейти к непосредственному синтезу класс-структурированных моделей слухового внимания Бродбента и Трейсман целесообразно еще раз оговорить основные понятия, которыми мы пользуемся при описании этих моделей.

Под сенсорным событием будем понимать фрагмент окружающего мира, который может быть однозначно категоризован (сопоставлен с одной из схем долговременной памяти) в процессе постсенсорной обработки. Понятие сенсорное событие шире, чем понятие внешний стимул, поскольку не привязано к конкретной сенсорной модальности. Сенсорное событие подразумевает интеграцию нескольких внешних стимулов, поступающих на сенсорный вход от воспринимаемого объекта. Человек фокусирует внимание на объектах и событиях окружающего мира, а не на сенсорных входах.

Мы различаем два класса сенсорных событий: рутинные сенсорные события и подозрительные сенсорные события. Такая классификация необходима, поскольку при появлении некоторых подозрительных сенсорных событиях, внимание организма автоматически фиксируется на этих событиях, а восприятие рутинных сенсорных событий прерывается. Примером подозрительного сенсорного события может служить сигнал частотой 400 герц в экспериментах по дихотическому слушанию Черри [51]. В экспериментах Черри субъекты устойчиво детектировали этот сигнал, который случайным образом транслировался в левое ухо, несмотря на то, что их внимание было сфокусировано на восприятии текста, транслируемого в правое ухо.

Назовём информационный образ сенсорного события, формируемый сенсорной системой — *сенсорным сегментом*. Классификацию сенсорных событий на рутинные и подозрительные распространим и на сенсорные сегменты. Последовательность сенсорных сегментов, соответствующая потоку сенсорных событий заполняет сенсорный буфер ограниченной ёмкости. Специфическим свойством сенсорного буфера является естественное затухание сенсорных сегментов с течением времени. Представим множество сенсорных сегментов в сенсорном буфере в виде *очереди сенсорных сегментов* (с обслуживанием по правилу First-In-First-Out). Структура очереди сенсорных событий изображена в виде диаграммы на рис. 2.8. Отметим, что это обычная диаграмма в парадигме «вход-процесс-выход».

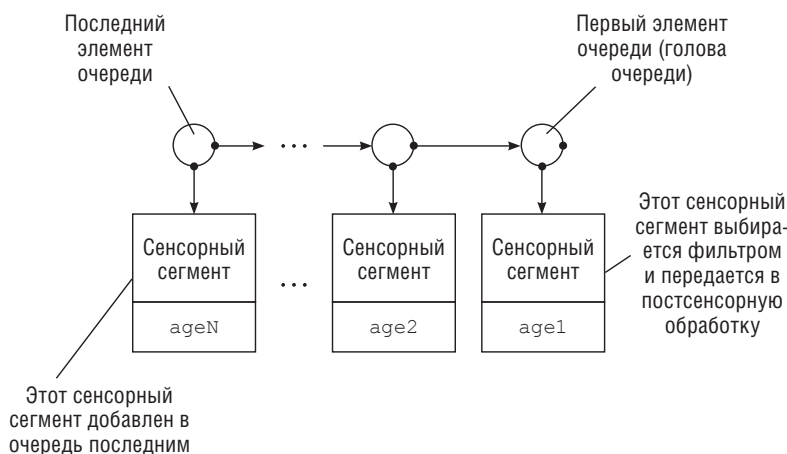


Рис.2.8. Очередь сенсорных сегментов в сенсорном буфере

Очередь состоит из элементов, каждый из которых включает несколько ссылок. На рис. 2.8 ссылки изображены в виде жирных точек со стрелками. Одна из ссылок связывает данный элемент очереди с последующим элементом очереди. Такими ссылками снабжены все элементы очереди, кроме первого, находящегося в голове очереди. Отмеченные ссылки осуществляют упорядочивание элементов очереди по принципу «предыдущий-последующий». Другая ссылка связывает каждый элемент очереди с соответствующим сенсорным сегментом. Информация в сенсорном буфере подвержена естественному затуханию, которое тем значительнее, чем дольше сенсорный сегмент находится в сенсорном буфере. На рис. 2.8 каждый объект класса сенсорных сегментов хранит значение времени пребывания в сенсорном буфере в виде значения переменной, моделирующего «возраст» сенсорного сегмента: $age1$, $age2$, ..., $ageN$. Возраст сенсорных сегментов, изображенных на рис. 2.8, находится в следующем соотношении.

$$ageN < \dots < age2 < age1$$

Представление содержимого сенсорного буфера в виде очереди вполне уместно, поскольку сенсорные сегменты заносятся в буфер и считываются из буфера сугубо последовательно по мере их появления.

На рис. 2.9 изображена диаграмма классов, отражающая введенные классы понятий и отношения между ними.

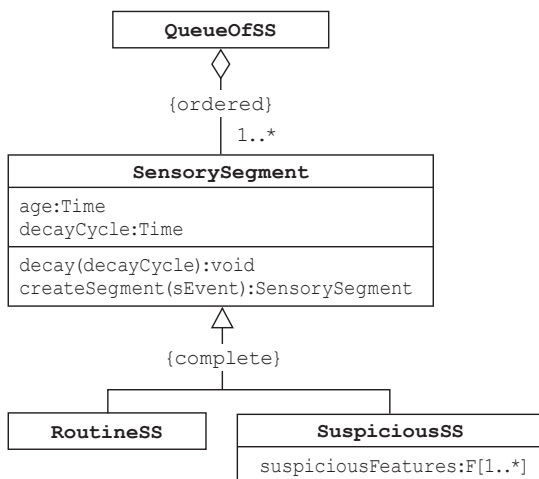


Рис.2.9. Классы и очередь сенсорных сегментов

Класс `QueueOfSS`, моделирует информацию, находящуюся в сенсорном буфере и, в терминологии UML, является упорядоченным (в виде очереди) агрегатом объектов класса сенсорных сегментов `SensorySegment`. Класс `QueueOfSS`, по отношению к классу `SensorySegment` является агрегатом и, следовательно, объект класса `QueueOfSS` состоит из объектов класса `SensorySegment`. Между классами `QueueOfSS` и `SensorySegment` установлено отношение типа «агрегация», помеченное ограничением `ordered`. Класс `SensorySegment` содержит атрибут `decayCycle` и метод `decay`, которые моделируют свойство естественного затухания сенсорного сегмента и наследуются обоими подклассами. Значение атрибута

`decayCycle` определяет время полного затухания информации в сенсорном буфере, а метод `decay` моделирует этот процесс. Одним из атрибутов класса `SensorySegment` является атрибут `age`, моделирующее текущий «возраст» сенсорного сегмента. Значение этого атрибута находится в диапазоне: $0 < \text{age} < \text{decayCycle}$. В класс `SensorySegment` включен метод `createSegment`. Входным параметром этого метода является переменная `sEvent`, моделирующая сенсорное событие. В модели, изображенной на рис. 2.9, метод `createSegment` осуществляет преобразование сенсорного события в сенсорный сегмент, и, по сути, моделирует всю сенсорную обработку.

Класс подозрительных сенсорных сегментов характеризуется признаками подозрительности, которые моделируются атрибутом `suspiciousFeatures`. Как следует из результатов экспериментов признаками подозрительности являются «подозрительно» высокая, или «подозрительно» низкая интенсивность входного стимула [36,51]. Например, громкий звук или звук повышенной частоты.

С учётом структуры сенсорной информации, приведенной на рис. 2.9, и цикла восприятия Нейсера, работа механизма внимания может быть вербально описана следующим образом. Сенсорные сегменты последовательно выбираются из очереди сенсорных сегментов, распознаются и сравниваются со схемами текущего гипотетического набора схем. Максимальная «близость» одной из схем гипотетического набора с распознанным текущим сенсорным сегментом детерминирует следующий гипотетический набор схем.

Если детектируется появление подозрительного сенсорного события, то прерывается обработка текущего рутинного события и внимание произвольно (автоматически) переключается на обработку подозрительного сенсорного события. Экспериментальные исследования системы зрительного восприятия лягушки подтверждают, что живые организмы обладают рефлекторным механизмом быстрого обнаружения подозрительного события, который действует помимо относительно медленного канала категоризации [98]. Поэтому будем считать, что каждый сенсорный орган обладает детектором признаков, подозрительных событий. Работа этого детектора может рассматриваться как перманентное сравнение физических свойств текущих сенсорных

сегментов с хранимыми в классе `SuspiciousSS` признаками подозрительности (атрибут `suspiciousFeature` на рис. 2.9). После детектирования подозрительного сенсорного сегмента поведение организма меняется, и он переходит к восприятию и обработки нового потока сенсорных событий, начинающегося с обнаруженного подозрительно-го сенсорного события.

На рис. 2.10 приведена предлагаемая класс-структурированная модель селективного слухового внимания Бродбента. Классы очередей сенсорных сегментов `RightQueueOfSS` и `LeftQueueOfSS` моделируют содержимое сенсорного буфера для правого и левого уха соответственно. Поскольку сенсорные буферы правого и левого уха моделируются очередями, то в каждом из этих классов включен метод `addSegment`, который может добавить новый сенсорный сегмент в конец очереди. На рис. 2.10 приведена структура только одного из классов — `RightQueueOfSS`. Структура класса — `LeftQueueOfSS` идентична. Классы, изображённые в левой части диаграммы на рис. 2.10 соответствуют сенсорной системе, а классы, изображённые в правой части — постсенсорной системе.

Модель, приведенная на рис. 2.10 предполагает, что класс `BroadbentFilter`, реализующий функции фильтра Бродбента, является вложенным для класса `Recognizer`, реализующего функции категоризации. Отметим, что это никак не означает, что функции фильтрации являются частью функций категоризации. В UML вложенность одного класса в другой означает, что в коде внешнего класса объявлен внутренний класс, который рассматривается как член внешнего класса. Главное преимущество вложенного класса в том, что он имеет непосредственный доступ ко всем остальным членам внешнего класса. Графический символ, используемый для изображения вложенности одного класса в другой представляет собой отрезок прямой с окружностью описанную вокруг крестика и называется «якорь». Якорь указывает на внешний класс.

На рис. 2.10, между классом `BroadbentFilter` и классом `AttentionFocusControl` установлено отношение типа «ассоциация» с именем `controls`. В UML отношение типа «ассоциация» используется в тех случаях, когда ранее независимые объекты различных

классов объединяются (ассоциируются) в новые сущности путём установления связей между ними.

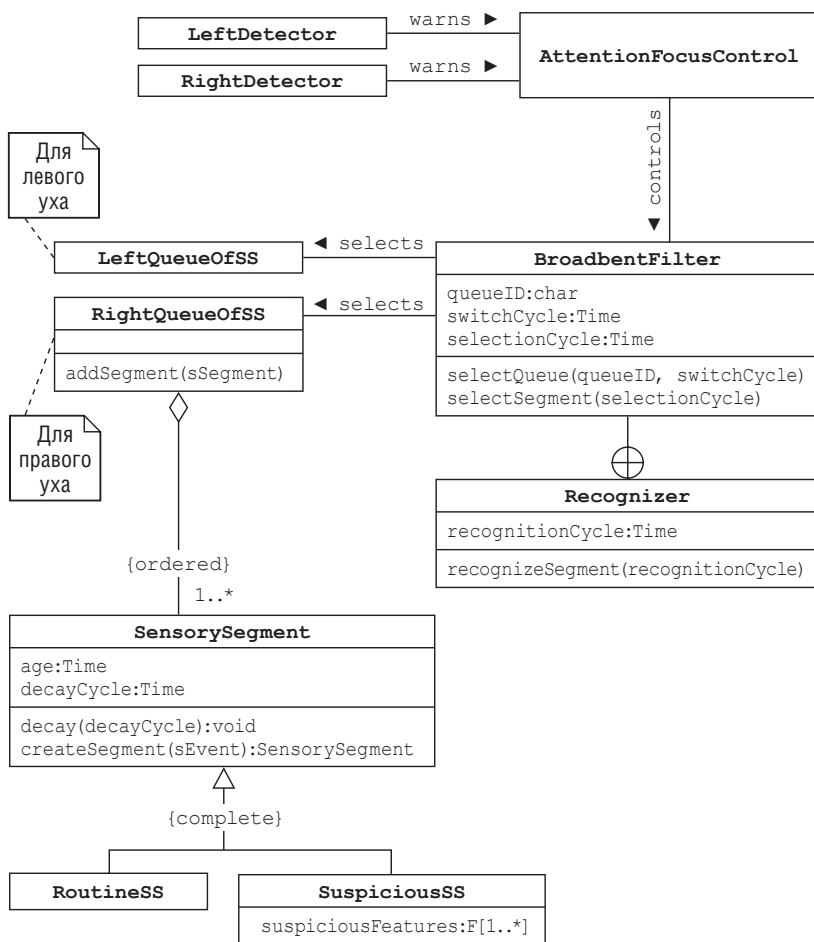


Рис.2.10. Класс-структурированная модель селективного слухового внимания Бродбента. Прямоугольник с загнутым правым верхним углом является графическим символом комментария

Графическим символом отношения типа «ассоциация» является отрезок прямой, соединяющий ассоциируемые классы. На рис. 2.10 использована нотация отношения типа «ассоциация», которая предполагает, что именем ассоциации является глагол или глагольная группа. В этом случае из имен ассоциированных классов и имени ассоциации можно составить предложение, объясняющее суть ассоциации. Маленький черный треугольник указывает направление чтения такого предложения. Например, «BroadbentFilter selects from RightQueueOfSS».

Класс BroadbentFilter может выбирать очередь сенсорных сегментов правого уха либо очередь сенсорных сегментов левого уха с помощью метода selectQueue. Параметрами этого метода являются имя очереди сенсорных сегментов queueID и время переключения switchCycle. Класс BroadbentFilter также может передавать классу Recognizer очередной сенсорный сегмент при помощи метода selectSegment. Этот метод имеет единственный аргумент selectionCycle, определяющий время выборки очередного сегмента. Однако, класс BroadbentFilter «не умеет» принимать решение о том, на какой из очередей сенсорных сегментов сфокусировать внимание, и, следовательно, какую из очередей выбрать. Эта информация передаётся ему в виде соответствующего сообщения от класса AttentionFocusControl. Класс AttentionFocusControl принимает решение о том, на каком из входных сенсорных событий сфокусировать внимание, в том числе, и на основании информации о наличии подозрительного сенсорного события, обнаруженного одним из детекторов подозрительных событий.

На рис. 2.10 изображены два детектора RightDetector и LeftDetector, для правого и левого уха, соответственно. Признак подозрительного сенсорного события обнаруживается детектором, который информирует об этом класс AttentionFocusControl. Этот класс, в свою очередь, передаёт фильтру Бродбента сообщение о прерывании обработки рутинных сенсорного события (поступающего, например, в правое ухо) и переключении на подозрительное сенсорное событие (поступившее, например, в левое ухо). Отмеченное переключение (перемещение фокуса внимания), как было отмечено ранее, реализуется методом selectQueue.

Трейсман, в своих публикациях, также как и Бродбент, обобщает свою модель на всю сенсорную систему, хотя для синтеза модели она использовала, главным образом, данные, полученные в экспериментах по дихотическому слушанию [37–39]. Одним из терминологических отличий в описании модели Трейсман является использование понятия «входной канал» (input-channel) в отличие от понятия сенсорное событие. Это отражает точку зрения Трейсман, заключающуюся в том, что она предпочитает оперировать не отдельными дискретными сенсорными событиями, а непрерывными потоками сенсорных событий.

Как было отмечено ранее, главное предположение, которое сделала Трейсман, и которое отличает её модель от модели Бродбента, заключается в том, что процесс фильтрации осуществляется не по принципу переключения информационных потоков, а путём изменения соотношения «порог распознаваемости — интенсивность сенсорного события». Только те сенсорные события интенсивность которых выше их порога распознаваемости могут быть воспринятыми. Фильтр Бродбента предполагает, что только одна очередь сенсорных сегментов (на которой сфокусировано внимание) снабжает информацией систему пост-сенсорной обработки информации, а остальные — заблокированы. Фильтр Трейсман перманентно снабжает систему пост-сенсорной обработки информацией, поступающей от всех очередей сенсорных сегментов, однако порог распознаваемости только одной из них (на котором сфокусировано внимание) достаточен для категоризации. Пороги распознаваемости остальных очередей настолько высоки, что они не могут быть распознаны и представляют собой фон, маскирующий информацию, поступающую от основной очереди. Смысл управления фильтром Трейсман заключается в манипулировании порогами распознаваемости. Устанавливая порог распознаваемости для некоторой очереди сенсорных сегментов ниже их интенсивности, фильтр Трейсман делает такие сенсорные сегменты доступным для восприятия.

Общая структура системы селективного слухового внимания, предложенная Трейсман, тождественна структуре системы внимания Бродбента. Отличие заключается в изменении алгоритма метода `changeQueue`, а также во введении дополнительного атрибута

recognitionTreshold. Фильтр Трейсман вместо переключения очередей сегментов изменяет их пороги распознаваемости при помощи метода `changeTreshold`. На рис. 2.11 приведен фрагмент класс-структурированной модели внимания Трейсман, который включает только классы, подвергшиеся изменению.

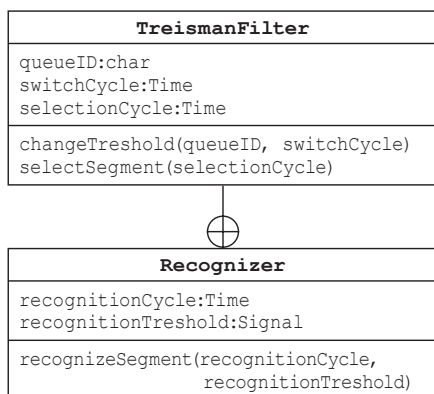


Рис. 2.11. Классы `TreismanFilter` и `Recognizer` модели селективного слухового внимания Трейсман

На рис. 2.11 изображена система, состоящая из внешнего класса `Recognizer` в который вложен класс `TreismanFilter`. Важной характеристикой класса `Recognizer`, ответственного за категоризацию, является порог распознаваемости, моделируемый атрибутом `recognitionTreshold`. Категоризация осуществляется методом `recognizeSegment`, который распознаёт только те сегменты, интенсивность которых превышает значение `recognitionTreshold`.

Класс `TreismanFilter`, получив сообщение от класса `AttentionFocusControl` (на рис. 2.11 не показан) о том, какая очередь является релевантной, понижает порог распознаваемости ниже интенсивности сенсорных сегментов в этой очереди. Эти «умения» класса `TreismanFilter` моделируются методом `changeTreshold`,

аргументами которого являются: идентификатор очереди `queueID` и время, необходимое для изменения порога `changeCycle`.

Интерпретация результатов экспериментов по дихотическому слушанию в терминах класс-структурированных моделей

Модели селективного слухового внимания Бродбента и Трейсмана были предложены, главным образом, для объяснения результатов экспериментов по дихотическому слушанию. Для органа слуха сенсорными событиями являются последовательности акустических сигналов, разделённые паузами. В экспериментах по дихотическому слушанию субъект помещается в искусственную среду, в которой его органы слуха работают независимо и каждый формирует свою очередь сенсорных сегментов. Основная техника, в экспериментах по дихотическому слушанию, называется «затенение» (*shadowing*). Техника затенения предполагает, что субъекта просят повторять сообщения, поступающие только в один сенсорный орган (например, в правое ухо) и, таким образом, фокусировать внимание на очереди сенсорных сегментов, соответствующих этому органу.

Эксперимент Черри по слушанию двух различных текстовых сообщений. В [51] описан эксперимент, в котором два различных и продолжительных текстовых сообщения транслировалось одновременно в левое и правое ухо субъектов. Оба сообщения были записаны одним и тем же голосом. Субъекты были проинструктированы повторять сообщение, транслируемое в правое ухо. В результате выяснилось, что субъекты распознавали это сообщение полностью (поскольку они его правильно повторяли) но не имели ни малейшего представления о сообщении, транслируемом в левое ухо.

Искусственная среда, в которую помещался субъект в ходе этого эксперимента, отличается от реальной и упрощает задачу для системы внимания:

- поток сенсорных событий зафиксирован;
- физические характеристики всех сенсорных событий одинаковы (сообщения записаны одним голосом);

- исключены подозрительные сенсорные события.

Результаты эксперимента легко объясняются в рамках предложенной модели Бродбента. Поскольку субъект безошибочно выполняет shadowing-процедуру, то это означает, что, во-первых, категоризация имеет место, а во-вторых, что согласованы временные характеристики процессов, выполняемых системой последовательно. Сенсорный сегмент не задерживается в буфере на время, большее, чем `decayCycle` и, следовательно, имеет место неравенство:

$$\text{selectionCycle} + \text{recognitionCycle} < \text{decayCycle}$$

Система внимания циклически выполняет методы: `selectSegment` и `recognizeSegment`. Субъект ничего не помнит из потока сенсорных событий левого уха поскольку: (1) осуществляется непрерывающаяся фильтрация из очереди сенсорных событий, соответствующих правому уху; (2) не выполняется метод `changeQueue`; и (3) продолжительность эксперимента значительно больше, чем `decayCycle` и к моменту его окончания очередь сенсорных сегментов, соответствующая левому уху безвозвратно пропадает в результате естественного затухания.

Результаты эксперимента также легко объяснимы в рамках модели Трейсман. Порог распознаваемости для очереди сенсорных сегментов, соответствующей правому уху установлен ниже уровня интенсивности этих сегментов и осуществляется их перманентное восприятие. Поскольку уровень интенсивности очереди сенсорных сегментов, соответствующей левому уху, выше порогового, и в нём отсутствуют подозрительные сенсорные сегменты, то он воспринимается как шумовой и не категоризируется. За время эксперимента происходит естественное затухание всех сенсорных сегментов, соответствующих левому уху.

Эксперимент Черри по распознаванию сообщений в нерелевантном потоке. В [51] описан эксперимент, в котором исследовался класс подозрительных сенсорных событий. В правое ухо субъектов транслировались отрывки газетных статей, которые не содержали собственных имён, а также редкие и трудные слова. Субъекты были

принструктированы повторять эти сообщения вслух. В левое ухо субъектов транслировались следующие сообщения:

- текст, произносимый мужским голосом;
- текст, произносимый женским голосом высокой тональности;
- текст, произносимый мужским голосом, но воспроизводимый в обратном порядке;
- сигнал частотой 400 герц.

После окончания эксперимента субъектом задавались вопросы, направленные на выяснение того, что они слышал левым ухом. В результате эксперимента выяснилось, что ни в одном случае, когда в левое ухо транслировался текст, произносимый мужским голосом (как в нормальном, так и в реверсивном порядке) субъект не был в состоянии его воспринять. Более того, субъекты, как правило, не могли определённо сказать, транслировался ли вообще в левое ухо текст. С другой стороны во всех случаях, когда в левое ухо транслировался сигнал частотой 400 герц, он воспринимался субъектом. Текст, произносимый женским голосом высокой частоты, воспринимался в большинстве случаев. Результаты этого эксперимента подтверждают наличие в системе внимания детекторов подозрительных событий, которые прерывают процесс категоризации рутинных сенсорных событий (в правое ухо) и фокусируют внимание на новом потоке, начинающемся с подозрительного события. В терминах класс-структурированных моделей можно сказать, что в левое ухо субъекта транслировались следующие потоки сенсорных событий: (1) подозрительные, частотой 400 герц, (2) рутинные, мужским голосом, и (3) «полу-подозрительные», женским голосом высокой частоты. Подозрительные события обнаруживались всеми субъектами, «полу-подозрительные» — только теми, для которых они являлись определённо подозрительными, а для случая рутинных событий условия данного эксперимента становились эквивалентными предыдущему эксперименту.

Эксперимент Бродбента с бинауральными списками цифр. Сенсорные события в этом эксперименте представляли собой магнитофонные записи списков цифр, названные Бродбентом бинауральными (binaural) списками [35]. В бинауральных списках пары цифр записаны

на двух звуковых дорожках магнитной ленты таким образом, что оба уха одновременно слышат две разные цифры. Например,

7 3 4 в левое ухо и 2 1 5 в правое ухо.

Одна группа субъектов слушала бинауральные списки, каждый из которых состоял из трёх пар цифр с интервалом между парами в $\frac{1}{2}$ секунды. Субъекты были проинструктированы записать все шесть цифр в любом произвольном порядке. В результате выяснилось, что, во-первых, почти все бинауральные списки были записаны правильно, а во-вторых, что субъекты вначале записывали цифры, транслируемые в одно ухо, а затем — цифры, транслируемые в другое ухо. Например,

если в левое ухо транслировались цифры 7 2 3, а в правое — 2 1 5; то обычная запись субъекта выглядела 7 2 3 2 1 5 или 2 1 5 7 2 3.

Другая группа также слушала бинауральные списки, каждый из которых состоял из трёх пар цифр, но субъекты были проинструктированы записать услышанные цифры в том порядке, в котором они транслировались. Например,

если в левое ухо транслировались цифры 7 3 4, а в правое — 2 1 5, то ожидалась запись 7 2 3 1 4 5 или 2 7 1 3 5 4.

Интервалы времени между парами цифр составляли: 2 секунды; $1\frac{1}{2}$ секунды; 1 секунду и $\frac{1}{2}$ секунды. Эта группа субъектов продемонстрировала гораздо больше ошибок, чем предыдущая, причём количество ошибок было значительно для интервалов в 1 секунду и $\frac{1}{2}$ секунды. Количество ошибок резко сокращалось, когда временной интервал составлял 2 секунды.

Искусственная среда, в которую помещались субъекты в эксперименте Бродбента, похожа на среду экспериментов Черри, поскольку физические характеристики всех сенсорных событий одинаковы и подозрительные события отсутствуют. Существенное отличие эксперимента Бродбента от экспериментов Черри заключается в том, что

субъект был ориентирован на переключение внимания с одного потока сенсорных событий на другой, что, в сущности, и являлось целью эксперимента.

Как рамках модели Бродбента, так и в рамках модели Трейсман результаты этих экспериментов объясняются «инерционными» свойствами модели. Сенсорное событие — это порция информации, которую система распознавания в состоянии категоризовать «за один раз». В случае звуковых вербальных сенсорных событий разделителем событий является пауза между ними. Для небольшой паузы ($\frac{1}{2}$ секунды) все три цифры воспринимаются как одно сенсорное событие. Таким образом, первая группа субъектов решала задачу категоризации одного сенсорного события. Задача была сформулирована так, что системе внимания понадобилось одно переключение фильтра между двумя очередями сенсорных сегментов. Хорошие результаты, полученные при решении этой задачи, объясняются тем, что суммарное время, потраченное фильтром и системой распознавания, было меньше, чем время естественного затухания. Для случая модели Бродбента эта оценка выглядит следующим образом

$$\text{switchCycle} + 2(\text{selectionCycle} + \text{recognitionCycle}) < \text{decayCycle}$$

Вторая группа субъектов, получавшая вербальные сообщения с малым интервалом ($\frac{1}{2}$ секунды) также решала задачу категоризации одного сенсорного события, но формулировка задачи потребовала пять переключений фильтра между двумя очередями. Большое количество ошибок, объясняется тем, что общее время её решения, превышало время естественного затухания:

$$5\text{switchCycle} + 6(\text{selectionCycle} + \text{recognitionCycle}) > \text{decayCycle}$$

И, наконец, вторая группа субъектов, получавшая вербальные сообщения с большим интервалом (примерно 2 секунды) решала задачу категоризации шести последовательных сенсорных событий. Для категоризации каждого из событий понадобилось только одно

переключение фильтра, как и в случае первой группы. Здесь также были получены хорошие результаты, поскольку суммарное время, потраченное фильтром и системой распознавания, было меньше времени естественного затухания:

$$\text{switchCycle} + 2(\text{selectionCycle} + \text{recognitionCycle}) < \text{decayCycle}$$

2.2.3. Ресурсная модель внимания Канемана

Ресурсная теория внимания, предложенная Канеманом, предполагает, что внимание представляет собой некий ментальный ресурс, единый для всей психики человека. Осознанное выполнение какой-либо деятельности, либо осознанное решение какой-либо задачи возможно только в том случае, если этой деятельности или задачи выделена достаточная часть единого ресурса. Ресурсная теория внимания Канемана более глобальна, чем теории фильтрации внимания Бродбента и Трейсмана, поскольку объясняет большее количество экспериментальных данных, полученных при исследовании феномена внимания.

Начнём синтез класс-структурированной модели ресурсной модели внимания Канемана с некоторого обобщения. Будем считать, что на каждом этапе (шаге) активности организма окружающий мир ставит его перед необходимостью решать ментальную задачу, которая может либо сопровождаться, либо не сопровождаться моторной активностью. *Таким образом, окружающий мир правомерно рассматривать как постоянный работающий генератор ментальных задач.*

Введём в рассмотрение класс ментальных задач — `MentalTask`, объекты которого соответствуют задачам, порождаемым окружающим миром. Для решения ментальной задачи необходимы как релевантное восприятие, так и соответствующие знания, поэтому, в самом общем случае, атрибутами класса `MentalTask` будут: информация со стороны сенсорной системы и соответствующие когнитивные структуры долговременной памяти.

Будем, для определённости, считать, что атрибут класса `MentalTask`, соответствующий информации со стороны сенсорной системы имеет тип `SensorySegment`. Ранее, при синтезе класс-структурированной модели селективного внимания Бродбента мы ввели в рассмотрение понятие сенсорного сегмента, как информационного образа сенсорного события, формируемого сенсорной системой и находящегося в сенсорном буфере.

Второй атрибут класса `MentalTask`, — называемый Канеманом когнитивной структурой долговременной памяти будем понимать как схемы, в смысле, общепринятом в когнитивной психологии.

Класс ментальных задач разделим на два подкласса: задачи, решение которых невозможно без контроля со стороны сознания — `VoluntaryTask` и задачи, решение которых осуществляется автоматически — `InvoluntaryTask`. Выбор схемы и её активизация, путем выделения части единого ресурса, для задач из класса `VoluntaryTask` осуществляется согласно *принципу краткосрочных намерений* (*momentary intention*). Таким образом, принцип *momentary intention* предполагает выбор схемы и её активизацию. Выбор схемы для задач из класса `InvoluntaryTask` осуществляется в соответствии с *принципом продолжительных диспозиций* (*enduring dispositions*). Таким образом, этот принцип предполагает автоматический выбор схемы без её активизации.

В процессе синтеза класс-структурированной модели внимания Бродбента была введена классификация сенсорных событий, разделяющая их на рутинные и подозрительные. Эта классификация хорошо согласуется с предложением Канемана рассматривать два типа селекции: *voluntary selection* (произвольная или осознанная селекция) и *involuntary selection* (непроизвольная или автоматическая селекция). Поэтому предположим, что *непроизвольная селекция имеет место в том случае, когда обнаруживается (детектируется) подозрительное сенсорное событие*.

На рис. 2.12 приведена диаграмма классов, отражающая структуру системы ментальных задач в ресурсной модели Канемана.

Одна из характерных особенностей теории внимания Канемана заключается в том, что она интегрирует понимание внимания, как

феномена, связанного с восприятием, и понимание внимания, как ресурса, необходимого для решения ментальных задач. При решении ментальной задачи, психика использует механизм внимания двояким образом.

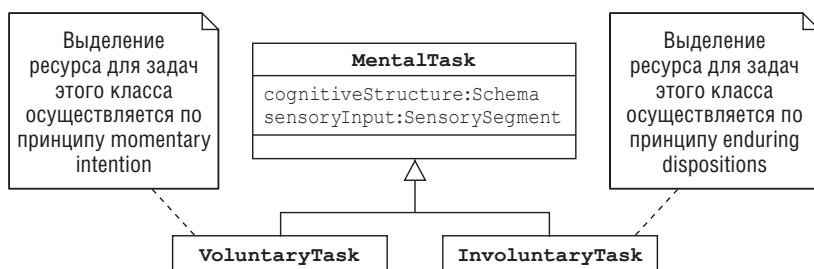


Рис. 2.12. Структура системы ментальных задач в ресурсной модели Канемана

Внимание фокусируется на тех сенсорных событиях, которые необходимы для решения текущей ментальной задачи. В этом случае механизм внимания работает как селектор сенсорных событий в смысле селективных моделей внимания.

Внимание фокусируется на тех схемах, которые релевантны текущей ментальной задаче и должны быть активизированы. В этом случае механизм внимания работает как селектор схем.

Таким образом, внимание является неким «посредником» между классом ментальных задач, классом схем и классом сенсорных сегментов. Иными словами внимание можно рассматривать как тернарное отношение между: (1) классом ментальных задач *MentalTask*; (2) классом сенсорных сегментов *SensorySegment* и (3) классом релевантных схем *TaskRelevantSchema*.

На рис. 2.13 приведена диаграмма классов, отражающая идею представления внимания в виде тернарного отношения типа ассоциация.

Особенностью модели, приведенной на рис. 2.13, является *понимание внимания как отношения между классами*. Для моделирования

этого отношения, на рис. 2.13, использовано тернарное отношение типа ассоциация. Тернарная ассоциация применяется в ситуациях, когда новые сущности образуются путём объединения объектов, принадлежащих трём различным классам. UML предполагает, что само отношение типа ассоциация может рассматриваться как класс. На рис. 2.13 тернарная ассоциация, моделирующая внимание представлена классом с именем *Attention*. Для изображения тернарной ассоциации на диаграмме классов используется графический символ ромба, который объединяет графические символы ассоциаций, исходящие из символов классов, участвующих в ассоциации (левая, правая и нижняя вершины ромба на рис. 2.13), а также пунктирную линию, исходящую из символа класса, представляющего тернарную ассоциацию (верхняя вершина ромба на рис. 2.13).

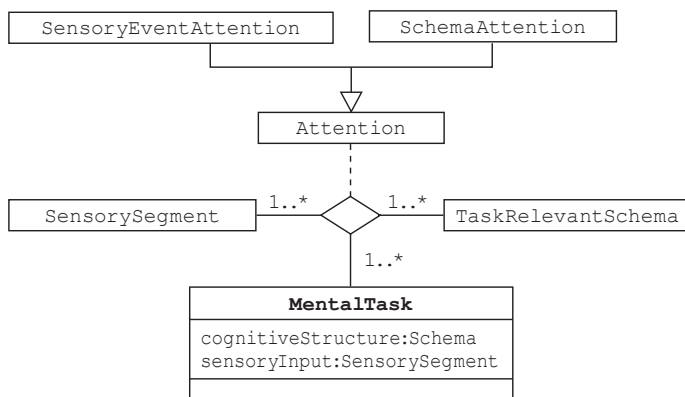


Рис. 2.13. Моделирование внимания тернарной ассоциацией

Класс *Attention* является суперклассом для двух подклассов: *SensoryEventAttention* и *SchemaAttention*. Класс *SensoryEventAttention* «ответствен» за фокусировку внимания на сенсорных событиях, необходимых для решения текущей ментальной задачи, а класс *SchemaAttention* — «ответствен» за

фокусировку внимания на схемах, которые релевантны задаче и должны быть активизированы, если задача решается осознано.

Исходя из описания ресурсной модели Канемана можно сформулировать некоторые ключевые атрибуты класса `SchemaAttention` и его базовое поведение (в виде набора методов).

`spareCapacity:Resource` — атрибут, моделирующий резервный ресурс.

`totalCapacity:Resource` — атрибут, моделирующий общий, ограниченный ресурс.

`arousal(sources):totalCapacity` — метод, моделирующий зависимость общего ресурса от возбуждения и реализующая закон Йеркеса-Додсона. Параметр `source` моделирует источник возбуждения (мышечное напряжение, приём лекарственных препаратов и т.п.).

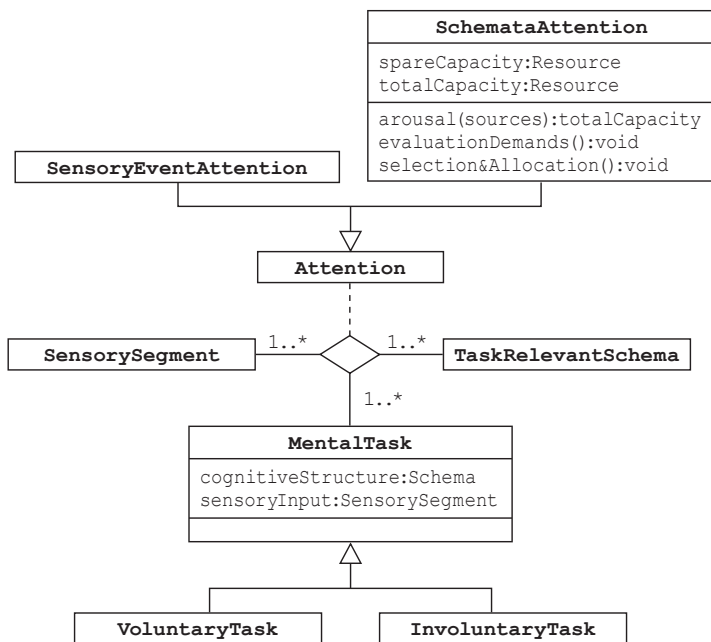


Рис. 2.14. Класс-структурированная ресурсная модель внимания Канемана.

`evaluationDemands()` — метод, моделирующий принцип оценки потребности в ресурсе.

`selection&Allocation()` — метод, моделирующий выбор и закрепление ресурса за задачей. Этот метод осуществляет выбор схемы и её возможную активизацию и реализует принцип продолжительных диспозиций и принцип краткосрочных намерений.

Объединяя диаграммы, приведенные на рис. 2.12 и рис. 2.13, с учётом введенных атрибутов и методов получим класс-структурированную модель внимания Канемана, изображенную на рис. 2.14.

2.3. Выводы

Материал второго раздела посвящен формализации когнитивных моделей восприятия и внимания путем представления структуры этих моделей в парадигме «вещь-свойство-отношение». В качестве языка описания моделей использован диаграмматический язык UML, разработанный для точной спецификации программных систем. На основании материала второго раздела сделаем несколько обобщающих выводов для связи содержания этого раздела с последующим изложением.

Система моделирование UML, и, в частности диаграмма классов достаточно богата, и может использоваться для строгого описания структуры когнитивных моделей в парадигме «вещь-свойство-отношение». Адекватность класс-структурированных моделей селективного слухового внимания оригинальным описаниям этих моделей в публикациях Бродбента и Трейсмана подтверждается их хорошей согласованностью с результатами экспериментов, посвящённых исследованию феномена селективного слухового внимания.

Феномены восприятия и внимания является только элементами психики человека. Поэтому важно уметь интегрировать отдельные когнитивные модели в более обширные и когерентные системы. Например, интегрировать селективные и ресурсные модели внимания, интегрировать модели восприятия и внимания и т.п. Класс-структурированное описание когнитивных моделей является, по сути,

способом унифицированного представления различных теорий и моделей в области когнитивных наук и существенно облегчает упомянутую задачу интеграции. Класс-структурированные модели легко интегрируются, и объединяются. Так, например, фильтры Трейсман, моделируемые классом `TreismanFilter` (рис. 2.11) является подклассом класса фильтров Бродбента, моделируемого классом `BroadbentFilter` (рис. 2.10). Легкость интеграции класс-структурированных моделей представленных в виде UML-диаграммы классов облегчает задачу синтеза более обширных моделей. Представляется перспективным интеграция моделей внимания с моделью цикла восприятия Найсера.

Процесс синтеза класс-структурированных когнитивных моделей сопровождается необходимостью отображать вербальные описания в онтологию UML диаграммы классов. Этот процесс, часто, позволяет иначе взглянуть на концепты когнитивных теорий и моделей. Например, в процессе синтеза класс-структурированной ресурсной модели внимания Канемана определилось новое понимание феномена внимания, заключающееся в том, что *внимание играет роль отношения* между тремя классами: классом ментальных задач, классом релевантных схем и классом сенсорных событий.

Совокупность методов определяет поведение класса. При синтезе класс-структурированных моделей, методы предлагаются и включаются в классы исходя из того, что их совокупность должна обеспечивать базовые функции того или иного класса. При этом, по сути, методы просто называются, а тема их реализуемости не обсуждается. Иными словами, на вопрос о возможности кодирования методов подразумевался ответ: «Пусть программисты об этом думают». Примером может служить метод `decay`, моделирующий процесс естественного затухания сенсорного сегмента в сенсорном буфере в модели Бродбента. Такой подход, во-первых, оставляет в класс-структурированных моделях значительную долю неопределенности, а во-вторых, необходимо требует дополнительных исследований, предшествующих кодированию.

3 МОДЕЛИРОВАНИЕ СТРУКТУРНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ СИМУЛЯТОРА СЕЛЕКТИВНОГО СЛУХОВОГО ВНИМАНИЯ

Симулятор когнитивной системы это компьютерная программа, которая разрабатывается с целью исследования этой системы. Если когнитивная модель, положенная в основу симулятора, «правильно» моделирует систему и «правильно» отображена в программный код, то симулятор может заменить человека-субъекта в лабораторных исследованиях. На предъявляемые стимулы симулятор должен реагировать точно так же как и человек. Из сказанного следует, что симулятор когнитивной системы должен удовлетворять двум условиям. Во-первых, внутренняя организация исходной когнитивной модели и внутренняя организация симулятора должны быть изоморфны. Во-вторых, один и тот же психологический эксперимент, проводимый как с симулятором, так и с человеком-субъектом должны порождать одинаковые результаты.

Как доказать, что когнитивная модель психологического феномена адекватно обобщает экспериментальные данные? Мы считаем, что лучшим способом такого доказательства является построение на ее основе когнитивного симулятора и использования его для экспериментального исследования психологического феномена. Если результаты общеизвестных экспериментов, опубликованные в литературе, и результаты этих же экспериментов, полученные при помощи симулятора совпадают, то можно считать, что исходная когнитивная модель адекватна объекту моделирования.

Работа по синтезу класс-структурированных когнитивных моделей восприятия и внимания, проделанная во втором разделе, может рассматриваться, как предварительное специфицирование симуляторов когнитивных систем восприятия и внимания. Класс-структурированные

модели, синтезированные во втором разделе, содержат гораздо меньше неопределенности, чем их исходное описание. Эти модели являются точными, унифицированными и представлены в концептуальном базисе, понятном программисту. Однако, для их отображения в код программы необходимо решить ряд дополнительных проблем, относительно того *как представлять в компьютере атрибуты классов и входные параметры методов (их типы), а также какие алгоритмы должны лежать в основе работы методов.* Тип атрибута или тип входного параметра метода, который на этапе класс-структурированного моделирования вводится просто при помощи мнемонического имени, может моделировать данные сложной структуры. Это же можно сказать об алгоритмах методов. На этапе класс-структурированного моделирования методы вводятся исходя из необходимости моделирования требуемой деятельности просто путем записи заголовка метода. Однако реализация такой деятельности может быть не тривиальной задачей и описываться сложным алгоритмом. Решению этих проблем посвящен третий раздел, в котором выполнены некоторые исследования, необходимые для уточнения класс-структурированной модели слухового внимания Бродбента.

3.1. Сенсорная часть слухового анализатора

Класс-структурированная модель слухового внимания Бродбента, изображенная на рис. 2.10, предполагает, что в распоряжении системы уже имеются как сформированные сенсорные сегменты, так и очереди сенсорных сегментов для левого и правого уха. Очевидно, что для реализации программного симулятора модели внимания Бродбента этого недостаточно и должны быть специфицированы способы и средства формирования сенсорных сегментов. Модель нужно дополнить элементами, моделирующими сенсорную часть слухового анализатора человека таким образом, чтобы она соответствовала общепринятым способам создания и хранения звука в компьютере общего назначения.

Таким образом, по отношению к класс-структурированной модели, приведенной на рис. 2.10, настоящий подраздел посвящен исследованию

того, что собой представляет тип `SensorySegment`, возвращаемый методом `createSegment`, и того, каким образом может быть реализован метод `createSegment` с точки зрения общепринятого способа представления звука в компьютере.

Сенсорная обработка в класс-структурированной модели Бродбента, на рис. 2.10, моделируется единственным методом `createSegment`, находящимся в классе `SensorySegment`. По сути, этот метод воплощает в себе работу сенсорной части слухового анализатора человека. Поэтому, начнем с того, что рассмотрим структуру сенсорной части слухового анализатора человека, а затем, посмотрим, каким образом можно моделировать работу этой системы в рамках архитектуры компьютера общего назначения.

Физический раздражитель, воспринимаемый человеком как звук, состоит из изменений давления воздуха, которые вызывают волны сжатия (относительно высокого давления) и разрежения (пониженного давления). Слуховые сенсорные рецепторы не имеют непосредственного контакта с внешней средой и находятся во внутреннем ухе слухового анализатора. Они выполняют функцию сенсорного преобразования, осуществляющие преобразование градиентов давления на элементы внутреннего уха в электрическую активность нейронов.

Слуховой анализатор человека представляет собой сложную систему, включающую акустические, механические, гидравлические и электрические (нейронные) подсистемы. Анатомия и физиология слухового анализатора достаточно подробно изучены и описаны в [99]. Примерная структура сенсорной части звукового анализатора, необходимая для дальнейшего изложения, приведена на рис. 3.1.

Сенсорную часть звукового анализатора человека принято делить на три компонента: (1) наружное ухо; (2) среднее ухо и (3) внутреннее ухо.

Наружное ухо непосредственно связано с внешней средой и принимает акустические сигналы в виде колебаний воздуха. Наружный слуховой проход проводит звуковые колебания к барабанной перепонке. Барабанная перепонка, отделяющая наружное ухо от среднего уха, представляет собой тонкую (0,1 мм) перегородку, имеющую форму направленной внутрь воронки. Перепонка колеблется под воздействием колебаний воздуха, пришедших к ней через наружный слуховой проход.

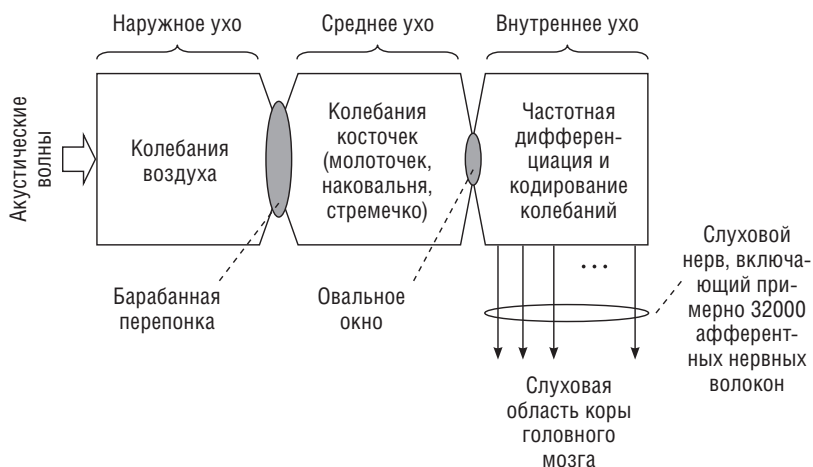


Рис. 3.1. Примерная структура сенсорной части звукового анализатора

Среднее ухо заполнено воздухом. В нем находятся три косточки: молоточек, наковальня и стремечко, которые последовательно передают колебания барабанной перепонки во внутреннее ухо. Границей между средним и внутренним ухом является «овальное окно». Молоточек вплетен «рукояткой» в барабанную перепонку, другая его сторона соединена с наковальней, передающей колебания стремечку. Благодаря особенностям геометрии слуховых косточек стремечку передаются колебания барабанной перепонки уменьшенной амплитуды, но увеличенной силы. Площадь поверхности стремечка примерно в 22 раза меньше площади поверхности барабанной перепонки, что во столько же раз усиливает его давление на мембрану овального окна. В результате этого даже слабые звуковые волны, действующие на барабанную перепонку, способны преодолеть сопротивление мембраны овального окна и передать колебания во внутреннее ухо.

Во внутреннем ухе находится орган, называемый «улитка», содержащий слуховые рецепторы. Улитка представляет собой костный спиральный канал, образующий 2,5 витка. Диаметр спирального

канала у основания улитки примерно 0,04 мм, а на вершине ее — 0,5 мм. Улитка заполнена перилимфой — жидкостью, напоминающей по составу цереброспинальную жидкость. Внутри улитки расположен звуковоспринимающий аппарат, содержащий рецепторные волосковые клетки. Волосковые клетки, совместно с нейронами, которые сопряжены с ними трансформируют механические колебания в электрические потенциалы. Сигналы от нейронов волосковых клеток поступают в головной мозг по слуховому нерву, состоящему из 32 000 афферентных нервных волокон.

Информация передается по волокнам слухового нерва в виде электрических импульсов. Электрические импульсы, проходящие по нервным волокнам, называются потенциалами действия, а распространение потенциала действия по нервному волокну можно интерпретировать как ионный ток. Нейрон каждой волосковой клетки «настроен» на определенную частоту звука. О настройке отдельного нейрона на определенную частоту свидетельствует наличие у него специфической частотно-пороговой характеристики (зависимости пороговой интенсивности звука, необходимой для возбуждения нейрона, от частоты звуковых колебаний). Для каждого нейрона существует оптимальная или характеристическая частота звука, на которую порог реакции нейрона минимален, а в обе стороны по диапазону частот от этого оптимума порог резко возрастает. При надпороговых звуках характеристическая частота дает наибольшую частоту разрядов нейрона. *Таким образом, каждый нейрон настроен на выделение из всей совокупности звуков лишь определенного, достаточно узкого участка частотного диапазона.* Характеристические частоты нейронов различных волосковых клеток не совпадают, и, в совокупности, они перекрывают весь частотный диапазон слышимых звуков, обеспечивая полноценное их восприятие.

Сила звука кодируется как частотой следования импульсов, так и числом возбужденных нейронов. При слабом звуке активизируется лишь небольшое число наиболее чувствительных нейронов, а при усилении звука в реакцию вовлекается все большее число дополнительных нейронов.

3.2. Кодирование звука и представление звукового сенсорного сегмента

Как следует из описания сенсорной части звукового анализатора, только две характеристики звука кодируются улиткой и учитываются при его восприятии в слуховой области коры головного мозга: (1) частотный состав звукового сигнала и (2) интенсивность каждого частотного компонента звукового сигнала.

Кодирование частотного состава звукового сигнала осуществляется путем пространственного распределения отдельных частотных компонентов звука по различным нервным волокнам (или пучкам волокон) слухового нерва. Интенсивность звука кодируется для каждого частотного компонента количеством импульсов, проходящих в единицу времени по соответствующим нервным волокнам, а также количеством используемых нервных волокон в соответствующем пучке. Чем интенсивнее звук, тем чаще следуют импульсы по нервным волокнам и тем больше нервных волокон задействовано в пучке.

Симулятор — это компьютерная программа, предназначенная для работы на компьютере общего назначения. Работа со звуком на таких компьютерах имеет давнюю историю и обеспечивается аппаратурой, управляющими программами операционной системы и большим набором прикладных программ. Поскольку нашей задачей является разработка симулятора внимания, а не симулятора сенсорной части звукового анализатора, представляется целесообразным использовать существующие средства работы со звуком в компьютерах общего назначения, сохранив главные характеристики звука, которые учитываются звуковым анализатором и необходимые для правильного моделирования свойства сенсорного буфера. Мы считаем, что *главным свойством сенсорного буфера, которое должно найти отражение в симуляторе заключается в естественном затухании сенсорных сегментов с течением времени.*

Поэтому, будем строить ту часть симулятора, которая трансформирует звуковые сенсорные события в сенсорные сегменты, опираясь не на структуру сенсорной части звукового анализатора, изображенную

на рис. 3.1, а на структуру общепринятой системы кодирования, хранения и воспроизведения звука используемую в архитектуре компьютера общего назначения. Эта структура приведена на рис. 3.2.

Акустические волны, переносящие информацию о звуке, преобразуются в их электрический аналог при помощи микрофона. Амплитуда напряжения на выходе микрофона определяется интенсивностью звука на его входе. Чем выше интенсивность, тем больше амплитуда.

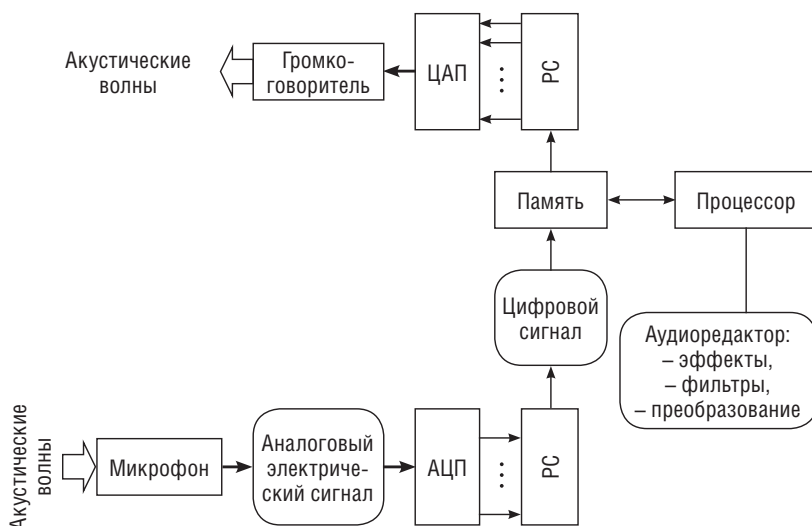


Рис. 3.2. Примерная структура системы кодирования, хранения и воспроизведения звука в компьютере общего назначения;
АЦП — аналого-цифровой преобразователь; ЦАП — цифро-аналоговый преобразователь; РС — регистр сдвига

Затем осуществляется преобразование аналогового электрического сигнала в цифровую форму. Для этой цели могут использоваться различные методы, однако, чаще всего применяется метод, называемый импульсно-кодовая модуляция (ИКМ). Суть метода состоит в

представлении мгновенных значений амплитуды аналогового сигнала на выходе микрофона в виде цифрового двоичного кода заданной точности через равные промежутки времени.

При импульсно-кодовой модуляции аналоговый сигнал преобразуется в цифровую форму посредством трёх операций: (1) дискретизации по времени, (2) квантования по амплитуде и (3) кодирования.

Для преобразования аналогового сигнала в цифровой код используется аналого-цифровой преобразователь (АЦП), который через равные промежутки (дискреты) времени измеряет амплитуду аналогового сигнала, которую затем преобразует в двоичные слова. Измеряемое значение аналогового сигнала квантуется по уровню путем округления до ближайшего целого числа. Число уровней квантования равно целой степени числа два, например, 8, 16, 32 и т.д. Выходные слова АЦП в параллельном виде передаются в регистр сдвига (РС). На выходе регистра сдвига формируются «пачки» битов, которые в последовательном виде передаются в канал связи, либо память компьютера. Размер «пачки» равен количеству разрядов регистра сдвига, а в канал связи данные из регистра сдвига передаются в виде последовательности импульсов.

На рис. 3.3 приведен пример работы ИКМ для восьми уровней квантования по амплитуде.

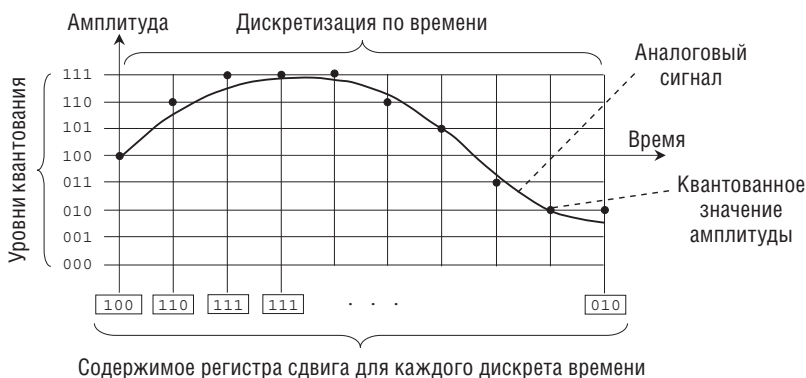


Рис. 3.3. Пример работы импульсно-кодовой модуляции с использованием восьми уровней квантования по амплитуде

При воспроизведении оцифрованного звука, поступающего из канала связи либо находящегося в памяти компьютера, «пачки» битов вдвигаются в регистр сдвига, откуда они в параллельном виде попадают на вход цифро-аналогового преобразователя (ЦАП). ЦАП преобразует кодированные значения амплитуды сигнала снова в аналоговый вид. На выходе ЦАП образуется ступенчатый аналоговый сигнал. Для сглаживания ступенек используется фильтр, на выходе которого формируется аналоговый сигнал, который трансформируется в звук при помощи громкоговорителя.

На рис 3.3, для кодирования аналогового сигнала использовались числа в двоичной системе счисления, причём последовательная передача битов двоичного числа в/из регистра сдвига может осуществляться как младшими, так и старшими битами вперёд. Однако могут использоваться и другие коды. Например, коды с обнаружением и устранением ошибок в канале передачи (код Хемминга и др.)

Часто точность квантования (в виде количества разрядов на выходе АЦП) и частоту дискретизации указывают для устройств записи и воспроизведения как главные характеристики представления цифрового звука. Например, 24 бита/192 кГц или 16 бит/48 кГц.

Аудиофайлом называют файл, содержащий оцифрованную звукозапись, предназначенную для последующего воспроизведения. Формат аудиофайла определяет структуру и особенности представления звуковых данных при хранении в памяти компьютера. С целью устранения избыточности данных в аудиофайле могут использоваться программы, называемые аудиокодеками, при помощи которых производится сжатие аудиоданных. По отношению к способу сжатия выделяют три группы звуковых форматов файлов:

- форматы без сжатия, например, WAVE/WAV (WAVEform Audio File);
- форматы со сжатием без потери качества, например APE;
- форматы со сжатием с потерей качества, например MP3.

Существует большое количество программ, называемых аудиоредакторами, предназначенных для создания и редактирования аудиофайлов. Аудиоредакторы содержат удобный инструмент для графического представления оцифрованного звука в виде *сигналограммы*

(или волновой формы). Сигналограмма представляет звуковые данные графически, в виде последовательности отсчетов дискретизации, которые объединены одной огибающей, соответствующей амплитуде звукового сигнала. Сигналограмма отображается в системе координат, в которой горизонтальной осью является ось времени, а вертикальной — амплитуда звука. Наиболее продвинутые редакторы позволяют отображать и редактировать амплитуду с точностью до одного отсчета.

На рис 3.4 приведена сигналограмма, созданная с помощью аудиоредактора Cool Edit Pro которая получена при записи слова «один» с частотой дискретизации 10 кГц.

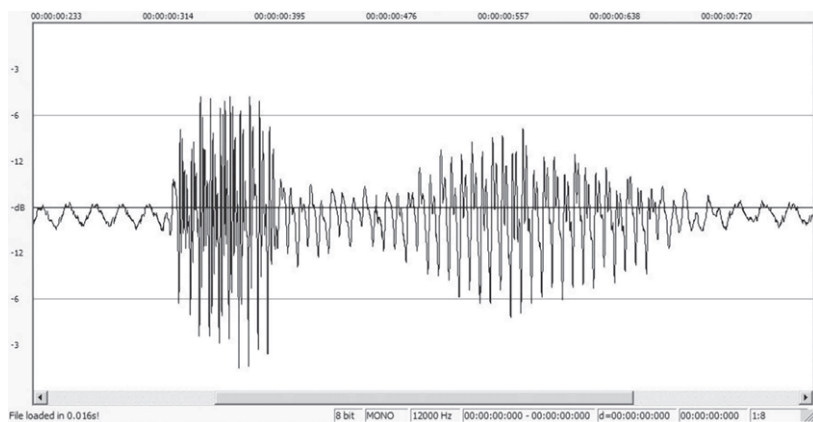


Рис. 3.4. Сигналограмма слова «один» в аудиоредакторе Cool Edit Pro

Подводя итоги, примем следующие решения относительно кодирования звука и представления звукового сенсорного сегмента в симуляторе модели сфокусированного слухового внимания Бродбента.

Для преобразования звукового сенсорного события в звуковой сенсорный сегмент (метод `createSegment` на рис. 2.10) в симуляторе будем использовать систему, изображенную в нижней части рис. 3.2.

Для проведения экспериментов с симулятором будем сохранять звуковые сенсорные сегменты (тип `SensorySegment` на рис. 2.10) в виде аудиофайлов в формате WAV, который не предполагает сжатия при помощи аудиокодека. Это решение связано с тем, что в слуховом анализаторе человека не обнаружены средства сжатия звуковых сенсорных сегментов.

Сенсорные сегменты будем создавать при помощи аудиоредактора, используя рекомендуемую частоту дискретизации. Как отмечается в ряде источников для каналов передачи звуковых сигналов с полосой пропускания от 20 Гц до 4–5 кГц (соответствует слуховому анализатору человека), частота дискретизации сигнала должна составлять 8–10 кГц [100].

При проведении экспериментов с симулятором, сенсорные сегменты будем либо формировать динамически при помощи микрофона, либо использовать заранее сформированные сенсорные сегменты, находящиеся в памяти компьютера в виде аудиофайлов. В аудиофайлах будут храниться оцифрованные слова, соответствующие цифрам от одного до десяти. Нам понадобятся два вида аудиофайлов. Аудиофайл, хранящий только одно оцифрованное слово, либо аудиофайл, хранящий последовательность из нескольких оцифрованных слов.

3.3. Моделирование затухания звукового сенсорного сегмента

Как следует из класс-структурированной модели селективной слуховой внимательности Бродбента (см. рис. 2.10) произвольный сенсорный сегмент описывается следующими атрибутами и методами.

`age:Time` — атрибут, моделирующий «возраст» сенсорного сегмента, или время его нахождения в сенсорном сегменте.

`decayCycle:Time` — атрибут, моделирующий время полного затухания сенсорного сегмента в сенсорном буфере, или время, в течение которого интенсивность сенсорного сегмента становится ниже порога распознаваемости при последующей постсенсорной обработке.

`suspiciousFeatures:F[1..*]` — атрибут, моделирующий признаки подозрительности для подозрительного сенсорного сегмента.

`decay(decayCycle):void` — метод, моделирующий процесс естественного затухания за время `decayCycle`.

`createSegment(sEvent):SensorySegment` — метод, моделирующий создание сенсорного сегмента из сенсорного события (моделирует сенсорную обработку)

Какие атрибуты и методы произвольного сенсорного сегмента являются репрезентативными, с точки зрения реализации программного симулятора селективного звукового внимания Бродбента? *Если ограничится восприятием только рутинных сенсорных событий, и, следовательно, рассматривать только рутинные сенсорные сегменты, то наиболее существенным в модели сенсорного сегмента является его свойство естественного затухания.*

Звуковые сенсорные сегменты, представленные так, как это описано в подразделе 3.2, могут храниться в памяти компьютера сколь угодно долго, не подвергаясь каким-либо изменениям, поскольку память компьютера общего назначения не обладает свойством естественного затухания. Следовательно, необходимо провести дополнительные исследования, и представить звуковой сенсорный сегмент в виде, который позволит программному симулятору моделировать процесс затухания. Иными словами сенсорный сегмент нужно представить в виде, позволяющим реализовать метод `decay`.

Поскольку в представлении звука, в сенсорной части звукового анализатора человека, используются только две характеристики: разделение звукового сигнала на частотные компоненты и интенсивность каждого частотного компонента, то рассмотрим три логические возможности моделирования процесса естественного затухания звукового сенсорного сегмента в сенсорном буфере.

1. За время полного затухания, по некоторому закону уменьшается интенсивность каждого частотного компонента. После истечения времени полного затухания интенсивность частотных компонентов принимает значения, ниже порога распознаваемости и, следовательно, звуковой сенсорный сегмент не может быть категоризован.

2. За время полного затухания, по некоторому закону уменьшаются количество частотных компонентов, составляющих звуковой сенсорный сегмент. После истечения времени полного затухания количество звуковых компонентов становится слишком малым для категоризации сенсорного сегмента.
3. Эта возможность предполагает комбинацию первых двух.

В дальнейшем будем рассматривать только первую из трех, описанных выше возможностей, поскольку она хорошо согласуется с моделью фильтра-аттенюатора Трейсман (см. рис. 2.11) и остальными моделями ранней селекции. Таким образом, будем считать, что *природа естественного затухания сенсорного сегмента в сенсорном буфере заключается в постепенном уменьшении интенсивности каждого частотного компонента, которая, после истечения времени полного затухания принимает настолько низкие значения, что звуковой сенсорный сегмент не может быть категоризован системой постсенсорной обработки.*

В теории и практике обработки сигналов известен, и широко применяется, способ представления аналогового сигнала любой формы в виде набора гармоник различной частоты, амплитуды и начальной фазы [101]. В основе этого способа лежит математическая теория преобразования Фурье и рядов Фурье. Иными словами, аналоговый сигнал, амплитуда которого является функцией времени, и изменяется произвольным образом, может быть представлен конечным количеством гармоник с различными максимальными амплитудами, начальными фазами и частотой. Наложение этих гармоник путем суммирования их амплитуд, аппроксимирует исходный аналоговый сигнал с заданной точностью. Этот способ аппроксимации аналогового сигнала можно использовать для моделирования естественного затухания сенсорного сегмента в сенсорном буфере. Для этого необходимо, вначале, представить сенсорный сегмент в виде конечного количества гармоник, а затем, в течение времени полного затухания, обеспечить уменьшение амплитуды этих гармоник по некоторому закону.

Как было отмечено в подразделе 3.2, в памяти компьютера звуковой сенсорный сегмент может храниться в виде аудиофайла, полученного путем импульсно-кодовой модуляции исходного аналогового

представления сенсорного сегмента. Для преобразования оцифрованного периодического сигнала в набор гармоник используются алгоритмы, называемые *алгоритмами дискретного преобразования Фурье* (ДПФ) [102]. Набор гармоник, на выходе алгоритма ДПФ часто называют спектром сигнала.

Для использования алгоритма дискретного преобразования Фурье в системах реального времени, оперирующих быстропротекающими процессами, разработаны *алгоритмы быстрого преобразования Фурье* (БПФ). При этом все разновидности преобразования Фурье при достаточной точности вычислений дают абсолютно одинаковые результаты. Их отличие заключается лишь в средствах достижения этого результата и скорости вычислений.

В основе алгоритма ДПФ лежит идея аналогичная идее спектрального разложения непериодических функций, которая заключается в том, что произвольный непериодический сигнал (в нашем случае сенсорный сегмент) можно рассматривать как один период некоторого бесконечного периодического сигнала. В этом случае, частотный спектр вычисляется для отдельного сенсорного сегмента. Если использовать спектр всего сенсорного сегмента то по нему невозможно судить о *динамике его развития во времени*, поскольку спектр не предоставляет информацию о том, в какие моменты времени происходят те или иные изменения сигнала. Чтобы иметь представление об изменении спектра во времени, сигнал необходимо анализировать не целиком, а по частям, «блоками» или «окнами». Таким образом, в дальнейшем, *отдельный сенсорный сегмент будем разделять на блоки, и вычислять спектр для каждого блока в отдельности*.

Одна из проблем, возникающая при поблочном спектральном анализе, заключается в появлении в спектре блока дополнительных высокочастотных составляющих. Этот эффект объясняется необходимостью аппроксимации точек разрыва сигнала по краям блока, и называется эффектом Гиббса [101]. Эффект Гиббса является крайне нежелательным, поскольку существенно уменьшает точность поблочного спектрального анализа. Для устранения эффекта Гиббса применяются так называемые сглаживающие (оконные) функции, которые плавно сводят к нулю амплитуду сигнала вблизи краёв блока [101]. В пределах

блока амплитуды сигнала умножаются на значения сглаживающей функции. Существует несколько распространённых сглаживающих функций применяемых при поблочном спектральном анализе звуковых сигналов. В случае спектрального анализа речевых сигналов традиционно применяется функция Хемминга. Сглаживающая функция Хемминга может быть описана формулой (3.1).

$$h(i) = \begin{cases} 0,54 - 0,46 \cdot \cos\left(\frac{2\pi i}{w-1}\right); & i = \overline{0, (w-1)} \\ 0; & \text{в противном случае} \end{cases} \quad (3.1)$$

где w — длина блока в дискретных отсчётах.

Таким образом, входными данными для БПФ является блок, представляющий собой набор дискретных значений, полученных из исходного сенсорного сегмента на заданном временном интервале $x(i)$, «взвешенных» функцией Хемминга $h(i)$. Результатом БПФ является спектр блока $X(k)$, представленный формулой (3.2).

$$X(k) = \Phi\{x(i) \cdot h(i)\}, \quad i = \overline{0, (w-1)}. \quad (3.2)$$

Амплитудный спектр сигнала можно получить по действительным $\text{Re}(k)$ и мнимым $\text{Im}(k)$ значениям каждой спектральной гармоники $X(k)$, полученным в результате БПФ, по формуле (3.3).

$$|X(k)| = \sqrt{\text{Re}^2(k) + \text{Im}^2(k)}, \quad k = \overline{0, w/2}. \quad (3.3)$$

На рис. 3.5 показаны этапы формирования спектра при поблочной обработке оцифрованного сигнала.

Отметим, что в блочном спектральном анализе не существует одного единственно «правильного» спектра для какого-либо сигнала. Спектр зависит от размера блока и используемой сглаживающей функции. Для каждого конкретного сигнала нужно находить свою, наиболее рациональную комбинацию того и другого. Например, чем длиннее

исходный сигнал, тем больше окон Хемминга необходимо использовать для его анализа.

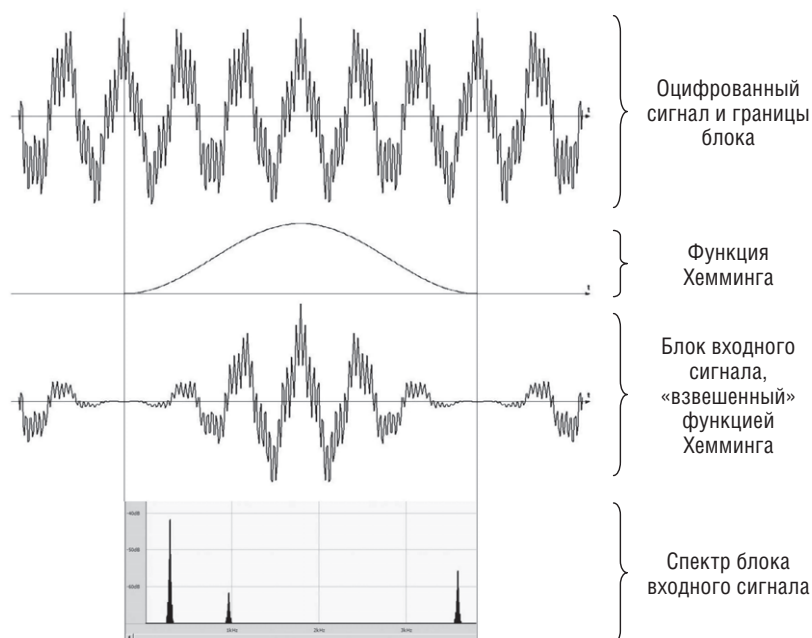


Рис. 3.5. Этапы формирования амплитудного спектра оцифрованного сигнала при поблочной обработке

Сигнал, соответствующий слову “один” длиннее, чем сигнал, соответствующий слову “одиннадцать”, поэтому, сенсорный сегмент слова “один” будет представлен, условно, десятью блоками, а сенсорный сегмент, соответствующий слову “одиннадцать” — тринадцатью блоками.

Еще одно важное свойство блочного спектрального анализа заключается в том, что при вычислении спектра определяются не те синусоидальные составляющие, из которых состоял исходный сигнал, а лишь те, которыми можно аппроксимировать исходный сигнал. Иными

словами, разложение проводится не по частотам источника, а по частотам алгоритма БПФ. Однако, при условии правильного выбора размера блока и сглаживающей функции этого почти не заметно по графику спектра, то есть график спектра достаточно адекватно отображает именно частоты исходного сигнала.

Как было отмечено ранее, основной характеристикой сенсорного буфера является естественное затухание находящихся в нем сенсорных сегментов с течением времени. Поскольку, в симуляторе селективного слухового внимания Бродбента сенсорный сегмент моделируется амплитудными спектрами блоков, то его затухание будем моделировать путем уменьшения амплитуды каждой гармоники относительно их начального значения по некоторому закону с течением времени. Таким образом, следующая задача, которая должна быть решена в процессе уточнения класс-структурированной модели селективного слухового внимания Бродбента — это задача выбора закона, по которому будет уменьшаться амплитуда гармоник блоков сенсорных сегментов на протяжении времени полного затухания. Как известно из теории колебаний, амплитуда затухающих свободных гармонических колебаний $A(t)$ изменяется по экспоненциальному закону, который может быть описан формулой (3.4) [103].

$$A(t) = A_0 \cdot e^{-\frac{t}{\tau}}, \quad (3.4)$$

где A_0 — начальная амплитуда гармоники,

t — время,

τ — постоянная времени (время затухания).

Предположим, что по такому же закону уменьшаются амплитуды гармоник в спектрах сенсорного события. Это всего лишь предположение, которое не означает, что естественное затухание сенсорного сегмента в буфере подчиняется точно такому же закону, по которому затухают свободные гармонические колебания. Если, при экспериментальном исследовании симулятора выяснится, что сделанное предположение не соответствует действительности, то закон уменьшения амплитуды гармоник можно будет изменить.

Полное затухание гармоники происходит за время равное 3τ , что соответствует времени полного затухания сенсорного события в буфере — $t_{decayCycle}$. Отсюда легко вычислить τ , которое будет равно $0,33 \cdot t_{decayCycle}$. При $t > t_{decayCycle}$ сенсорный сегмент должен быть нераспознаваем для системы постсенсорной обработки и, следовательно, в симуляторе может быть удален из сенсорного буфера.

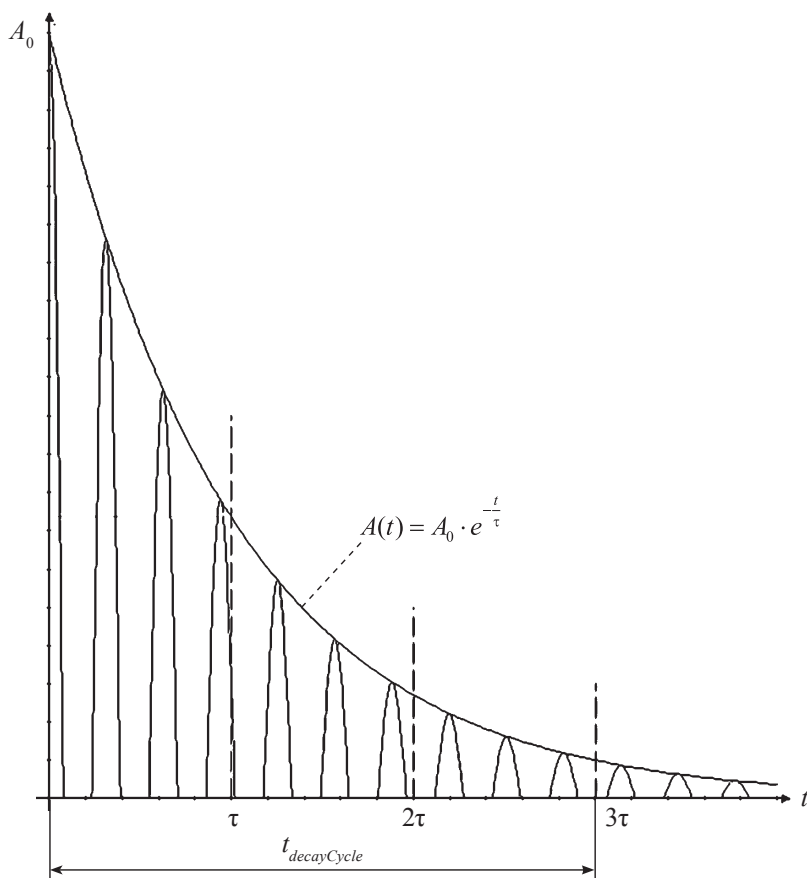


Рис. 3.6. Затухание амплитуды гармоник сенсорного события в симуляторе при экспоненциальном законе затухания

При извлечении сенсорного сегмента из сенсорного буфера амплитуды гармоник $X_i(k)$, составляющих спектральный образ каждого сенсорного сегмента, будут отличаться от их начальных значений $X_0(k)$, в зависимости от времени нахождения данного сегмента в сенсорном буфере (t_{age}). Связь между $X_i(k)$ и t_{age} можно описать формулой (3.5).

$$X_i(k) = X_0(k) \cdot e^{-\frac{t_{age}}{0,33 \cdot t_{decayCycle}}}, \quad 0 \leq t_{age} \leq t_{decayCycle}. \quad (3.5)$$

Рис. 3.6 иллюстрирует затухание амплитуд гармоник сенсорного события в симуляторе для случая использования экспоненциального закона.

3.4. Моделирование постсенсорной системы

В модели селективного слухового внимания Бродбента система постсенсорной обработки осуществляет распознавание и категоризацию сенсорных сегментов. Главной частью этой системы является блок, который Бродбент назвал «канал с ограниченными возможностями» (см. рис. 1.2). Именно канал с ограниченными возможностями осуществляет распознавание и категоризацию сенсорных сегментов, а также их трансформацию к виду, необходимому для хранения в долговременной памяти. Сенсорные сегменты поступают на вход канала с ограниченными возможностями из сенсорного буфера. Ограниченность канала мы понимаем, как его способность работать сугубо последовательно и осуществлять категоризацию сенсорных сегментов по принципу «один сегмент за один раз» в течение конечного промежутка времени. Фильтр, который расположен между сенсорным буфером и каналом с ограниченными возможностями, пропускает в канал только релевантные сенсорные сегменты, соответствующие сенсорным событиям на которых сфокусировано внимание, и в темпе, позволяющем осуществлять распознавание и категоризацию.

В класс-структурированной модели внимания Бродбента (см. рис. 2.10) канал с ограниченными возможностями моделируется классом

Recognizer. Атрибут `recognitionCycle`, этого класса, моделирует конечный промежуток времени, необходимый для распознавания и категоризации сенсорного события, а метод `recognizeSegment` — процесс распознавания и категоризации.

Для дальнейшего уточнения класс-структурированной модели селективного слухового внимания Бродбента необходимо рассмотреть каким образом в симуляторе слухового внимания Бродбента может быть реализован метод `recognizeSegment`. Будем, как и прежде, считать, что симулятор воспринимает сенсорные события в виде слов «один», «два», и так далее до слова «десять».

Доподлинно неизвестно каким образом осуществляется распознавание и категоризация звуковых сенсорных сегментов в системе восприятия человека. Поэтому, при исследовании возможности реализации метода `recognizeSegment`, отойдем от первоначальной идеи когнитивного моделирования. Мы не будем обеспечивать антропоморфность метода `recognizeSegment` антропоморфностью его внутренней структуры, а будем искать наиболее адекватные известные методы распознавания, которые можно применить в этом случае. Таким образом, мы заменяем проблему «распознавание звуковых сенсорных сегментов при их восприятии человеком» на проблему «распознавание речевого сигнала в системах речевого общения с компьютером».

Распознавание речи часто определяется как процесс автоматической обработки речевого сигнала с целью определения последовательности слов, которая передаётся с его помощью [104]. В теории и практике распознавания речи существуют три наиболее распространённых типа задач имеющих самостоятельное теоретическое и практическое значение:

1. распознавание отдельно произносимых слов устной речи;
2. распознавание слитной речи, составляемой из слов выбранного словаря;
3. распознавание и смысловая интерпретация слитной речи для устного диалога человека и компьютера на формализованных или усечённых естественных языках.

Для каждой из перечисленных задач предложено достаточно большое количество способов их решения [104–108]. В нашем случае, для

адекватной реализации симулятором экспериментов Бродбента, описанных в [35], при разработке метода `recognizeSegment` достаточно будет воспользоваться простой системой распознавания изолированных цифр, например такой, которая описана в [108]. Таким образом, будем строить систему, реализующую метод `recognizeSegment`, которая обладает следующими характерными особенностями.

- Система содержит словарь эталонов сенсорных сегментов, которые соответствуют эталонам изолированных слов, обозначающих десять цифр от 1 до 10;
- Система является дикторозависимой, и, следовательно, в ней отсутствует подсистема обучения;
- На вход системы поступают сенсорные сегменты, разделенные на блоки, соответствующие произносимым словам, с паузами в качестве разделителей между отдельными словами. Сенсорные сегменты, соответствующие паузам являются критериями начала и окончания слов, а находящийся между ними набор сенсорных сегментов — словом, подлежащим распознаванию.
- Результатом распознавания сенсорного сегмента является слово, записанное буквами.

После того, как сформирован словарь эталонных слов, весь процесс распознавания разделим на три основных этапа: (1) получение сенсорного сегмента, соответствующего слову, из сенсорного буфера; (2) сравнение полученного сенсорного сегмента с набором эталонов и вычисление корреляционной связи между ними; (3) распознавание сенсорного сегмента путем принятия решения в пользу максимального соответствия результатов сравнения.

Таблица 3.1 отражает структуру словаря эталонов сенсорных сегментов.

Словарь состоит из десяти разделов, каждый из которых хранит информацию об одном конкретном сенсорном сегменте.

Каждый раздел словаря состоит из заголовка, содержащего лексическое значение сенсорного сегмента и набора записей. Записи соответствуют строкам таблицы, и состоят из порядкового номера блока сенсорного сегмента, а также значений модулей амплитуд всех гармоник его спектрального образа в диапазоне от 0 до $N-1$, где N — количество гармоник,

составляющих спектральных образ слова. Количество строк соответствует количеству блоков в сенсорном сегменте и лежит в диапазоне от 1 до n . Значение n (количество окон Хемминга) индивидуально для каждого сенсорного сегмента и зависит от длительности звучания соответствующего слова. Чем дольше звучит слово, тем больше окон Хемминга необходимо использовать для его спектрального анализа. Значение N фиксировано и зависит от точности аппроксимации исходного звукового сигнала.

Таблица 3.1

Структура словаря эталонов звуковых сенсорных сегментов

Лексическое значение сенсорного сегмента (сенсорное событие)	Номер блока сенсорного сегмента	Спектральный образ блока
«Один»	0	$\{ X(0) , X(1) , X(2) , \dots, X(N-1) \}$
	1	$\{ X(0) , X(1) , X(2) , \dots, X(N-1) \}$
	...	...
	$L-1$	$\{ X(0) , X(1) , X(2) , \dots, X(N-1) \}$
«Два»	0	$\{ X(0) , X(1) , X(2) , \dots, X(N-1) \}$
	1	$\{ X(0) , X(1) , X(2) , \dots, X(N-1) \}$
	...	...
	$L-1$	$\{ X(0) , X(1) , X(2) , \dots, X(N-1) \}$
...		
«Десять»	0	$\{ X(0) , X(1) , X(2) , \dots, X(N-1) \}$
	2	$\{ X(0) , X(1) , X(2) , \dots, X(N-1) \}$
	...	...
	$L-1$	$\{ X(0) , X(1) , X(2) , \dots, X(N-1) \}$

Словарь эталонов сенсорных сегментов используется для распознавания подаваемых на вход симулятора речевых сигналов при условии, что параметры оцифровки входных сенсорных сегментов (частота дискретизации, разрядность аналогово-цифрового преобразования), а также ширина окна Хемминга идентичны значениям, при которых происходило формирование словаря.

Сравнение распознаваемого сенсорного сегмента с набором эталонов, хранящихся в словаре, осуществляется с помощью методов корреляционного анализа. Основной задачей корреляционного анализа является выявление связи или степени схожести между двумя случайными последовательностями. В нашем случае такими последовательностями будут являться амплитудные спектры двух сравниваемых сенсорных сегментов. Взаимная корреляция $r_{X,Y}$ между последовательностями $X(k)$ и $Y(k)$ вычисляется, согласно [102] по формуле

$$r_{X,Y} = \frac{1}{N} \cdot \sum_{k=0}^{N-1} X(k) \cdot Y(k), \quad (3.6)$$

где N — количество гармоник в спектральном образе.

В формуле (3.6) используется усреднение результата с помощью деления на количество гармоник в спектральном образе для того, чтобы он не зависел от числа взятых точек.

Для того чтобы величина $r_{X,Y}$ не зависела от абсолютных значений элементов последовательностей, выполним её нормирование по формуле (3.7).

$$\rho_{X,Y} = \frac{r_{X,Y}}{\frac{1}{N} \cdot \sqrt{\sum_{k=0}^{N-1} X^2(k) \cdot \sum_{k=0}^{N-1} Y^2(k)}} \cdot 100\%. \quad (3.7)$$

Величина $\rho_{X,Y}$ известна как коэффициент взаимной корреляции. Его значение лежит в диапазоне от 0% до 100%. Использование коэффициента взаимной корреляции позволяет удобно трактовать результат сравнения:

- $\rho_{X,Y} = 100\%$ имеет место в случае сравнения двух идентичных последовательностей (такой результат гарантированно получается при сравнении сенсорного сегмента с самим собой);
- $\rho_{X,Y} = 0\%$ свидетельствует о полном отсутствии какого-либо сходства.

В качестве результата сравнения двух слов принимается среднее арифметическое их поблочного сравнения в соответствии с формулой (3.8), приведенной в [109].

$$\rho = \frac{1}{L} \sum_{i=1}^L \rho_{x,y}(i), \quad (3.8)$$

где L — количество блоков в сенсорном сегменте для каждого сенсорного сегмента.

В случае, когда у сравниваемых сенсорных сегментов значения L не равны, необходимо предварительно произвести выравнивание длин таким образом, чтобы составляющее их количество блоков одинаково. В [104] предлагается осуществлять выравнивание путём добавления необходимого количества блоков в конец того сенсорного сегмента, длина которого меньше. Эти блоки должны быть идентичными последнему блоку сенсорного сегмента меньшей длины.

Процесс принятия решения в пользу максимального соответствия результатов сравнения предлагается рассматривать как поиск максимума между величинами ρ , полученными в результате сравнения распознаваемого сенсорного сегмента с набором эталонных сенсорных сегментов произносимых одним диктором.

3.5. Работа фильтра-переключателя Бродбента

Фильтр Бродбента связывает системы сенсорной и постсенсорной обработки и располагается между сенсорным буфером, в котором накапливаются сенсорные сегменты, и блоком с ограниченными возможностями, в котором осуществляется распознавание и категоризация сенсорных сегментов (см. рис. 1.2). Фильтр обеспечивает беспрепятственное прохождение сенсорных сегментов от того сенсорного буфера, который соответствует слуховому анализатору, на котором в данный момент времени сфокусировано внимание. Переключение фильтра определяется следующими факторами:

- условиями эксперимента, которые выражаются в требовании «слушать оба канала одновременно» или «слушать только один канал»;
- обнаружением подозрительного сенсорного события в нерелевантном канале.

При условии отсутствия подозрительных сенсорных событий, переключение фильтра определяется исключительно условиями эксперимента, а в случае обнаружения в нерелевантном канале подозрительного сенсорного события происходит произвольное переключение фильтра на этот канал.

В класс-структурированной модели селективного слухового внимания Бродбента (см. рис. 2.10), работа фильтра описывается четырьмя членами класса `BroadbentFilter`:

- `switchCycle` — атрибут, который задает время переключения фильтра с сенсорного буфера одного канала на сенсорный буфер другого канала;
- `selectionCycle` — атрибут, который задает время, необходимое для перемещения сенсорного сегмента из сенсорного буфера в канал с ограниченными возможностями для последующего распознавания;
- `selectQueue` — метод, который осуществляет переключение с сенсорного буфера одного канала на сенсорный буфер другого канала;
- `selectSegment` — метод, который осуществляет перемещение сенсорного сегмента из сенсорного буфера в канал с ограниченными возможностями.

Если субъект участвует в эксперименте и выполняет требование «слушать оба канала одновременно», то оба канала являются релевантными, субъект должен воспринимать сенсорные события, поступающие по обоим каналам, а фильтр Бродбента последовательно принимает одно из трёх состояний:

1. переключение входа блока с ограниченными возможностями с сенсорного буфера одного канала на сенсорный буфер другого канала;
2. выбор сенсорного сегмента из сенсорного буфера и его перемещение в блок с ограниченными возможностями;

3. ожидание завершения процесса распознавания и категоризации сенсорного сегмента в блоке с ограниченными возможностями.

В первом состоянии фильтр осуществляет переключение входа блока с ограниченными возможностями с сенсорного буфера текущего канала на сенсорный буфер другого канала. Переключение реализуется методом `selectQueue`. Время переключения (время работы метода `selectQueue`) моделируется значением атрибута `switchCycle`. В течение этого времени вход блока с ограниченными возможностями отключен от сенсорных буферов обоих каналов.

Во втором состоянии фильтр выбирает из сенсорного буфера очередной сенсорный сегмент и перемещает его в блок с ограниченными возможностями. Выборка сенсорного сегмента из буфера и перемещение его в блок с ограниченными возможностями реализуется методом `selectSegment`. Время выборки и перемещения моделируется атрибутом `selectionCycle`. В течение этого времени блок с ограниченными возможностями не осуществляет распознавание и категоризацию сенсорного сегмента и может осуществлять передачу информации о распознанном сенсорном сегменте в долговременную память.

В третьем состоянии осуществляется распознавание и категоризация сенсорного сегмента в блоке с ограниченными возможностями. На рис. 2.10 процесс распознавания и категоризации моделируется методом `recognizeSegment`. Время, необходимое для распознавания и категоризации моделируется атрибутом `recognitionCycle`. Атрибут `recognitionCycle` и метод `recognizeSegment` находятся в классе `Recognizer`. Отметим, что в течение времени, которое необходимо фильтру для переключения с одного канала на другой и времени, которое необходимо каналу с ограниченными возможностями для распознавания и категоризации сенсорного сегмента продолжается процесс естественного затухания сенсорных сегментов, находящихся в сенсорных буферах.

Если субъект выполняет требование «слушать оба канала одновременно», то фильтр многократно и циклически повторяет три, описанные выше, состояния в следующей последовательности: состояние 1, состояние 2, состояние 3.

Если субъект выполняет требование «слушать только один канал», то фильтр, вначале, однократно выполняет состояние 1, а затем многократно и циклически следующую последовательность: состояние 2, состояние 3.

3.6. Выводы

Третий раздел посвящен решению некоторых проблем, которые возникают при попытке отображения класс-структурированной модели селективного слухового внимания Бродбента, приведенной на рис. 2.10, в программный симулятор. Эти проблемы связаны, главным образом, с ответом на вопрос: «Каким образом представлять в компьютере атрибуты классов, и какие алгоритмы должны лежать в основе работы методов?». По результатам исследований, проведенных в третьем разделе, сделаем следующие выводы.

В процессе уточнения исходной класс-структурированной модели, произошло ее упрощение. Была рассмотрена не вся модель, а только ее часть, как в структурном, так и в поведенческом плане. Во-первых, уточнялись поля и методы классов, которые моделировали случай фокусировки внимания на восприятии рутинных сенсорных событиях, и не рассматривались те элементы исходной класс-структурированной модели, которые необходимы для учета возможности появления подозрительных сенсорных событий. Во-вторых, рассматривались простые звуковые сенсорные события, представляющие отдельные слова, разделенные паузами. Словарь состоял только из десяти слов, представляющих собой произносимые вслух цифры от одного до десяти. Упрощение исходной модели связано с тем, что авторы не ставили перед собой задачу разработать всеобъемлющий программный симулятор селективной модели слухового внимания Бродбента. Целью работы являлась проверка общего подхода к разработке подобных симуляторов путем проведения ограниченного количества хорошо известных и описанных в литературе экспериментов.

При уточнении исходной класс-структурированной модели, путем дополнительного исследования способов реализации полей и методов

этой модели пришлось нарушить первоначальную идею когнитивного моделирования, заключающуюся в том, что внешняя антропоморфность модельных элементов должна быть следствием внутренней антропоморфной структуры. Во-первых, в симуляторе пришлось использовать иной способ кодирования звукового сигнала, чем тот, который существует в слуховом анализаторе человека. Если в слуховом анализаторе человека звуковой сенсорный сегмент кодируется путем его дифференциации на частотные компоненты, которые передаются отдельными нервными волокнами (пучками волокон), то в программном симуляторе, звуковой сенсорный сегмент представляется частотным спектром оцифрованного звука, полученного при помощи микрофона. Во-вторых, при исследовании возможности реализации метода `recognizeSegment`, антропоморфность метода обеспечивается не антропоморфностью его внутренней структуры, а использованием одного из наиболее подходящих способов распознавания речи. Иными словами, проблема «распознавания звуковых сенсорных сегментов при их восприятии человеком» была заменена проблемой «автоматического распознавания речевого сигнала в технических системах». Авторы связывают необходимость отхода от первоначальной идеи когнитивного моделирования тем что средой, в которой реализуется модель, может быть только архитектура компьютера общего назначения.

4 ПРОТОТИП ПРОГРАММНОГО СИМУЛЯТОРА СЕЛЕКТИВНОГО СЛУХОВОГО ВНИМАНИЯ

Целью четвертого раздела является синтез прототипа селективного слухового внимания Бродбента и его экспериментальная проверка. Полномасштабный симулятор селективного слухового внимания Бродбента может быть использован для всестороннего экспериментального исследования этого феномена. Полномасштабный симулятор должен воспроизводить результаты известных, и описанных в литературе, экспериментов, а также порождать достоверные результаты при проведении новых экспериментов. Прототип, в отличие от полномасштабного симулятора, создается только для того чтобы продемонстрировать правильность общего подхода. Прототип, описанный в настоящем разделе, ориентирован на воспроизведение экспериментов с бинауральными списками Бродбента с высокой степенью совпадения с результатами оригинальных экспериментов [35]. Таким образом, в прототипе будут использованы те элементы класс-структурированной модели, синтезированной во втором разделе, (см. рис. 2.10) и их уточнения, сделанные в третьем разделе, которые необходимы и достаточны для проведения отмеченных экспериментов.

При реализации прототипа будем использовать не объектно-ориентированный подход в чистом виде, а его вариант, получивший наименование компонентно-ориентированный подход [110]. Объектно-ориентированное моделирование, в чистом виде, представляется целесообразным при формализованном и концептуальном представлении когнитивных моделей в виде UML диаграмм классов (класс-структурированных моделей). Авторы считают, что при отображении класс-структурированных моделей в компьютерную программу более

применимым является компонентное моделирование. Программный компонент не является абстракцией. Это действующий элемент программной системы, обладающий интерфейсами и способный реагировать на предопределенные внешние события. Отметим, что графический пользовательский интерфейс является важным элементом симулятора, необходимым для проведения экспериментов. С помощью графического пользовательского интерфейса осуществляется настройка параметров симулятора на условия конкретного эксперимента.

Таким образом, в процессе синтеза симулятора необходимо последовательно реализовать два этапа: (1) перейти от класс-структурированной модели к компонентной; (2) отобразить компонентную модель в программный код.

В качестве среды для реализации прототипа симулятора выбрана среда визуальной разработки программ Visual Basic, поскольку эта среда сочетает возможности компонентного программирования с возможностью автоматизированного конструирования полноэкранного интерфейса с пользователем [111].

На первом этапе синтеза компонентной модели прототипа специфицируем его компоненты.

- Компонент `AudioDataSource`, моделирующий сенсорный вход симулятора. Отметим, что в класс-структурированной модели, на рис. 2.10, отсутствует класс, соответствующий этому компоненту, но необходимость его присутствия была обоснована в третьем разделе.
- Компонент `SensoryChannel`, моделирующий сенсорный буфер и очередь сенсорных сегментов. В класс-структурированной модели, на рис. 2.10, этому компоненту соответствуют классы `SensorySegment` и `QueueOfSS` соответственно.
- Компонент `Recognizer`, моделирующий постсенсорную обработку. В класс-структурированной модели, на рис. 2.10, этому компоненту соответствуют одноименный класс `Recognizer`.
- Компонент `BroadbentFilter`, моделирующий фильтр-переключатель Бродбента. В класс-структурированной модели, на рис. 2.10, этому компоненту соответствуют одноименный класс `BroadbentFilter`.

Для создания компонента в среде визуальной разработки программ Visual Basic, обычно, используют следующую последовательность действий.

1. Детерминируется функциональное назначение компонента, а также форма представления входных и выходных данных;
2. Детерминируется структура компонента: (1) атрибуты и методы компонента (или классы, связанные с компонентом); (2) внешние события, на которые должен реагировать компонент (3) графический пользовательский интерфейс компонента.
3. Кодируются атрибуты и методы компонента.
4. Тестируется работоспособность компонента с использованием демонстрационной формы. «Форма» — термин, используемый в Visual Basic, который обозначает прямоугольное пространство на экране монитора, предназначенное для размещения предопределенных объектов графического пользовательского интерфейса компонента (кнопок, текстовых полей и т.п.).
5. Компонент компилируется и сохраняется в файле с расширением `.ocx`.

Расширением `.ocx` снабжаются имена файлов объектов, используемых в программной платформе ActiveX. ActiveX это — программная платформа для определения программных компонентов, пригодных к использованию в программах, написанных на различных языках программирования, в том числе и Visual Basic. Visual Basic имеет стандартный набор предопределенных компонентов. Однако этих компонентов не всегда достаточно. Поэтому при создании программ часто применяются компоненты, находящиеся в отдельных файлах ActiveX.

4.1. Программные компоненты прототипа симулятора

Прежде чем представить структуру прототипа симулятора селективного слухового внимания Бродбента в виде компонентной модели, специфицируем его компоненты.

4.1.1. Компонент, моделирующий сенсорный вход

Источниками звуковых данных, поступающих в сенсорные буферы прототипа симулятора, являются аудиофайлы, созданные при помощи аудиоредактора и соответствующих аппаратных средств. Основная деятельность компонента `AudioDataSource` заключается в последовательном чтении оцифрованных выборок из аудиофайла.

В соответствии с решениями, принятыми в третьем разделе, звуковые данные представляют собой последовательности оцифрованных выборок звукового сигнала, следующие с некоторой частотой дискретизации. Частота дискретизации выбирается на этапе создания аудиофайла, является унифицированной, и должна принимать одно из следующих значений: 8 кГц; 11,025 кГц; 12 кГц; 16 кГц; 22,050 кГц; 24 кГц; 32 кГц; 44,1 кГц; 48 кГц. Разрядность представления амплитуды сигнала, а также частота дискретизации указываются в заголовке аудиофайла.

Результатом однократного чтения из аудиофайла является значение отдельной выборки в виде целого числа в диапазоне от -127 до +127 (при 8-ми битном представлении амплитуды сигнала) или целого числа в диапазоне от -32767 до +32767 (при 16-ти битном представлении амплитуды сигнала).

К деятельности компонента `AudioDataSource` относятся, также отслеживание момента, когда из аудиофайла считана последняя выборка и визуальное отображение сенсорного сегмента в виде сигналограммы.

Атрибуты и методы компонента `AudioDataSource`

При проектировании компонента `AudioDataSource` в его структуру были включены следующие атрибуты и методы.

`wavFileName` — атрибут, предназначенный для хранения имени аудиофайла из которого осуществляется чтение заранее подготовленных звуковых данных.

`discretTimePeriod` — атрибут, предназначенный для хранения значения периода дискретизации исходного звукового сигнала.

`bitPerSample` — атрибут, предназначенный для хранения значения количества разрядов в представлении амплитуды оцифрованного сигнала.

`selectWavFile` — метод, осуществляющий выбор и открывание аудиофайла из которого будет осуществляться чтение звуковых данных.

`readSample` — метод, осуществляющий последовательное чтение выборок из открытого аудиофайла. Вызов метода `readSample` осуществляется итерационно. Промежуток времени между двумя последующими вызовами устанавливается равным периоду дискретизации сигнала.

`refreshTrend` — метод, осуществляющий отображение сигнатурной диаграммы в окне графического пользовательского интерфейса.

Все атрибуты снабжаются модификатором доступа «только для чтения», после успешного выполнения метода `selectWavFile`. Если, в процессе выполнения метода `selectWavFile` выясняется, что указанное имя аудиофайла не существует или аудиофайл не является файлом формата WAV, то: (1) атрибуту `wavFileName` присваивается значение «пустая строка»; (2) атрибутам `discretTimePeriod` и `bitPerSample` — значение нуля.

События, учитываемые компонентом `AudioDataSource`

`FileLoaded` — это событие происходит в том случае, когда метод `selectWavFile` успешно завершил свою работу (вызываемый файл существует и является файлом формата WAV). Обработчик события `FileLoaded` информирует внешнюю среду о том, что в компонент загружен новый источник звуковых данных.

`SampleReaded` — это событие происходит при завершении работы метода `readSample`. Обработчик события `SampleReaded` передаёт внешней системе значение прочитанной выборки или «ноль», если аудиофайл не был ранее установлен или прочитан до конца.

`FileClosed` — это событие происходит в том случае, когда из аудиофайла считана последняя выборка. Обработчик события `FileClosed` может содержать код, запрещающий последующие вызовы метода `readSample`, после того как из файла считана последняя выборка. Дальнейшая работа с аудиофайлом может быть продолжена либо путём выбора и открывания нового аудиофайла, либо путем перезагрузки текущего аудиофайла методом `selectWavFile`.

Интерфейс с пользователем компонента `AudioDataSource`.

Компонент `AudioDataSource` снабжен графическим пользовательским интерфейсом, изображенным на рис. 4.1.

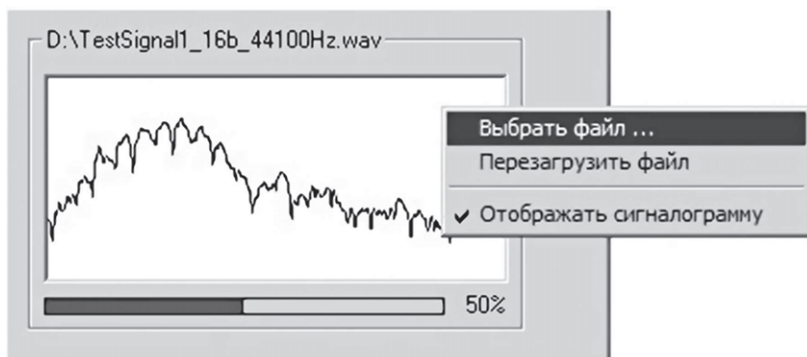


Рис. 4.1. Графический пользовательский интерфейс компонента `AudioDataSource`

Графический интерфейс компонента `AudioDataSource`, изображенный на рис. 4.1, включает рамку, заголовком которой является значение атрибута `wavFileName`. Внутри рамки расположено окно, в котором отображается сигналограмма и индикатор текущего объема прочитанных

из аудиофайла данных. Обновление сигналограммы осуществляется методом `refreshTrend` синхронно со всеми происходящими событиями.

Контекстное меню интерфейса, состоящее из трех пунктов, позволяет пользователю: (1) ввести значение атрибута `wavFileName` для нового файла с помощью стандартного диалогового окна «Открыть файл»; (2) выполнить операцию перезагрузки ранее выбранного файла; (3) разрешить или запретить отображение сигналограммы.

Для тестирования работоспособности программного компонента `AudioDataSource` разработана демонстрационная форма. Главная задача демонстрационной формы заключается в заполнении текстового поля с именем «Содержимое файла» значениями, прочитанными из заданного звукового файла. Внешний вид пользовательского интерфейса демонстрационной формы компонента `AudioDataSource` изображен на рис. рис. 4.2.

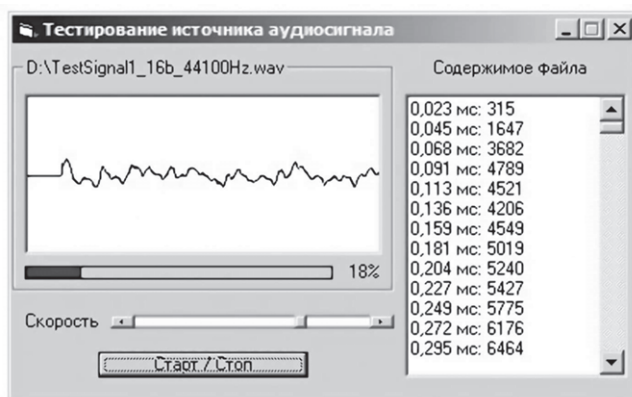


Рис. 4.2. Графический пользовательский интерфейс демонстрационной формы, предназначенной для тестирования компонента `AudioDataSource`

Демонстрационная форма, изображенная на рис. 4.2, реализует однодокументный интерфейс Visual Basic и строится из интерфейсов

следующих компонентов: «кнопка»; «полоса прокрутки»; «таймер»; «текстовое поле», а также интерфейса компонента `AudioDataSource`.

Процесс взаимодействия пользователя с демонстрационной формой осуществляется следующим образом. Пользователь выбирает аудиофайл при помощи контекстного меню пользовательского интерфейса компонента `AudioDataSource`. Изменением положения движка полосы прокрутки с именем «Скорость» задается периодичность срабатывания таймера, а нажатие на кнопку с именем «Старт/Стоп» — разрешает или запрещает его работу. При каждой активизации таймера происходит вызов метода `readSample` компонента `AudioDataSource`.

Текстовое поле с именем «Содержимое файла» заполняется значениями, передаваемыми источником аудио сигнала при возникновении событий типа `SampleReaded`. При возникновении события типа `FileLoaded` происходит очистка текстового поля с именем «Содержимое файла» и обнуление счетчика меток времени. Возникновение события типа `FileClosed` автоматически останавливает работу таймера.

4.1.2. Компонент, моделирующий сенсорный буфер и очередь сенсорных сегментов

Сенсорный буфер и очередь сенсорных сегментов (классы `SensorySegment` и `QueueOfSS` на рис. 2.10) для левого или правого уха моделируется компонентом `SensoryChannel`. Основными действиями компонента `SensoryChannel` являются:

1. формирование сенсорных сегментов из потока данных, поступающих от источника аудио сигнала (компонент `AudioDataSource`), согласно принципам, описанным в третьем разделе;
2. хранение сформированных сенсорных сегментов в сенсорном буфере в виде FIFO-очереди (см. рис. 2.8) и извлечение сенсорных сегментов из очереди по внешнему запросу;
3. моделирование естественного затухания сенсорных сегментов, находящихся в сенсорном буфере.

К деятельности компонента `SensoryChannel` относится также визуальное отображение спектральных образов сенсорных сегментов в окне графического пользовательского интерфейса.

Атрибуты и методы компонента `SensoryChannel`

При проектировании компонента `SensoryChannel` в его структуру были включены следующие атрибуты и методы.

`inputBlock[]` — атрибут, моделирующий входной буфер для хранения блока выборок оцифрованного звукового сигнала, поступающих от компонента `AudioDataSource`, на время, необходимое для завершения быстрого преобразования Фурье (БПФ) при блочном спектральном анализе. Размер входного буфера должен обеспечивать возможность хранения блока с наибольшим количеством выборок.

`blockGenerationTime` — атрибут, моделирующий длительность блока оцифрованных звуковых сигналов.

Входной буфер реализован в виде целочисленного массива, размер которого зависит от длительности блока оцифрованного звукового сигнала. Чем больше значение принимает атрибут `blockGenerationTime`, тем больше размер блока и тем большее число гармоник будет содержаться в спектре сигнала, но тем хуже будет достоверность описания нестационарных процессов. Рекомендуемая длительности блока находится в диапазоне от 5 до 50 миллисекунд для речевых сигналов [112]. Длительность блока оцифрованных звуковых сигналов `blockGenerationTime` связана с размером массива `inputBlock` зависимостью

$$blockGenerationTime = N \cdot DiscretTimePeriod, \quad (4.1)$$

где N — размер входного буфера в количестве выборок,

$DiscretTimePeriod$ — время оцифровки отдельной выборки.

`noiseLevel` — атрибут, моделирующий уровень входного шума.

Допустимый уровень входного шума определяется атрибутом `noiseLevel`, значение которого может находиться в диапазоне от 0% до 100%. Уровень входного сигнала *Level* вычисляется как среднее арифметическое значений выборки, содержащихся во входном буфере `inputBlock`, по формуле

$$Level = \frac{1}{N} \cdot \sum_{i=0}^{N-1} |inputBlock[i]|, \quad (4.2)$$

где $|inputBlock[i]|$ — абсолютная величина значения выборки, находящейся во входном буфере,

N — количество выборки, находящихся во входном буфере.

`queueOfSS[]` — атрибут, моделирующий сенсорный буфер в виде очереди сенсорных сегментов (см. рис. 2.10).

Сенсорный буфер реализован в виде динамического массива, работающего как FIFO-очередь. Элементом этого массива является спектральный образ сенсорного сегмента, состоящий из спектральных образов составляющих сенсорный сегмент блоков. Добавление нового элемента в массив выполняется при помощи метода `addSegment`. Чтение очередного элемента из массива `queueOfSS` выполняется при помощи метода `selectSegment`.

`decayCycle` — атрибут, моделирующий время полного затухания сенсорного сегмента в сенсорном буфере.

Атрибут `decayCycle` задаёт время, в миллисекундах, в течение которого в сенсорном буфере происходит полное затухание всех гармоник, составляющих спектральный образ сенсорного сегмента. Затухание происходит по экспоненциальному закону, как описано в третьем разделе (см. рис. 3.6). Амплитуда каждой j -ой гармоник сенсорного сегмента, имеющей время жизни равное age_j , может быть вычислена по формулам.

$$a_j(age_j) = A_j \cdot e^{-k \cdot age_j}, \quad (4.3)$$

$$k = \frac{\ln(100)}{\text{decayCycle}}, \quad (4.4)$$

где k — коэффициент затухания.

`caption` — атрибут, задающий заголовок рамки пользовательского интерфейса.

`receiveSample` — метод, который выполняет все действия по обработке данных, поступающей в компонент `SensoryChannel` из связанного с ним компонента, моделирующего источник аудио сигнала (компонент `AudioDataSource`). Вызов метода `receiveSample` содержится в коде обработчика события `SampleReaded` компонента `AudioDataSource`. Текущая выборка оцифрованного звукового сигнала `sample` передаётся методу `receiveSample` в качестве аргумента.

`createSegment` — метод, который создает спектральный образ сенсорного сегмента.

Результатом работы метода `createSegment` является текстовая строка, сформированная из полученных значений амплитуд спектрального образа, разделённых символом «запятая», либо «пустая строка», если уровень входного сигнала оценивается как шум.

`addSegment` — метод, который размещает вновь созданный спектр сенсорного сегмента в сенсорном буфере.

Сформированный спектр сенсорного сегмента размещается в сенсорном буфере с помощью метода `addSegment`. Успешное размещение сенсорного сегмента в сенсорном буфере сопровождается возникновением события `SegmentCreated`, в обработке которого может располагаться программный код, позволяющий извлекать содержимое сенсорного буфера путём вызова метода `selectSegment`.

`selectSegment` — метод, который извлекает спектральный образ очередного сенсорного сегмента из сенсорного

буфера. На рис. 2.10 метод `selectSegment` находится в классе `BroadbentFilter`.

Метод `selectSegment` возвращает символьный массив, элементы которого соответствуют элементам массива `queueOfSS` с учётом затухания амплитуд гармоник спектральных образов в зависимости от длительности их нахождения в сенсорном буфере (времени жизни). Время жизни сенсорного сегмента измеряется в миллисекундах, и для каждого i -го сенсорного сегмента на момент его извлечения из сенсорной памяти, вычисляется как разность между текущей длиной массива `queueOfSS` и индексом данного сегмента в массиве, в соответствии с формулой.

$$age_i = length(queueOfSS) - i, \quad (4.5)$$

где age_i — время жизни i -го сенсорного сегмента.

`configure` — метод, который позволяет выполнить настройку верхней границы диапазона уровня входного сигнала в зависимости от разрядности звукового сигнала. За 100% уровень входного сигнала принимается среднее значение для одного периода гармонического сигнала с наибольшей амплитудой. Если уровень входного сигнала оказывается меньше установленного пользователем допустимого уровня шума (значение атрибута `noiseLevel`), то сигнал на данном временном участке рассматривается как шум и результатом работы метода `createSegment` будет пустая строка.

`showSpectrum` — метод, который позволяет визуально наблюдать спектральные образы сенсорных сегментов, находящихся в сенсорном буфере, с учётом их затухания.

Метод `showSpectrum` вызывается пользователем при помощи графического пользовательского интерфейса (перемещении бегунка полосы прокрутки), что даёт возможность визуально наблюдать

спектральные образы содержащихся в сенсорном буфере спектральных образов сенсорных сегментов с учётом их затухания.

Событие, учитываемое компонентом **SensoryChannel**

`SegmentCreated` — это событие происходит в том случае, когда вновь сформированный спектр очередного сенсорного сегмента успешно размещается в сенсорном буфере с помощью метода `addSegment`. В обработчике события `SegmentCreated` может располагаться программный код, позволяющий извлекать очередной сенсорный сегмент из сенсорного буфера путём вызова метода `selectSegment`.

Интерфейс с пользователем компонента **SensoryChannel**

Компонент `SensoryChannel` снабжен графическим пользовательским интерфейсом, изображенным на рис. 4.3.



Рис. 4.3. Графический пользовательский интерфейс компонента `SensoryChannel`

Графический интерфейс компонента `SensoryChannel` ограничен рамкой, заголовок которой устанавливается значением атрибута `caption`. В левой части интерфейса расположены элементы управления уровнем шума входного сигнала (значение атрибута `noiseLevel`). Уровень шума входного сигнала соответствует положению бегунка на регуляторе и отображается в нижней части интерфейса в текстовом виде. Над регулятором входного шума отображается реальное значение уровня сигнала в процентах, вычисленное при формировании последнего сенсорного сегмента. Цвет фона для реального значения уровня сигнала может быть зеленым или красным в зависимости от соотношения «сигнал-шум». На рис. 4.3, это значение соответствует 25%.

В верхней правой части графического интерфейса компонента `SensoryChannel` расположен выпадающий список «Время формирования блока», из набора значений которого можно выбрать значение атрибута `blockGenerationTime`. Ниже выпадающего списка размещен горизонтальный индикатор текущего объема заполнения входного буфера, а также окно для отображения спектрального образа сенсорного сегмента и полоса прокрутки содержимого сенсорного буфера, с указателем количества находящейся в ней сенсорных сегментов. В нижней части расположено поле «Период полного затухания» для ввода значения атрибута `decayCycle`.

Как было отмечено, метод `showSpectrum` вызывается всякий раз, когда перемещается бегунок полосы прокрутки содержимого сенсорного буфера, что даёт возможность визуально наблюдать спектральные образы сенсорных сегментов с учётом их затухания.

Для тестирования работоспособности программного компонента `SensoryChannel` разработана демонстрационная форма, с помощью которой осуществляется подготовка данных для формирования словаря эталонов, необходимого для работы алгоритмов анализа и распознавания сенсорных сегментов в компоненте, моделирующем постсенсорную обработку. Внешний вид пользовательского интерфейса демонстрационной формы компонента `SensoryChannel` изображен на рис. 4.4.

Демонстрационная форма, изображенная на рис. 4.4, также как и демонстрационная форма, изображенная на рис. 4.2, реализует однокластерный интерфейс Visual Basic и строится из интерфейсов

следующих компонентов: «кнопка», «выпадающий список», «текстовое поле», а также интерфейсов компонентов `AudioDataSource` и `SensoryChannel`.

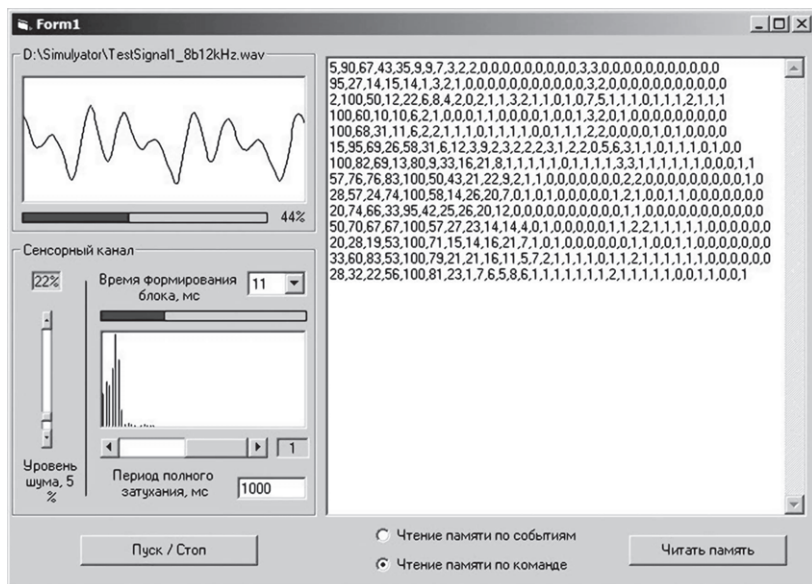


Рис. 4.4. Графический пользовательский интерфейс демонстрационной формы, предназначенной для тестирования компонента `SensoryChannel`

Процесс взаимодействия пользователя с демонстрационной формой осуществляется следующим образом. Выбор аудиофайла осуществляется при помощи контекстного меню интерфейса компонента `AudioDataSource`. Успешный выбор и открытие аудиофайла сопровождается возникновением события `FileLoaded`, которое используется для конфигурирования компонента `SensoryChannel` методом `configure`. После завершения работы метода `configure` становится возможной установка времени формирования сенсорного блока путём выбора одного из значений из выпадающего списка.

Нажатием кнопки «Пуск/Стоп» пользователь активизирует итерации с вызовом метода `readSample` компонента `AudioDataSource`. Каждое успешное завершение работы метода `readSample` порождает событие `SampleReaded`, которое используется для передачи данных компоненту `SensoryChannel` с помощью метода `receiveSample`.

Событие `FileClosed` компонента `AudioDataSource` используется для прекращения итерационных вызовов метода `readSample`.

Пользователь может выбрать один из двух режимов чтения содержимого сенсорного буфера компонента `SensoryChannel` установкой переключателя в положения: «Чтение памяти по событиям» и «Чтение памяти по команде». После выбора режима симуляция чтения сенсорных сегментов из сенсорного буфера запускается нажатием кнопки «Читать память».

Режим чтения по событиям соответствует перманентному восприятию сенсорных сегментов из одного сенсорного буфера. Этот режим соответствует случаю, когда воспринимаются сенсорные события, только одним слуховым каналом, на котором сфокусировано внимание, например, когда воспринимаются только сенсорные события, поступающие в правое ухо. В этом режиме содержимое текстового поля заполняется синхронно с возникновением события `SegmentCreated`.

Режим чтения по команде соответствует восприятию сенсорных сегментов из двух сенсорных буферов, происходящему при переключении внимания между каналами. Этот режим соответствует случаю, когда внимание поочередно фокусируется на обоих слуховых каналах. В этом режиме содержимое текстового поля формируется в один этап, а спектры сенсорных сегментов будут иметь уменьшенные амплитуды, моделирующие явление естественного затухания. Содержимое текстового поля используется для формирования словаря эталонов, имеющего структуру, описанную в третьем разделе.

4.1.3. Компонент, моделирующий постсенсорную обработку

Средства, необходимые для постсенсорной обработки и сама постсенсорная обработка (класс `Recognizer` на рис. 2.10) моделируются

компонентом *Recognizer*. Основными деятельностями компонента *Recognizer* являются:

1. кратковременное хранение поступающих сенсорных сегментов в буферной памяти компонента;
2. распознавание сенсорного сегмента, находящегося в буферной памяти путем сравнения его спектра, со спектрами ранее сформированного словаря эталонов (как текущие сенсорные сегменты, так и сенсорные сегменты, находящиеся в словаре соответствуют отдельным словам);
3. сохранение распознанных слов в файле.

К дополнительным деятельностям компонента *Recognizer* относятся: индикация его текущего состояния (ожидание сенсорного сегмента или его распознавание), а также возможность визуального просмотра результатов распознавания.

Для реализации компонентом *Recognizer* перечисленных деятельностей введем в структуру симулятора два файла: файл словаря эталонов и файл, хранящий результаты распознавания.

Атрибуты и методы компонента *Recognizer*

При проектировании компонента *Recognizer* в его структуру были включены следующие атрибуты и методы.

`inputSegment[]` — атрибут, моделирующий входной буфер для хранения спектра сенсорного сегмента, поступающего от соответствующего компонента *SensoryChannel*, на время, необходимое для завершения процесса распознавания.

`baseFileName` — атрибут, хранящий имя файла словаря эталонов, содержащего эталонные спектры распознаваемых сенсорных сегментов.

`resultName[], resultValue[]` — атрибуты, хранящие предварительные результаты распознавания. Атрибут `resultName` хранит смысловые значения слов-эталонов на естественном языке (например, «один», «два» и т.д.), а атрибут `resultValue` — значения результатов

корреляционного анализа, выполняемого в соответствии с формулами (3.6) — (3.8).

`recognitionCycle` — атрибут, детерминирующий длительность процесса распознавания сенсорного сегмента (время в миллисекундах между началом процесса распознавания и генерацией события `RecognitionComplete`).

`compareWithBase` — метод, осуществляющий распознавание сенсорного сегмента, находящегося во входном буфере `inputSegment` путем сравнение спектра распознаваемого сенсорного сегмента со спектрами всех эталонов, хранящихся в файле словаря эталонов и последующего корреляционного анализа. Распознавание осуществляется в соответствии с принципами, описанными в третьем разделе. Предварительные результаты распознавания записываются в атрибуты `resultName` и `resultValue`. По завершении процесса распознавания формируется событие `RecognitionComplete`, возвращающее наилучший результат. В качестве наилучшего результата рассматривается элемент массива `resultName`, индекс которого совпадает с индексом того элемента массива `resultValue`, значение которого является наибольшим среди имеющихся значений.

`showSpectrum` — метод, осуществляющий визуализацию спектрального образа распознаваемого сенсорного сегмента. Метод `showSpectrum` вызывается всякий раз, когда перемещается бегунок полосы прокрутки на графическом интерфейсе компонента `Recognizer`. Крайнее левое положение бегунка соответствует блоку, находящемуся в начале сегмента, а крайнее правое — блоку, находящемуся в конце сегмента.

События, учитываемые компонентом `Recognizer`

`RecognitionComplete` — это событие происходит в том случае, когда завершается распознавание сенсорного сегмента,

находящегося во входном буфере `inputSegment` при помощи метода `compareToBase`. Обработчик события возвращает наилучший результат корреляционного анализа спектра распознаваемого сегмента и спектров сегментов в словаре эталонов.

Click — это событие происходит в том случае, когда на демонстрационной форме, предназначенной для тестирования компонента `Recognizer`, нажимается кнопка «Старт/Стоп».

Интерфейс с пользователем компонента `Recognizer`

Компонент `Recognizer` снабжен графическим пользовательским интерфейсом, изображенным на рис. 4.5.

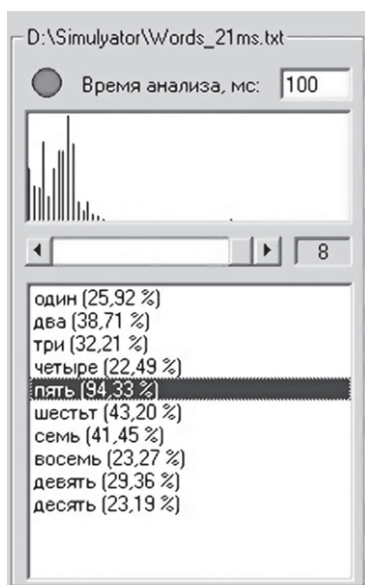


Рис. 4.5. Графический пользовательский интерфейс компонента `Recognizer`

Графический пользовательский интерфейс программного компонента *Recognizer* включает в себя рамку, заголовком которой является значение атрибута *baseFileName*. Под заголовком рамки расположено поле ввода «Время анализа, мс», предназначенное для ввода значения атрибута *recognitionCycle*, а также окно для отображения спектрального образа распознаваемого сегмента. Полоса прокрутки позволяет выбрать отображение блока сенсорного сегмента. В нижней части интерфейса расположено окно для построчного отображения результатов распознавания. Строки в окне формируются из содержимого атрибутов *resultName* и *resultValue* в порядке следования эталонов слов в файле словаря.

При создании файла словаря использовалась ранее созданная демонстрационная форма, изображенная на рис. 4.4, и три 8-ми битных звуковых файла, содержащие гармонические сигналы с частотами 500 Гц, 1000 Гц и 2000 Гц, записанные с частотой дискретизации 12 кГц. Формирование сенсорных сегментов производилось во временном интервале равном 21 мс. Файл словаря соответствует структуре приведённой в табл. 3.1 и содержит три раздела [*sin_500_8b1200k*], [*sin_1000_8b1200k*] и [*sin_2000_8b1200k*].

При тестировании компонентов использовались простые сигналы в виде одной синусоиды, или набора из нескольких синусоид, поскольку это позволяет визуально проверить работоспособность каждого компонента симулятора. Например, спектр сигнала, состоящего из трех гармоник, содержит три чётко выраженных пика, а спектр реального звукового сигнала выглядит хаотично, что затрудняет, при визуальном восприятии, установить соответствие между входным сигналом и его спектром. На рис. 4.6 приведено содержимое для трех описанных гармонических сигналов.

Для тестирования работоспособности компонента *Recognizer* используется демонстрационная форма, изображенная на рис. 4.7.

Демонстрационная форма реализует однодокументный интерфейс *Visual Basic* и содержит интерфейсы следующих компонентов: интерфейс кнопки «Старт/Стоп»; интерфейс источника аудиосигнала (интерфейс компонента *AudioDataSource*); интерфейс компонента, моделирующего сенсорный буфер и очередь сенсорных сегментов

(интерфейс компонента `SensoryChannel`); интерфейс компонента, моделирующего постсенсорную обработку (интерфейс компонента `Recognizer`).

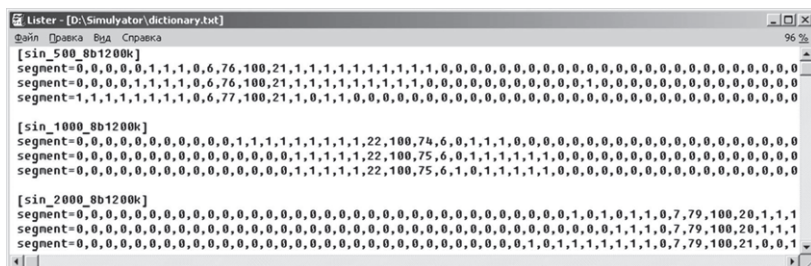


Рис. 4.6. Содержимое словаря эталонов для трёх гармонических сигналов.

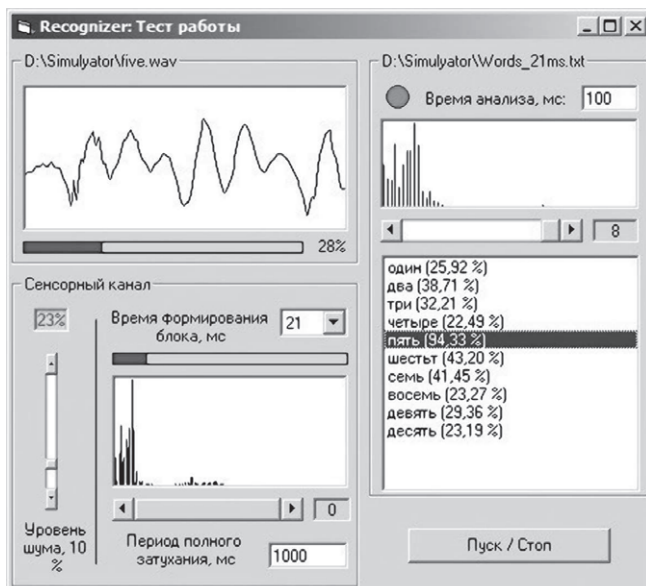


Рис. 4.7. Графический пользовательский интерфейс демонстрационной формы, предназначенной для тестирования компонента Recognizer

Тестирование программных компонентов осуществляется итерационно в процедуре обработки события `Click`, которое возникает при нажатии кнопки «Старт/Стоп». Описание взаимодействия компонента, моделирующего источник аудио сигнала (компонент `AudioDataSource`) с компонентом, моделирующим сенсорный буфер и очередь сенсорных сегментов (компонент `SensoryChannel`) приведено в описании работы с соответствующей демонстрационной формой (см. рис. 4.4). Обработчик события `SegmentCreated` (событие, учитываемое компонентом `SensoryChannel`) вначале вызывает метод, осуществляющий чтение спектра очередного сенсорного сегмента из сенсорного буфера и перемещение его во входной буфер компонента `Recognizer`, а затем метод, осуществляющий распознавание этого сенсорного сегмента. Событие `RecognitionComplete` (событие, учитываемое компонентом `Recognizer`), используется для завершения итерации по распознаванию очередного сенсорного сегмента. Полученный результат отображается в окне графического интерфейса компонента `Recognizer`.

При помощи демонстрационной формы, изображенной на рис. 4.7 проводились эксперименты, направленные на выявление связи между количеством гармоник в распознаваемом сенсорном сегменте и достоверностью их обнаружения в процессе распознавания. Входные сигналы, анализируемые в ходе экспериментов, представляли собой звуковые файлы, содержащие фрагменты гармонических сигналов (и их комбинаций) записанные с частотой 12 кГц. Каждый фрагмент имел длительность равную 1 секунде, после чего его амплитуда уменьшалась ниже уровня допустимого шума, в результате чего фрагмент воспринимался компонентом `Recognizer` как отдельное сенсорное событие.

В результате экспериментов выяснилось, что для входных сигналов, состоящих из единственной гармоник, достоверность обнаружения сигнала составляет величину, превышающую 95%. Это значительно превышает результат обнаружения отсутствующих в данном сигнале гармоник (менее 2%).

Для сигналов, представляющих собой сумму двух гармонических составляющих, достоверность обнаружения каждой из них

практически равны между собой и также значительно превышают достоверность обнаружения отсутствующей гармоник.

Для сигналов, представляющих собой сумму трех гармонических составляющих, равенство достоверностей обнаружения для всех трёх гармоник, говорит о том, что входной сигнал в равной степени похож на каждую отдельно взятую гармонику.

Результаты описанных экспериментов позволяют сделать вывод, что используемые алгоритмы распознавания эффективны и могут использоваться в экспериментах со всем симулятором.

4.1.4. Компонент, моделирующий фильтр Бродбента

Фильтр-переключатель Бродбента (класс `BroadbentFilter` на рис. 2.10) моделируется компонентом `BroadbentFilter`. Основной деятельностью компонента `BroadbentFilter` является подключение сенсорного буфера (компонент `SensoryChannel`), соответствующего релевантному каналу восприятия, к системе постсенсорной обработки (компонент `Recognizer`) и одновременное отключение от системы постсенсорной обработки сенсорного буфера, соответствующего нерелевантному каналу восприятия. Процесс переключения между каналами выполняется на протяжении некоторого промежутка времени, во время которого оба канала не могут передавать сенсорные сегменты в систему постсенсорной обработки.

Атрибуты и методы компонента `BroadbentFilter`

При проектировании компонента `BroadbentFilter` в его структуру были включены следующие атрибуты и методы.

`activeChannel` — атрибут, моделирующий номер активного сенсорного буфера (соответствующего релевантному каналу восприятия), который подключен к системе постсенсорной обработки и передает в нее очередной сенсорный сегмент. Атрибут принимает значение, равное единице, если сенсорные сегменты передаются из сенсорного буфера, соответствующего правому уху, и значение равное

нулю, если сенсорные сегменты передаются из буфера, соответствующего левому уху.

`switchCycle` — атрибут, моделирующий время (в миллисекундах) в течение которого осуществляется переключение на сенсорный буфер, соответствующий релевантному каналу восприятия. По истечении этого времени осуществляется изменение значения атрибута `activeChannel`.

`switchChannel` — метод, осуществляющий переключение сенсорных буферов.

`permissionRequest` — метод, получающий, в качестве входного параметра `channelID`, идентификатор сенсорного буфера и вызывающий, в случае необходимости, метод `switchChannel`.

Событие, учитываемое компонентом `BroadbentFilter`

`ChannelActivated` — это событие происходит в том случае, когда значение входного параметра `channelID` метода `permissionRequest` равно значению атрибута `activeChannel`. В обработчике этого события размещается вызов метода, передающего сенсорный сегмент из активного сенсорного буфера во входной буфер компонента `Recognizer` для его дальнейшей обработки.

Интерфейс с пользователем компонента `BroadbentFilter`

Компонент `BroadbentFilter` снабжен графическим пользовательским интерфейсом, изображенным на рис. 4.8.

Графический интерфейс включает в себя рамку, внутри которой расположены: (1) поле для ввода значения атрибута `switchCycle`, или времени в течение которого осуществляется переключение сенсорных буферов; (2) кнопка «Переключить» для ручного переключения каналов восприятия, а также индикаторы состояний активности для каждого из каналов восприятия. Зелёный цвет индикатора соответствует активному каналу, серый — неактивному каналу.

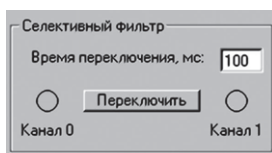


Рис. 4.8. Графический пользовательский интерфейс компонента BroadbentFilter

4.2. Компонентная модель симулятора

Компоненты, описанные в подразделе 4.1, используем для синтеза компонентной модели симулятора селективного слухового внимания в виде UML диаграммы компонентов.

Отметим, что при разработке формализованных когнитивных моделей восприятия и внимания, описанных во втором разделе, в качестве «исходного материала», использовались описания структур этих моделей в парадигме «вход-процесс-выход», приведенных в многочисленных публикациях в области когнитивной психологии. Эти описания транслировались нами в UML диаграммы классов, которые рассматривались как вариант практической реализации парадигмы «вещь-свойство-отношение». В итоге, класс-структурированная когнитивная модель представлялась в виде набора классов и отношений между ними. Синтез компонентной модели представляет собой процесс трансляции класс-структурированной модели в диаграмму компонентов, и, по отношению к парадигмам представления структуры когнитивной системы, может рассматриваться как возврат к парадигме «вход-процесс-выход».

На рис. 4.9 изображен графический символ компонента, который используется в компонентной модели симулятора слухового внимания. При изображении компонентов и диаграммы компонентов будем использовать одну из нотаций, приведенных в [113].

В нотации компонента, используемой далее, для изображения диаграммы компонентов, графический символ компонента представляет собой прямоугольник, внутри которого записывается имя компонента,

помеченное стереотипом `<<component>>`, а также условный знак компонента, размещенный в верхнем правом углу. Компонент снабжается двумя типами интерфейсов: (1) предоставляемые интерфейсы и (2) требуемые интерфейсы.

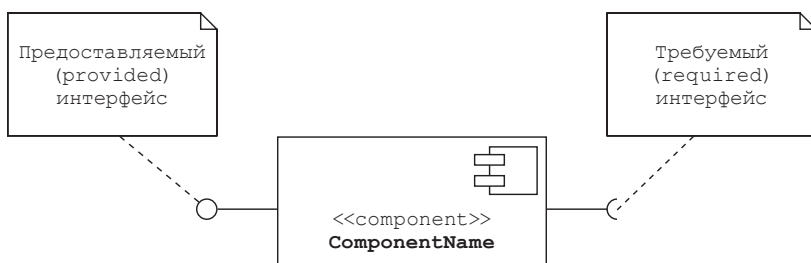


Рис. 4.9. Графический символ компонента

Предоставляемые интерфейсы формируются методами данного компонента, которые могут вызываться из других компонентов системы, а требуемые интерфейсы формируются методами других компонентов системы, которые должны вызываться из методов данного компонента. Предоставляемые и требуемые интерфейсы используются для связи компонентов друг с другом в диаграмме компонентов. Мы будем рассматривать требуемый интерфейс компонента как его «входы», а предоставляемые интерфейсы — как его «выходы».

Хотя, в общем случае компонент может иметь несколько предоставляемых и несколько требуемых интерфейсов, в компонентной модели симулятора все компоненты имеют один предоставляемый и один требуемый интерфейсы. Диаграмма компонентов, моделирующая структуру симулятора селективного слухового внимания приведена на рис. 4.10.

Диаграмма компонентов, приведенная на рис. 4.10 содержит только основные компоненты, описанные в подразделе 4.1. В ней отсутствует несколько вспомогательных компонентов, моделирующих кнопки «Старт/Стоп» и «Сохранить результат», изображенные

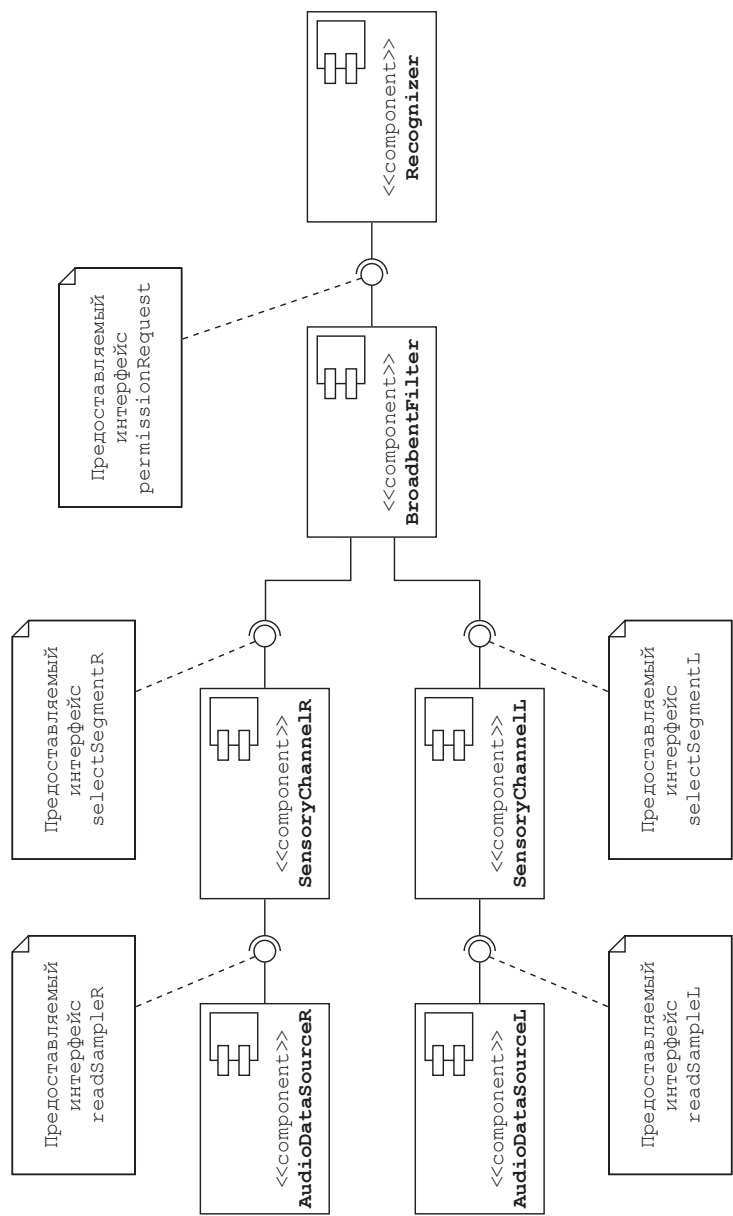


Рис. 4.10. Диаграмма компонентов симулятора селективного слухового внимания

на графическом пользовательском интерфейсе симулятора (см. рис. 4.11). На рис. 4.10, также, опущены файлы данных, используемые для хранения исходных аудиофайлов (используются компонентами `AudioDataSourceR` и `AudioDataSourceL`). Опущены также файл словаря эталонов и файл результатов распознавания (используются компонентом `Recognizer`).

В компонентную модель структуры симулятора, изображенную на рис. 4.10, включены два компонента, моделирующие сенсорные входы, соответствующие правому и левому уху (компоненты `AudioDataSourceR` и `AudioDataSourceL`), а также два компонента, моделирующие сенсорные буферы и очереди сенсорных событий для правого и левого уха соответственно (компоненты `SensoryChannelR` и `SensoryChannelL`).

Каждый из компонентов `AudioDataSource` предоставляет интерфейс `readSample`, при помощи которого компонент `SensoryChannel` получает очередную выборку оцифрованного звукового сигнала. Каждый из компонентов `SensoryChannel` предоставляет интерфейс `selectSegment`, при помощи которого компонент `BroadbentFilter` получает очередной сенсорный сегмент из релевантной очереди сенсорных сегментов. Компонент `BroadbentFilter` предоставляет интерфейс `permissionRequest`, при помощи которого компонент `Recognizer` получает сенсорный сегмент, подвергающийся распознаванию.

На рис. 4.11 изображен графический пользовательский интерфейс симулятора селективного слухового внимания Бродбента.

Демонстрационная форма реализует однодокументный интерфейс `Visual Basic` и содержит интерфейсы всех компонентов, приведенных на рис. 4.10, а также интерфейсы компонентов кнопок «Старт/Стоп» и «Сохранить результат».

Сенсорные системы, соответствующие правому и левому уху (моделируются компонентами `AudioDataSourceR`, `SensoryChannelR` и `AudioDataSourceL`, `SensoryChannelL`) функционируют независимо друг от друга и генерируют события `SegmentCreated` с периодом, равным времени формирования спектров сенсорных сегментов. Каждое такое

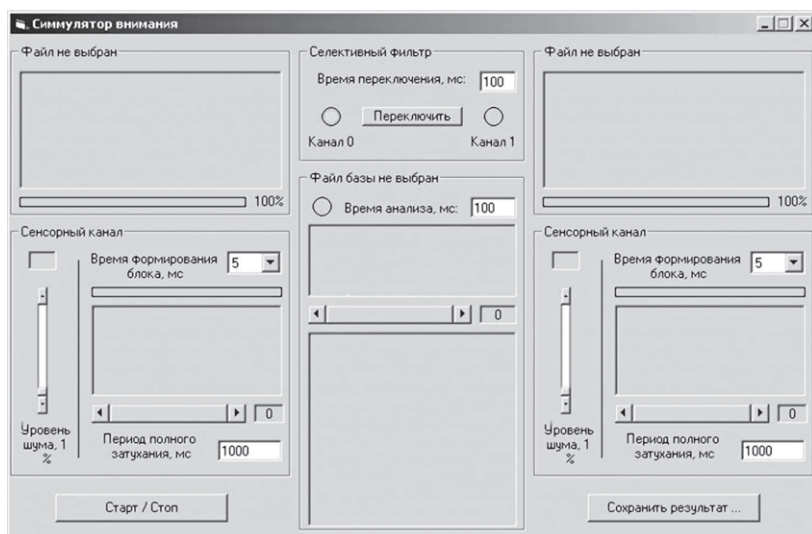


Рис. 4.11. Графический пользовательский интерфейс симулятора селективного слухового внимания Бродбента

событие сопровождается попыткой передачи спектра сенсорного сегмента через фильтр Бродбента (моделируется компонентом `BroadbentFilter`). С целью передачи спектра сенсорного сегмента через фильтр Бродбента в обработчике события `SegmentCreated` формируется соответствующий запрос путем вызова метода `permissionRequest`. Фильтр Бродбента, получая запросы от компонентов `SensoryChannelR` и `SensoryChannelL`, реагирует на них генерацией события `ChannelActivated`, указывая, при этом, идентификатор той сенсорной системы, прохождение сенсорного сегмента которого разрешено в данный момент времени. Обработчик события `ChannelActivated` осуществляет передачу сенсорного сегмента в систему постсенсорной обработки для распознавания (моделируется компонентом `Recognizer`). Следствием распознавания сенсорного события является генерация события `RecognitionComplete`. В обработчике события `RecognitionComplete` размещается программный код,

осуществляющий сохранение результата распознавания в текстовый файл, содержащий информацию об установленных параметрах программных компонентов симулятора и список распознанных слов. В дальнейшем пользователь может переписать этот текстовый файл в указанное место на диске компьютера, используя кнопку «Сохранить результат» и стандартное диалоговое окно сохранения файлов.

Симуляция селективности внимания осуществляется путем переключения фильтра Бродбента на сенсорный буфер, соответствующий релевантному источнику звука в соответствии с целью проводимого эксперимента. Переключение фильтра Бродбента осуществляется либо в ручном режиме (путём нажатия кнопки «Переключить» на пользовательском интерфейсе компонента `BroadbentFilter`), либо автоматически (путём соответствующего кодирования обработчика события `RecognitionComplete`).

4.3. Подготовка симулятора к проведению экспериментов

Подготовка симулятора к проведению экспериментов предполагает выполнение следующих действий.

1. Создание аудиофайлов, моделирующих источники звуковых сенсорных событий.
2. Создание файла, хранящий словарь эталонов.
3. Выполнение настроек параметров компонентов при помощи графических пользовательских интерфейсов соответствующих демонстрационных форм.

При создании аудиофайлов, моделирующих источники звуковых сенсорных событий, а также при создании файлов, хранящих словари эталонов, соблюдались следующие ограничения:

- запись производилась в помещении без звукоизоляции, а расстояние до микрофона не превышало 30 см;
- в качестве звуковых сигналов, записываемых в аудиофайлы, использовались отдельные слова в виде цифр от единицы до десяти, произносимые женским голосом;

- словарь эталонов создавался с одной (первой) попытки.

Настройка параметров компонентов симулятора при помощи графических пользовательских интерфейсов демонстрационных форм предполагает выполнение следующих действий.

1. Создание и размещение на диске набора из десяти звуковых файлов: «один.wav», «два.wav», «три.wav», ..., «десять.wav», содержащих оцифрованные сигналы соответствующих слов (полученных при помощи микрофона) с частотой дискретизации равной 12 кГц. А также создание и размещение на диске файла «шум.wav», который содержит оцифрованный фоновый шум микрофона длительностью в 2 сек.
2. С помощью графического пользовательского интерфейса демонстрационной формы, предназначенной для тестирования компонента `SensoryChannel` (см. рис. 4.4), необходимо настроить уровень допустимого входного шума для соответствующего сенсорного канала и сформировать файлы словарей эталонов для различных длительностей интервала распознавания сенсорных сегментов. Для частоты дискретизации равной 12 кГц выпадающий список графического пользовательского интерфейса компонента `SensoryChannel` содержит следующие значения интервала распознавания: 11 мс, 21 мс, 43 мс и 85 мс.
3. Настройка уровня допустимого входного шума осуществляется путём перемещения бегунка на регуляторе управления уровнем шума. При этом, на вход сенсорного канала необходимо подать звуковой файл «шум.wav», а регулятор установить в положение, при котором на всем протяжении этого файла цвет поля индикации текущего уровня входного сигнала будет оставаться красным. Такая настройка позволит воспринимать входной сигнал со средней амплитудой меньшей установленного уровня, как шум.

Для каждого возможного интервала распознавания (11 мс, 21 мс, 43 мс и 85 мс), необходимо создать свой словарь эталонов и записать эти словари в файлы: «words_11ms.txt», «words_21ms.txt», «words_43ms.txt» и «words_85ms.txt». Каждый такой файл содержит

эталонные для звуковых файлов: «один.wav», «два.wav», «три.wav», ..., «десять.wav».

С помощью графического пользовательского интерфейса демонстрационной формы, предназначенной для тестирования компонента Recognizer необходимо исследовать зависимости достоверности распознавания сенсорного сегмента диктора от длительности распознавания и заполнить таблицу 4.1. Здесь под достоверностью распознавания понимается значение коэффициента корреляции между спектрами эталонного и распознаваемого сенсорными сегментами. Затем, путем анализа таблицы выбрать оптимальный интервал распознавания.

Таблица 4.1

**Зависимость достоверности распознавания
от длительности распознавания**

Распознаваемое слово	Длительность интервала распознавания			
	11 мс	21 мс	43 мс	85 мс
Один	91,2 %	95,2 %	98,4 %	93,7 %
Два	95,6 %	99,5 %	100,0 %	97,5 %
Три	97,8 %	98,2 %	100,0 %	97,5 %
Четыре	92,0 %	96,4 %	99,3 %	95,4 %
Пять	96,5 %	98,6 %	100,0 %	97,2 %
Шесть	93,6 %	98,7 %	99,6 %	95,4 %
Семь	95,7 %	100,0 %	100,0 %	98,3 %
Восемь	92,6 %	95,4 %	98,3 %	94,9 %
Девять	95,0 %	97,5 %	97,4 %	96,9 %
Десять	93,1 %	96,8 %	97,4 %	95,5 %
Среднее значение	94,3 %	97,6 %	99,0 %	96,2 %

Анализ таблицы 4.1 позволяет сделать вывод, что оптимальным интервалом распознавания для данного диктора является 43 мс. Для этого интервала среднее значение достоверности распознавания равно 99%. Следовательно, в дальнейших экспериментах с симулятором необходимо использовать словарь эталонов «words_43ms.txt».

4.4. Эксперименты с симулятором

4.4.1. Проверка адекватности модели естественного затухания

Для проверки адекватности используемой в симуляторе модели естественного затухания сенсорных сегментов, находящихся в сенсорном буфере, был проведен следующий эксперимент.

В сенсорный буфер, отключенный фильтром-переключателем Бродбента от системы постсенсорной обработки, последовательно записывались спектры сенсорных сегментов, звуковых сигналов, считываемых из двух файлов: (1) файла слов эталонов («один», «два», ..., «десять») и (2) файла, содержащего сигнал-шум длительностью равной: 0 мс, 100 мс, ..., 1000 мс.

В сенсорный буфер, подключенный фильтром-переключателем Бродбента к системе постсенсорной обработки информация не подавалась.

Сенсорные сегменты накапливались в сенсорном буфере, отключенном от системы постсенсорной обработки, до того момента, пока фильтр-переключатель Бродбента не подключал этот буфер к системе постсенсорной обработки.

Переключение фильтра Бродбента осуществлялось пользователем после завершения чтения информации из файла слов эталонов и файла с сигналом-шумом. В эксперименте не учитывались инерционные свойства фильтра Бродбента, моделируемые атрибутом `switchCycle`. Для этого значение параметра «время переключения», на пользовательском интерфейсе компонента `BroadbentFilter` устанавливалось равным нулю.

После подключения сенсорного буфера, заполненного сенсорными сегментами, к системе постсенсорной обработки начинался процесс распознавания сенсорных сегментов с учетом моделирования их естественного затухания в сенсорном буфере. Сенсорные сегменты последовательно извлекались из сенсорного буфера и распознавались в компоненте `Recognizer`. Результаты этого процесса отображались в окне

пользовательского интерфейса демонстрационной формы компонента Recognizer.

При проведении эксперимента параметр «время полного затухания» устанавливался равным 1000 мс. В таблице 4.2 приведены результаты описанного эксперимента в виде зависимости достоверности распознавания от времени нахождения в сенсорном буфере.

Из полученных результатов видно, что в пределах установленного времени полного затухания, равного 1000 мс, достоверность распознавания сенсорных сегментов (слов) уменьшается с увеличением времени их нахождения в сенсорном буфере, оставаясь при этом достаточной для однозначного обнаружения слова среди прочих слов-эталонов. При приближении длительности нахождения сенсорного сегмента в сенсорном буфере к предельному значению, равному 100 мс, достоверности обнаружения для всех слов-эталонов становятся близкими по значению, что не гарантирует их уверенного распознавания. В случае превышения времени нахождения сенсорного сегмента в сенсорном буфере времени полного затухания постсенсорная система воспринимает информацию, извлекаемую из сенсорного буфера как шум.

Таблица 4.2

Зависимость достоверности распознавания сенсорного сегмента от времени его нахождения в сенсорном буфере

Слова-эталоны	Время нахождения информации в сенсорном буфере, мс									
	1	100	200	300	400	500	600	700	800	900
Один	42,3%	39,4%	42,4%	32,1%	24,3%	23,3%	15,7%	20,5%	20,8%	21,9%
Два	97,8%	91,2%	89,3%	78,8%	58,6%	42,5%	37,5%	32,3%	29,5%	23,0%
Три	64,9%	58,4%	57,3%	46,4%	34,0%	21,7%	12,2%	19,2%	19,2%	18,9%
Четыре	34,0%	29,9%	32,4%	25,8%	16,4%	13,6%	7,67%	10,3%	10,2%	12,5%
Пять	55,7%	47,2%	55,4%	44,5%	21,6%	18,2%	14,4%	11,8%	11,7%	14,7%
Шесть	47,6%	39,1%	47,9%	36,3%	15,1%	15,4%	8,6%	9,4%	8,9%	10,0%
Семь	55,0%	48,8%	56,4%	43,6%	29,4%	22,8%	12,0%	16,9%	16,8%	17,4%
Восемь	39,6%	35,7%	41,8%	34,7%	20,3%	17,5%	14,2%	17,0%	17,2%	19,6%
Девять	33,6%	29,5%	32,4%	25,9%	17,6%	12,5%	5,2%	7,8%	7,9%	9,0%
Десять	48,2%	43,0%	45,7%	36,7%	21,1%	17,0%	9,1%	13,9%	13,9%	15,4%

На рис. 4.12 показан внешний вид графического пользовательского интерфейса симулятора во время проведения эксперимента по проверке адекватности модели естественного затухания сенсорного сегмента в сенсорном буфере.

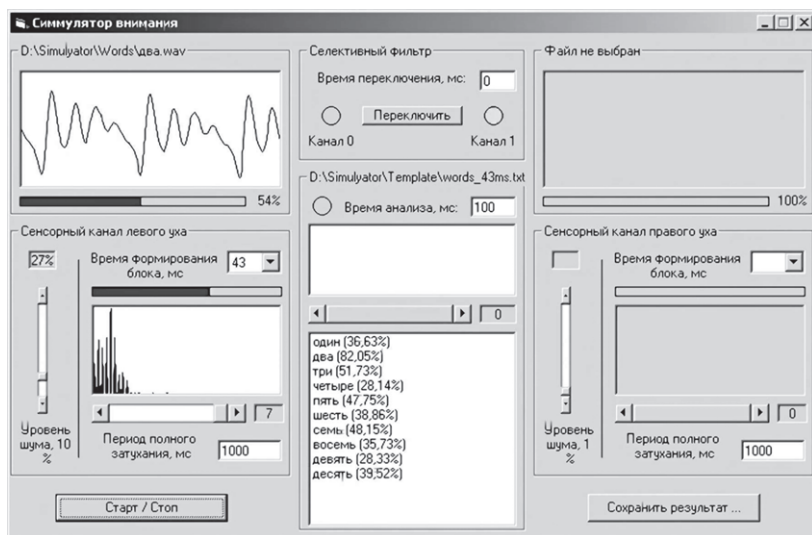


Рис. 4.12. Вид графического пользовательского интерфейса симулятора при проверке адекватности моделирования естественного затухания сенсорного сегмента в сенсорном буфере

4.4.2. Первый эксперимент с бинауральными списками. Последовательное фокусирование внимания на левом и правом сенсорных каналах

Во втором разделе, в подразделе 2.2.2, посвященном синтезу класс-структурированных селективных моделей слухового внимания Бродбента и Трейсмана, были описаны эксперименты Бродбента с бинауральными списками [35]. С целью проверки адекватности

симулятора, эти же эксперименты были воспроизведены на симуляторе.

Первый из воспроизведенных экспериментов заключался в том, что субъектам эксперимента одновременно в правое и левое ухо транслировали звуковые стимулы, состоящие из трёх бинауральных пар цифр, записанных на разных дорожках магнитофона. Трансляция осуществлялась с темпом одна пара цифр в течение 1000 мс и с паузой между парами равной 500 мс. После прослушивания трансляции субъекты отчитывались о том, что они успели воспринять, записывая в любом порядке все цифры, которые слышали. В результате эксперимента выяснилось, что субъекты воспринимали все шесть цифр только в 65% случаев. В подавляющем большинстве случаев субъекты правильно воспроизводили последовательности цифр, транслируемых только в одно ухо.

При воспроизведении описанного эксперимента с помощью симулятора выполнялись следующие действия.

1. На сенсорный вход, соответствующий левому уху, последовательно подавались три неповторяющиеся звуковых файла, содержащих оцифрованные звуковые сигналы (из набора «один.wav», «два.wav», . . . , «десять.wav»). Левое ухо рассматривалось как релевантный канал восприятия, на котором сфокусировано внимание перед началом эксперимента. Между звуковыми сигналами, соответствующими цифрам, на сенсорный вход, соответствующий левому уху, в течение 500 мс, подавался файл содержащий шум.
2. На сенсорный вход, соответствующий правому уху, также последовательно подавались три неповторяющихся звуковых файла, содержащих оцифрованные звуковые сигналы. Подача звуковых файлов на оба сенсорных входа была синхронизирована. Имена звуковых файлов, подаваемых на входы, соответствующие левому и правому уху, не повторялись. Правое ухо рассматривалось как нерелевантный канал восприятия, на котором перед началом эксперимента внимание не было сфокусировано.
3. Перед началом эксперимента фильтр Бродбента устанавливался в состояние, позволяющее сенсорным сегментам, находящимся

в сенсорном буфере релевантного канала (левое ухо), попадать в систему постсенсорной обработки. После завершения трансляции звуковых файлов осуществлялось переключение фильтра Бродбента на нерелевантный канал (правое ухо).

Параметры симулятора устанавливались в соответствии с данными, приведенными в публикациях Бродбента и Трейсман [36,39].

$t_{switchCycle}$ — время переключения фильтра Бродбента находится в диапазоне от 300 до 500 мс.

$t_{decayCycle}$ — время затухания сенсорного сегмента в сенсорном буфере для слуховой модальности находится в диапазоне от 2000 до 3000 мс.

$t_{recognitionCycle}$ — время распознавания одного сенсорного сегмента должно быть соизмеримо со временем переключения фильтра Бродбента.

Формула (4.6) является условием, при котором будут распознаны как сенсорные сегменты, находящиеся в сенсорном буфере релевантного канала, так и сенсорные сегменты, находящиеся в сенсорном буфере нерелевантного канала.

$$t_1 + t_0 + t_2 + t_0 + t_3 + t_{recognitionCycle} + t_{switchCycle} \leq t_{decayCycle} \quad (4.6)$$

В формуле (4.6) t_1, t_2, t_3 — время, в течение которого на сенсорные входы обоих каналов восприятия подаются звуковые сигналы, а t_0 — длительность паузы между звуковыми сигналами. Распознавание сенсорных сегментов осуществляется во время паузы. Если длительность паузы больше чем время, необходимое для распознавания, то длительности паузы достаточно для завершения процесса распознавания.

Принимая $t_1 = t_2 = t_3 \approx 400$ мс, $t_{switchCycle} = 400$ мс, $t_{recognitionCycle} = 400$ мс получаем

$$t_{decayCycle} \geq 3 \cdot 400 + 2 \cdot 500 + 400 + 400 = 3000.$$

Таким образом, при настройке параметров симулятора время полного затухания необходимо установить равным 3000 мс.

На рис. 4.13 приведен графический пользовательский интерфейс при проведении первого эксперимента с бинауральными списками.

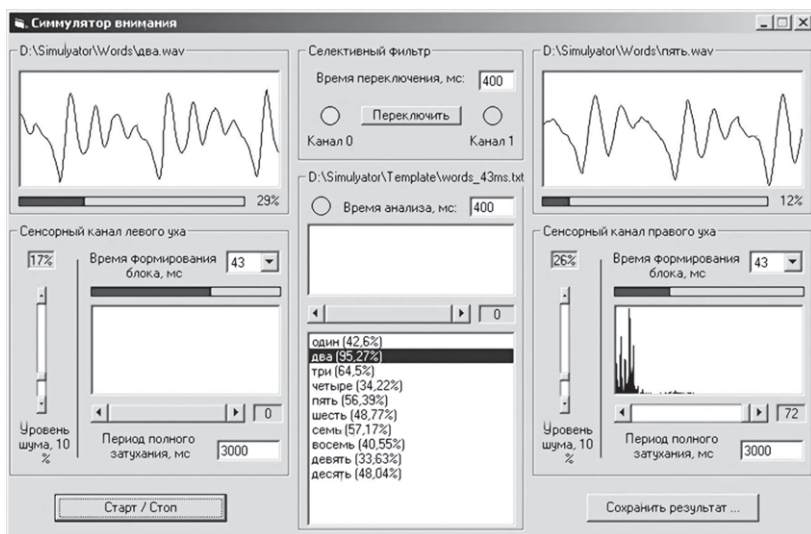


Рис. 4.13. Вид графического пользовательского интерфейса симулятора при проведении первого эксперимента с бинауральными списками. Внимание вначале фокусируется на левом, а затем на правом ухе

В таблице 4.3 приведены результаты первого эксперимента с бинауральными списками. Внимание вначале фокусировалось на релевантном канале восприятия (левое ухо), а затем переключалось на нерелевантный канал (правое ухо).

В первых двух колонках таблицы 4.3 приведены бинауральные списки в виде слов от слова «один» до слова «десять». В третьей колонке приведены результаты распознавания (восприятия), а в четвертой колонке символом «+» отмечены случаи распознавания всех шести слов. Символом «-» отмечены случаи, когда не все шесть слов были распознаны.

Таблица 4.3

Результаты первого эксперимента с бинауральными списками

Слова, транслируемые в левое ухо			Слова, транслируемые в правое ухо			Результаты распознавания	Распознавание всей последовательности чисел
1	2	3	4	5	6	1-2-3-4-5-6	+
2	3	4	5	6	7	2-3-4-5-6-7	+
3	4	5	6	7	8	3-4-5-5-7-8	—
4	5	6	7	8	9	4-5-6-7-8-9	+
5	6	7	8	9	10	5-6-7-8-9-10	+
6	7	8	9	10	1	6-7-8-9-10-1	+
7	8	9	10	1	2	7-8-9-1-2	—
8	9	10	1	2	3	8-9-10-2-3	—
9	10	1	2	3	4	9-10-1-2-3-4	+
10	1	2	3	4	5	10-1-2-3-4-5	+
4	5	6	1	2	3	4-5-6-1-2-3	+
5	6	7	2	3	4	5-6-7-2-3-4	+
6	7	8	3	4	5	6-7-8-3-4-5	+
7	8	9	4	5	6	7-8-9-5-6	—
8	9	10	5	6	7	8-9-10-6-7	—
9	10	1	6	7	8	9-10-1-6-7-8	+
10	1	2	7	8	9	10-1-2-7-8-9	+
1	2	3	8	9	10	1-2-3-8-9-10	+
2	3	4	9	10	1	2-3-4-9-10-1	+
3	4	5	10	1	2	3-4-5-9-1-2	—

Как видно из табл. 4.3, хуже всего распознаётся последнее слово, попавшее в нерелевантный канал, что обусловлено его максимальным временем нахождения в сенсорном буфере.

Из 20 пар слов, синхронно переданных в оба канала, положительный результат был получен в 14 случаях, что составляет 70% от общего количества случаев. Полученный результат близок к результатам, опубликованным Бродбентом, который составляет 65%. Можно предположить, что при увеличении количества пар слов,

разница между результатами, полученными при помощи симулятора, и результатами Бродбента может сократиться. Отметим, что на результаты эксперимента может также влиять более точная настройка параметров симулятора.

Таблица 4.3 сформирована на основании данных, содержащихся в файлах результатов распознавания. Пример содержимого файла результатов распознавания для последовательностей цифр (2-3-4) и (5-6-7) показан на рис. 4.14.

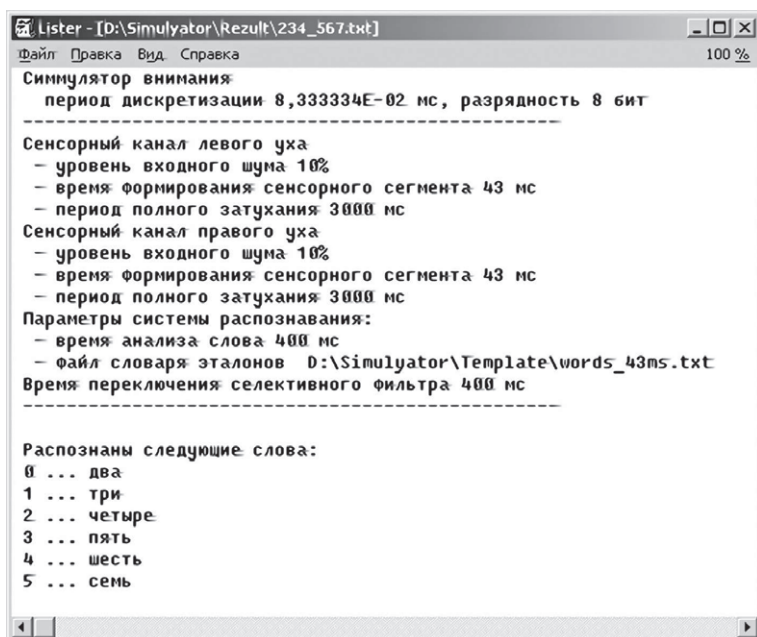


Рис. 4.14. Пример содержимое файла результатов

4.4.3. Второй эксперимент с бинауральными списками. Параллельное фокусирование внимания на левом и правом сенсорных каналах

Во втором из воспроизводимых экспериментов Бродбента с бинауральными списками, также как и в первом, субъектам одновременно, в правое и левое ухо, транслировались звуковые стимулы, состоящие из трёх бинауральных пар цифр, записанных на разных дорожках магнитофона. Паузы между парами цифр варьировались в диапазоне от 500 мс до 2000 мс. Субъекты были проинструктированы отчитываться о том, в каком порядке следовали пары цифр. Отчет считался правильным при любом расположении цифр внутри конкретной пары. В результате эксперимента выяснилось, что если пауза между звуковыми сигналами находилась в диапазоне от 500 мс до 1000 мс, то субъекты воспринимали от 15% до 20% пар цифр. Если пауза между сигналами находилась в диапазоне от 1500 мс до 2000 мс, то субъекты воспринимали от 30% до 50% пар цифр.

При воспроизведении этого эксперимента выполнялись следующие действия.

1. На сенсорные входы, соответствующие и левому и правому уху, последовательно и синхронно подавались три пары различных звуковых файлов, содержащих оцифрованные звуковые сигналы (из набора «один.wav», «два.wav», . . . , «десять.wav»). В паузах между парами звуковых сигналов на сенсорные входы подавался файл содержащий шум.
2. В процессе эксперимента фильтр Бродбента несколько раз переключался между сенсорными буферами, соответствующими правому и левому уху, обеспечивая передачу в систему постсенсорной обработки всех шести сенсорных сегментов. Переключение осуществлялось во время паузы после завершения распознавания текущего сенсорного сегмента.

За время эксперимента фильтр Бродбента выполняет два переключения. Поскольку и переключение фильтра, и распознавание сенсорного сегмента осуществляются во время паузы, то для успешного распознавания всех шести сенсорных сегментов необходимо выполнение условия, представленного формулой (4.7).

$$2 \cdot (t_{switchCycle} + t_{recognitionCycle}) \leq t_0. \quad (4.7)$$

При значениях $t_{switchCycle} = 400$ мс и $t_{recognitionCycle} = 400$ мс, критической является длительность паузы равная 1600 мс. Если длительность паузы равна или превышает 1600 мс то выполняется условие, представленное формулой (4.7).

Таблица 4.4

**Результаты второго эксперимента с бинауральными списками
(пауза 500 мс)**

Слова, транслируемые в левое ухо			Слова, транслируемые в правое ухо			Результаты распознавания	Распознавание всей последова- тельности чисел
1	2	3	4	5	6	1-4-2	—
2	3	4	5	6	7	2-7-3	—
3	4	5	6	7	8	3-6-4-8	—
4	5	6	7	8	9	4-5-7-9	—
5	6	7	8	9	10	5-6-7-10	—
6	7	8	9	10	1	6-7-1	—
7	8	9	10	1	2	7-8-1-2	—
8	9	10	1	2	3	8-9-1-3	—
9	10	1	2	3	4	9-10-4	—
10	1	2	3	4	5	10-1-3-5	—
4	5	6	1	2	3	4-5-6-1-2-3	+
5	6	7	2	3	4	5-6-7-2-3-4	+
6	7	8	3	4	5	6-7-3-5	—
7	8	9	4	5	6	7-8-6	—
8	9	10	5	6	7	8-9-7	—
9	10	1	6	7	8	9-10-1-6-7-8	+
10	1	2	7	8	9	10-1-7-9	—
1	2	3	8	9	10	1-2-10	—
2	3	4	9	10	1	2-3-9-1	—
3	4	5	10	1	2	3-4-6-2	—

В таблицах 4.4–4.7 приведены результаты второго эксперимента с бинауральными списками при различной длительности паузы, равной 500 мс, 1000 мс, 1500 мс, и 2000 мс.

Таблица 4.5

**Результаты второго эксперимента с бинауральными списками
(пауза 1000 мс)**

Слова, транслируемые в левое ухо			Слова, транслируемые в правое ухо			Результаты распознавания	Распознавание всей последова- тельности чисел
1	2	3	4	5	6	1-4-2	—
2	3	4	5	6	7	2-3-6-7	—
3	4	5	6	7	8	3-4-5-6-7-8	+
4	5	6	7	8	9	4-5-7-9	—
5	6	7	8	9	10	5-6-7-10	—
6	7	8	9	10	1	6-7-9-1	—
7	8	9	10	1	2	7-8-1-2	—
8	9	10	1	2	3	8-9-1-3	—
9	10	1	2	3	4	9-10-4	—
10	1	2	3	4	5	10-1-3-5	—
4	5	6	1	2	3	4-5-6-1-2-3	+
5	6	7	2	3	4	5-6-7-2-3-4	+
6	7	8	3	4	5	6-7-3-5	—
7	8	9	4	5	6	7-8-4-6	—
8	9	10	5	6	7	8-9-7	—
9	10	1	6	7	8	9-10-1-6-7-8	+
10	1	2	7	8	9	10-1-3-7-9	—
1	2	3	8	9	10	1-2-10	—
2	3	4	9	10	1	2-3-9-1	—
3	4	5	10	1	2	3-4-2	—

Таблица 4.6

**Результаты второго эксперимента с бинауральными списками
(пауза 1500 мс)**

Слова, транслируемые в левое ухо			Слова, транслируемые в правое ухо			Результаты распознавания	Распознавание всей последова- тельности чисел
1	2	3	4	5	6	1-2-4-6-6	—
2	3	4	5	6	7	2-3-4-5-6-7	+
3	4	5	6	7	8	3-4-5-8	—
4	5	6	7	8	9	4-5-6-7-8-9	+
5	6	7	8	9	10	5-6-8-10	—
6	7	8	9	10	1	6-7-9-9-1	—
7	8	9	10	1	2	7-8-1-2	—
8	9	10	1	2	3	8-9-1-3	—
9	10	1	2	3	4	9-10-2-2-4	—
10	1	2	3	4	5	10-1-3-5	—
4	5	6	1	2	3	4-5-6-1-2-3	+
5	6	7	2	3	4	5-6-7-2-3-4	+
6	7	8	3	4	5	6-7-3-5	—
7	8	9	4	5	6	7-8-4-6	—
8	9	10	5	6	7	8-9-5-6-7	—
9	10	1	6	7	8	9-10-1-6-7-8	+
10	1	2	7	8	9	10-1-2-7-8-9	+
1	2	3	8	9	10	1-2-9-10	—
2	3	4	9	10	1	2-3-10-1	—
3	4	5	10	1	2	3-4-9-2	—

Таблица 4.7

**Результаты второго эксперимента с бинауральными списками
(пауза 2000 мс)**

Слова, транслируемые в левое ухо			Слова, транслируемые в правое ухо			Результаты распознавания	Распознавание всей последова- тельности чисел
1	2	3	4	5	6	1-2-3-4-5-6	+
2	3	4	5	6	7	2-3-4-5-6-7	+
3	4	5	6	7	8	3-4-5-7-8	—
4	5	6	7	8	9	4-5-6-7-8-9	+
5	6	7	8	9	10	5-6-7-8-9-10	+
6	7	8	9	10	1	6-7-9-10-1	—
7	8	9	10	1	2	7-8-10-1-2	—
8	9	10	1	2	3	8-9-1-2-3	—
9	10	1	2	3	4	9-10-1-2-3-4	+
10	1	2	3	4	5	10-1-2-3-4-5	+
4	5	6	1	2	3	4-5-6-1-2-3	+
5	6	7	2	3	4	5-6-7-2-3-4	+
6	7	8	3	4	5	6-7-3-4-5	—
7	8	9	4	5	6	7-8-4-6-6	—
8	9	10	5	6	7	8-9-5-6-7	—
9	10	1	6	7	8	9-10-1-6-7-8	+
10	1	2	7	8	9	10-1-2-7-8-9	+
1	2	3	8	9	10	1-2-3-8-9-10	+
2	3	4	9	10	1	2-3-9-9-1	—
3	4	5	10	1	2	3-4-5-10-1-2	+

Как видно из табл. 4.4-4.7, для 20 проведённых экспериментов с длительностью паузы между словами, равной 500 мс,

положительный результат был получен в 3 случаях, что составляет 15% от общего количества экспериментов. При длительности паузы в 1000 мс количество правильных ответов незначительно увеличилось и составило 20% от общего количества экспериментов. При длительности паузы в 1500 мс положительный результат был получен в 6 случаях, что составляет 30% от общего количества экспериментов. При длительности паузы в 2000 мс количество правильных ответов значительно увеличилось и составило 60% от общего числа экспериментов.

Результаты обоих экспериментов с бинауральными списками, полученные при помощи симулятора близки по значениям с результатами этих же экспериментов, проведенных с реальными субъектами, и описанными в публикациях Бродбента.

В табл. 4.8 представлены сравнительные результаты обоих экспериментов с бинауральными списками при различных значениях длительности паузы между словами.

Таблица 4.8

**Сравнительные результаты экспериментов
с бинауральными списками**

Длительность паузы между словами (в мс)	Количество правильных ответов полученных в экспериментах с реальными субъектами (в %)		Количество правильных ответов полученных в экспериментах с симулятором (в %)	
	Первый эксперимент	Второй эксперимент	Первый эксперимент	Второй эксперимент
500	65	15–20	70	15
1000	—	15–20	—	20
1500	—	30	—	30
2000	—	50	—	60

На рис. 4.15 представлена графическая интерпретация сравнительных результатов второго эксперимента с бинауральными списками, представленных в табл. 4.8.

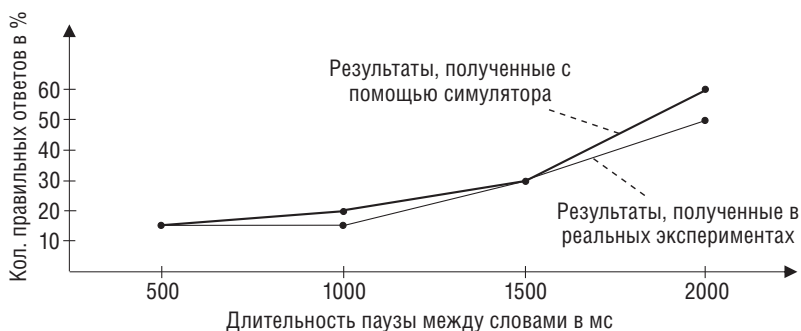


Рис. 4.15. Графическая интерпретация сравнительных результатов экспериментов с бинауральными списками

4.5. Выводы

Четвертый раздел посвящен разработке прототипа программного симулятора модели селективного слухового внимания Бродбента и проверке адекватности симулятора. В процессе разработки прототипа программного симулятора исходная класс-структурированная модель, приведенная на рис. 2.10, была трансформирована в компонентную модель, изображенную на рис. 4.10. Адекватность программного симулятора проверялась путем повторения с его помощью экспериментов с бинауральными списками, проведенных Бродбентом и описанных в [35]. По итогам работы, выполненной в четвертом разделе, сделаем следующие выводы.

При отображении классов в соответствующие компоненты, в структуру компонента необходимо добавлять новые атрибуты и методы, отсутствующие в исходной класс-структурированной модели, и необходимые для реализации поведения компонента. Эти дополнительные атрибуты и методы «не видны» как на уровне исходной когнитивной модели, так и на уровне ее формализованного представления в виде UML диаграммы классов. Так, например, в класс `SensorySegment` введен атрибут, моделирующий входной буфер для временного хранения блока выборок оцифрованного звукового сигнала, а в компонент

Recognizer — атрибут, моделирующий входной буфер для временного хранения спектра распознаваемого сенсорного сегмента.

Прототип программного симулятора селективного слухового внимания Бродбента ориентирован на проведение экспериментальных исследований, подтверждающих адекватность исходной модели и правильность проектных решений. Отмеченная ориентация симулятора порождает специфику проектирования программных компонентов. Эта специфика проявляется в развитом пользовательском интерфейсе, при помощи которого экспериментатор может настраивать симулятор на условия конкретного эксперимента. Например, пользовательский интерфейс позволяет настраивать базовые временные ограничения: (1) время полного затухания сенсорного сегмента в сенсорном буфере; (2) время переключения фильтра Бродбента на релевантный канал восприятия; (3) время распознавания сенсорного сегмента.

При настройке прототипа программного симулятора выбран параметр, соответствующий времени распознавания, который соответствует наивысшей достоверности распознавания. Таким образом предполагается, что в человеческой психике процесс категоризации сенсорных сегментов не является полностью независимым от процесса формирования сенсорных сегментов, а имеет место некоторое «согласование» системы сенсорной и постсенсорной обработки.

Из подразделов 4.4.2 и 4.4.3 следует, что результаты экспериментов Бродбента с бинауральными списками, воспроизведенные при помощи симулятора почти полностью совпадают с результатами реальных экспериментов с субъектами. С точки зрения авторов такое совпадение позволяет сделать следующие утверждения. Во-первых, селективная модель слухового внимания Бродбента хоть и не отображает все аспекты феномена внимания, однако вполне адекватна роли феномена внимания в экспериментах с бинауральными списками. Во-вторых, все решения и предположения, которые принимались в процессе разработки и настройки прототипа программного симулятора модели Бродбента, оказались правильными.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Russel S., Norvig P. Artificial Intelligence: A Modern Approach, 3rd Edition. Pearson, 2009. — 1152 p.
2. Eysenck M.W., Keane M.T. Cognitive Psychology: A Student's Handbook, 6th Edition. Psychology Press, 2010. — 760 p.
3. Солсо Р. Когнитивная психология / Роберт Солсо ; [пер. с англ. Н. Ю. Спомииор]. — С.Пб. : Питер, 2002. — 592 с. — (Серия «Мастера психологии»).
4. Newell A. Unified Theories of Cognition. Harvard University Press, 1994. — 549 p.
5. Cognitive Modeling / edited by Thad A. Polk and Colleen M. Seifert. Massachusetts Institute of Technology, 2002. — 1270 p.
6. Wagman M. Cognitive psychology and artificial intelligence: theory and research in cognitive science. Praeger Publishers, 1993. — 176 p.
7. Bermudez J.L. Cognitive Science: An Introduction to the Science of the Mind. 2nd Edition. Cambridge University Press, 2014. — 552 p.
8. Newell A., Simon H. A. Simulation of human processing of information. // American Mathematical Monthly. — 1967. — V. 72, № 2. — P. 111–118.
9. Newell A., Simon H. A. Human problem solving / Englewood Cliffs, N. J. : Prentice-Hall, 1972. — 467 p.
10. Vander A. J., Sherman J. H., Luciano D. C. Vander A. J. Human psychology: the mechanism of body function, 5th Edition. — New York : McGraw-Hill, 1990. — 479 p.
11. Беккер Л. М. Психика и реальность: единая теория психических процессов. — М. : Смысл : PerSe, 2000. — 685 с.
12. H. von Helmholtz. Helmholtz's Treatise on Physiological Optics : In 3 V. / H. von Helmholtz ; [translated from the 3-rd german edition J. P. C. Southall]. — Rochester, New York : The Optical Society of America, 1925. — V. 3. — 1925. — P. 3–33.

13. Психология ощущений и восприятия / под ред. Гиппенрейтера Ю.Б. и др. — [2-е изд.]. — М.: ЧеРо, 2002. — 610 с.
14. Психология внимания / Под ред. Гиппенрейтера Ю.Б. и Романова В.Я. — М.: ЧеРо, 2001. — 858 с.
15. Алексеев П. В., Панин А. В. Философия : учебник — [3-е изд.]. — М. : ТК Велби : Проспект, 2003. — 608 с.
16. Bruner J. S., Goodman V. Value and Need as Organizing Factors in Perception // *Journal of Abnormal and Social Psychology*. — 1947. — № 42. — Р. 34–44.
17. Bruner J. S., Postman L. Emotional selectivity in perception and reaction // *Journal of Personality*. — 1947. — № 16. — Р. 69–77.
18. Брунер Дж. Психология познания. — М. : Прогресс, 1977. — 320 с.
19. Запорожец А. В. Развитие восприятия и деятельность / А. В. Запорожец // *Восприятие и действие: [сборник тезисов 30-го симпозиума XVIII международного психологического конгресса]*. — Москва, 1966. — С. 35–44.
20. Neisser U. *Cognition and reality: principles and implications of cognitive psychology* / San Francisco : W.H. Freeman and Company, 1976. — 230 p.
21. Kellogg R. T. *Cognitive Psychology* / London : SAGE Publications Inc., 1997. — 203 p.
22. Tolman, E.C. Cognitive maps in rats and men. *Psychological Review* v. 55, 1948. — Р. 189–208.
23. Гибсон Дж. Экологический подход к зрительному восприятию [пер. с англ. Т. М. Сокольская]. — М. : Прогресс, 1988. — 461 с.
24. Neisser U. Multiple systems: A new approach to cognitive theory // *Cognition*. — 1994. — V. 6, № 3. — Р. 225–241.
25. Titchener E. B. *A textbook of psychology: lectures on the elementary psychology of feeling and attention*. New York : The Macmillan Company, 1910. — 264 p.
26. Hochberg J. E. *Perception*. New Jersey : Prentice Hall Inc. : Englewood Cliffs, 1964. — 361 p.
27. Koffka K. Perception: an introduction to gestalt-theory // *Psychological Bulletin*. — 1922. — № 19. — Р. 551–585.
28. Koffka K. *Principles of Gestalt psychology*. New York : Harcourt Brace, 1935. — 180 p.
29. Kohler W. *Gestalt psychology: an introduction to the new concepts in modern psychology*. New York : Liveright, 1947. — 177 p.

30. Brown J. F., A. C. Voth. The path of seen movement as a function of the vector field. // *Amer. J. Psychol.* — 1973. — № 49. — P. 543–563.
31. Hering E. Beitrag zur lehre vom simultankontrast. // *Zeitschrift fr psychologie under psychologie der sinnesorgane.* — 1890. — № 1. — S. 18–28.
32. Posner M. I. *Varieties of Attention.* London : Academic Press, 1984. — 554 p.
33. Джемс У. Психология. М. : Педагогика, 1991. — 368 с.
34. Keele S. W., Neill W. T. Mechanisms of attention. *Handbook of Perception:* Eds. E. C. Carterette, M. P. Friedman. New York : Academic Press ; L. : Academic Press, 1978. — Vol. 9. — P. 3–47.
35. Broadbent D. E. The role of auditory localization in attention and memory span. // *Journal of experimental psychology.* — 1954. — V. 47, № 3. — P. 191–196.
36. Broadbent D. E. *Perception and Communication.* Oxford : Pergamon Press, 1958. — 338 p.
37. Treisman A. M. Contextual cues in selective listening. // *Quarterly Journal of Experimental Psychology.* — 1960. — V. 12, № 4. — P. 242–248.
38. Treisman A. M. Verbal cues language and meaning in selective attention. // *American Journal of Psychology.* — 1964. — V. 77, № 2. — P. 206–219.
39. Treisman A. M. Selective attention in man. // *British Medical Bulletin.* — 1964. — № 20. — P. 12–16.
40. Deutsch J. A., D. Deutsch. Attention: Some theoretical considerations. // *Psychological Review.* — 1963. — V. 70, № 1. — P. 80–90.
41. Norman D. A. Toward a theory of memory and attention. // *Psychological Review.* — 1968. — V. 75, № 6. — P. 522–536.
42. Канеман Д. Вниманиe и усилиe. М.: Смысл, 2006. — 287 с.
43. Neisser U. *Cognitive psychology* — New York : Appleton, 1967. — 351 p.
44. Neisser U. The control of information pickup in selective looking // *Pick A. D. Perception and its development: a tribute to Eleanor J. Gibson.* — Hillsdale, New York : Erlbaum, 1979. — P. 42–67.
45. Allport D. A., Antonis B, Reynolds P. On the division of attention: a disproof of the single channel hypothesis. // *Quarterly Journal of Experimental Psychology.* — 1972. — V. 2, № 24. — P. 225–235.
46. Neumann O. Beyond capacity: A functional view of attention. In *Perspectives on perception and action.* Eds. H. Heuer & A. F. Sanders. Hillsdale, New Jersey : Lawrence Erlbaum Associates, 1987. — P. 361–394.

47. Neumann O. Visual Attention and Action. In Relationships between perception and action. Current approaches. Eds. O. Neumann, W. Prinz. Berlin : Springer-Verlag, 1990. — P. 227–267.
48. Norman D. A., Shallice T. Attention to action. Willed and automatic control of behavior. / In eds. R. J. Davidson, G. E. Schwartz, D. Shapiro // The design of everyday things. — New York : Doubleday, 1986. — P. 1–18.
49. Дормашев Ю. Б., Романов В. Я. Психология внимания : учебник ; послесловие проф. В. П. Зинченко. — [3-е изд., испр.]. — М. : Московский психолого-социальный институт : Флинта, 2002. — 376 с.
50. Van der Heijden A. H. C. Attention in vision: perception, communication and action. New York : Psychology Press Ltd., 2004. — 378 p.
51. Cherry E. C. Some experiments on the recognition of speech with one and two ears // Journal of the Acoustical Society of America. — 1953. — № 25. — P. 975–979.
52. Чмырь И. А., Харьковская А. П. Применимость UML-ориентированных CASE-систем для программной симуляции ментальных процессов. // Искусственный интеллект. Донецк. — 2001. — № 4. С. 41–51.
53. Broadbent D. E. Decision and stress. London : Academic Press, 1971. — 522 p.
54. Allport D. A. Visual attention. Foundation of cognitive science. In eds. M. I. Posner. — Cambridge, M. A. : MIT Press, 1989. — 631–682 p.
55. Wolfe J. M. What do 1,000,000 trials tell us about visual search? Psychol. Sci. — 1998. — № 9. — P. 33–39.
56. Wolfe J. M., Butcher S. J., Lee C., Hyle M. Changing your mind: On the contributions of top-down and bottom-up guidance in visual search for feature singletons // Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance. — 2003. — № 29. — P. 483–502.
57. Yantis S., Johnston J. C. On the locus of visual selection: Evidence from focused attention tasks // Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance. — 1990. — V. 16, № 1. — P. 135–149.
58. Lavie N. Perceptual load as a necessary condition for selective attention // Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance. — 1995. — V. 21, № 3. — P. 451–468.
59. Treisman A. M., Gelade G. A feature integration theory of attention // Cognitive Psychology. — 1980. — V. 12, № 1. — P. 97–136.

-
60. Treisman A.M., Schmidt H. Illusory conjunction in the perception of objects // *Cognitive Psychology*. — 1982. — V. 14, № 1. — P. 107–141.
 61. Трейсман Э. Объекты и их свойства в зрительном восприятии человека // *В мире науки*. — 1987. — № 1. — С. 68–78.
 62. Treisman A. M. The perception of features and objects / A. M. Treisman // Baddeley A. D., Weiskrantz L. *Attention: Selection, awareness and control: A tribute to Donald Broadbent*. — Oxford : Clarendon Press, 1993. — P. 5–35.
 63. Sperling G.A. Successive approximations to a model for short-term memory. // *Acta Psychologica*. — 1967. — V. 27. — P. 285–292.
 64. Duncan J., Humphreys G.W. Visual search and stimulus similarity // *Psychological Review*. — 1989. — V. 96, № 3. — P. 433–458.
 65. Duncan J., Ward R., Shapiro K. Direct measurement of attentional dwell time in human vision // *Nature*. — 1994. — V. 36, № 9. — P. 313–315.
 66. Raymond J.E., Shapiro K.L., Arnell K.M. Temporary suppression of visual processing in an RSVP task: An attentional blink? // *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*. — 1992. — V. 18, № 3. — P. 849–860.
 67. Shapiro K.L., Raymond J.E. Temporal allocation of visual attention. Inhibition or interference? In eds. D. Dagenbach, T. H. Carr // *Inhibitory processes in attention, memory and language*. — Boston : Academic Press, 1994. — P. 151–188.
 68. Shapiro K.L., Raymond J.E., Arnell K.M. Attention to visual pattern information produces the attentional blink in rapid serial visual presentation // *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*. — 1994. — V. 20, № 2. — P. 357–371.
 69. Wolfe J.M., Cave K.R., Franzel S.L. Guided search: an alternative to the feature integration model for visual search // *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*. — 1989. — № 15. — P. 419–433.
 70. Cave K.R., Wolfe J.M. Modeling the role of parallel processing in visual search // *Cognitive Psychology*. — 1990. — № 22. — P. 225–271.
 71. Wolfe J.M. Guided search 2.0: a revised model of visual search // *Psychol. Bull. Rev.* — 1994. — № 1. — P. 202–238.
 72. Erdelyi M. H. A new look at the new look: perceptual defense and vigilance // *Psychological Review*. — 1974. — V. 81, № 1. — P. 1–25.

73. Shiffrin P. M., Schneider W. Controlled and automatic human information processing: Perceptual learning, automatic attending and a general theory // *Psychological Review*. — 1977. — V. 84, № 2. — P. 127–190.
74. Berlyne D. E. Conflict, arousal and curiosity / New York : McGraw-Hill, 1960. — 435 p.
75. Yerkes R. M., Dodson J. D. The relation of strength of stimulus to rapidity of habit-formation. // *Journal of Comparative Neurology of Psychology*. — 1908. — № 18. — P. 459–482.
76. Easterbrook, J.A. The effect of emotion on cue utilization and the organization of behavior // *Psychological Review*, 66, 1959. — P. 183–201.
77. Johnston W., Heinz S. P. Flexibility and capacity demands of attention. // *Journal of Experimental Psychology: General*. — 1978. — V. 107, № 4. — P. 420–435.
78. Posner M. I., Snyder C. R. Facilitation and inhibition in the processing of signals. // *Attention and Performance V.* ; in eds. P. M. A. Rabbit, S. Dornic. — London : Academic Press, 1975. — P. 669–682.
79. Posner M. I., Snyder C. R. Attention and cognitive control. // *Information Processing and Cognition: [The Loyola Symposium]* ; in eds. R. Solso. — Hillsdale, N.Y. : Erlbaum, 1975. — P. 55–86.
80. Norman D. A., Bobrow D. G. On data-limited and resource-limited processes. // *Cognitive Psychology*. — 1975. — V. 7, № 1. — P. 44–64.
81. Norman D. A., Bobrow D. G. On the analysis of performance operating characteristics. // *Psychological Review*. — 1976. — V. 83, № 6. — P. 508–510.
82. Wickens C. D. The structure of attentional resources. // *Attention and Performance* ; in eds. R. S. Nickerson. — Hillsdale, N.J. : Erlbaum, 1980. — V. 8. — P. 238–257.
83. Wickens C. D., Sandry D. L., Vidulich M. Compatibility and resource competition between modalities of input, central processing, and output. // *Human Factors*. — 1983. — V. 25, № 2. — P. 227–248.
84. Wickens C. D. Processing resources in attention // *Varieties of attention* ; in eds. R. Parasuraman, R. Davies. — Orlando : Academic Press, 1984. — P. 63–101.
85. Wickens C. D. Attention. // *Human Factors Psychology* ; in eds. P. A. Hancock. — North Holland : Elsevier, 1987. — P. 29–80.
86. Bartlett F. C. Remembering: a study in experimental and social psychology / Cambridge : Cambridge University Press, 1932. — 317 p.

-
87. Bartlett F. C. Thinking. An experimental and social study / London : Allen & Unwin, 1958. — 203 p.
 88. Broadbent D. E. A mechanical model for human attention and immediate memory // Psychological review. — 1957. — V. 64, № 3. — P. 205–215.
 89. Allport D. A. Patterns and actions: cognitive mechanisms are content-specific. // Claxton G. Cognitive psychology: new directions. — L. : Routledge and Kegan Paul, 1980. — P. 26–64.
 90. Allport D. A. Attention and performance. // Claxton G. Cognitive psychology: new directions. — L. : Routledge and Kegan Paul, 1980. — P. 112–153.
 91. Allport D. A. Perspectives on perception and action. / in eds. H. Heuer, A. F. Sanders. — New Jersey : Lawrence Erlbaum Associates, 1987. — 419 p.
 92. Shallice T. Specific impairments of planning. // Phil. Trans. R. Soc. Lond. B 296, 1982. — P. 199–209.
 93. Рамбо Дж., Блах М. UML 2.0. Объектно-ориентированное моделирование и разработка. Второе издание. / Издательство «Питер». Санкт-Петербург. 2007. — 540 с.
 94. Warmer J., Kleppe A. The Object Constraint Language. Second Edition. Getting Your Models Ready for MDA. / Pearson Education, Inc., 2003. — 206 p.
 95. Уемов А. И. Вещи, свойства и отношения. / Издательство АН СССР. М. 1963. — 184 с.
 96. Минский М. Фреймы для представления знаний. / «Энергия». М.: 1979. — 151 с.
 97. Brainerd C.J. Piaget's Theory of Intelligence. / Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey. 1978. — 326 P.
 98. Lettvin J. Y., Maturana H.R., McCulloch W.S., Pitts W.H. // What the Frog's Eye Tells the Frog's Brain. Proceedings of the Institute of Radio Engineers, — 1959. vol. 47, pp. — 1940–1951.
 99. Физиология человека. Издание второе, переработанное и дополненное. / Под редакцией Покровского В.М. и Коротько Г.Ф. — «Медицина». М.: 2003. — 656 с.
 100. Фланаган Дж. Л. Анализ, синтез и восприятие речи / [пер. с англ. А. А. Пирогова]. — М. : Изд-во «Связь», 1968. — 396 с.
 101. Радзишевский А. Основы аналогового и цифрового звука / М.: Издательский дом «Вильямс», 2006. — 281 с.

102. Айфичер Э.С., Джервис Б.У. Цифровая обработка сигналов: практический подход / [пер. с англ. И. Ю. Дорошенко, А. В. Назаренко]. — [2-е изд.]. — М. : Издательский дом «Вильямс», 2004. — 992 с.
103. Бабаков И.М. Теория колебаний : Учебное пособие / [4-е изд.]. — М. : Дрофа, 2004. — 592 с.
104. Винцюк Т. К. Анализ, распознавание и интерпретация речевых сигналов / К. : Наукова думка, 1987. — 264 с.
105. Picone J. Signal Modeling Techniques in Speech Recognition. // *Proceedings of the IEEE*. — 1993. — V. 81, № 9. — P. 1215–1247.
106. Martin T. B. Practical applications of voice input to machines. // *Proceedings of the IEEE*. — 1976. — V. 64, № 4. — P. 487–501.
107. Reddy D. R. Speech recognition by machine: a review. // *Proceedings of the IEEE*. — 1976. — V. 64, № 4. — P. 501–531.
108. Sambur M.R., Rabiner L.R. A Speaker independent digit recognition system. // *Bell System Tech. J.* — 1975. — V. 54, № 1. — P. 81–102.
109. Жирякова И. А. Распознавание речевых сигналов на основе метода спектрального оценивания. // *Інформаційні технології в науці, освіті і техніці : VI всеукр. конф. молод. науков., 5–7 трав. 2008 р. : тези допов.* — Черкаси, 2008. — С. 55–57.
110. Stevens P., Pooley R. Using UML. Software Engineering with Objects and Components. 2-nd edition. / Addison Wesley. — 2006. 248 p.
111. Zak D., Programming with Microsoft Visual Basic 2017. 8th Edition. / Course Technology. — 2017. — 682 p.
112. Gold B. Speech and audio signal processing / Morgan. — New York : Wiley Press, 1999. — 471 p.
113. Miles R., Hamilton K. Learning UML 2.0 / O'Reilly Media Inc. — 2006. 269 p.

More Books!



yes I want morebooks!

Покупайте Ваши книги быстро и без посредников он-лайн - в одном из самых быстрорастущих книжных он-лайн магазинов!
Мы используем экологически безопасную технологию "Печать-на-Заказ".

Покупайте Ваши книги на
www.morebooks.de

Buy your books fast and straightforward online - at one of the world's fastest growing online book stores! Environmentally sound due to Print-on-Demand technologies.

Buy your books online at
www.morebooks.de

OmniScriptum Marketing DEU GmbH
Bahnhofstr. 28
D - 66111 Saarbrücken
Telefax: +49 681 93 81 567-9

info@omniscrptum.com
www.omniscrptum.com

OMNIScriptum



