

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
Институт системного анализа Российской академии наук

На правах рукописи

Панов Александр Игоревич

**Исследование методов, разработка моделей и  
алгоритмов формирования элементов знаковой  
картины мира субъекта деятельности**

Специальность: 05.13.17 — Теоретические основы информатики

Диссертация на соискание учёной степени  
кандидата физико-математических наук

Научный руководитель:  
доктор физико-математических наук,  
профессор Г. С. Осипов

Москва — 2014

# Оглавление

<b>Введение . . . . .</b>	<b>4</b>
<b>1. Картина мира субъекта деятельности . . . . .</b>	<b>10</b>
1.1. Предпосылки к созданию модели картины мира . . . . .	10
1.1.1. Культурно—исторический подход Выготского . . . . .	10
1.1.2. Теория деятельности Леонтьева . . . . .	12
1.1.3. Поздние психологические работы . . . . .	14
1.1.4. Выводы параграфа 1.1 . . . . .	16
1.2. Нейрофизиологические исследования . . . . .	17
1.2.1. Теория глобального рабочего пространства . . . . .	21
1.2.2. Иерархическая временная память . . . . .	24
1.2.3. Выводы параграфа 1.2 . . . . .	29
1.3. Прикладная семиотика . . . . .	29
1.4. Выводы . . . . .	34
<b>2. Модель картины мира. Синтаксический уровень . . . . .</b>	<b>35</b>
2.1. Знак—базовый элемент картины мира . . . . .	35
2.2. Процесс формирования нового знака . . . . .	37
2.2.1. Компоненты знака и процедуры связывания . . . . .	39
2.2.2. Формирование функционального значения и образа восприятия . . . . .	42
2.2.3. Именованное . . . . .	44
2.3. Отношения и процедуры самоорганизации . . . . .	46

2.3.1. Отношения и операции на множестве образов . . . . .	47
2.3.2. Отношения и операции на множестве личностных смыслов . . . . .	50
2.3.3. Отношения и операции на множестве значений . . . . .	51
<b>3. Модель картины мира. Семантический уровень . . . . .</b>	<b>55</b>
3.1. Образная компонента знака . . . . .	56
3.1.1. Основные принципы работы образной компоненты . . . . .	56
3.1.2. Распознающий блок . . . . .	58
3.1.3. Алгоритм $\mathcal{A}_{th}$ работы распознающего блока . . . . .	61
3.2. Исследование алгоритма $\mathcal{A}_{th}$ работы образной компоненты . . . . .	66
3.2.1. Статическая задача классификации . . . . .	66
3.2.2. Динамические постановки задачи классификации . . . . .	72
3.2.3. Выводы параграфа 3.2 . . . . .	78
3.3. Алгоритм образования нового знака . . . . .	79
3.3.1. Общая схема . . . . .	79
3.3.2. Процедурные и объектные признаки . . . . .	80
3.3.3. Определение компонент знака . . . . .	82
3.3.4. Свойства на множестве признаков . . . . .	84
3.3.5. Опыт наблюдения и алгоритм $\mathcal{A}_{pt}$ . . . . .	85
3.3.6. Корректность алгоритма $\mathcal{A}_{pt}$ . . . . .	87
<b>Заключение . . . . .</b>	<b>90</b>
<b>Список литературы . . . . .</b>	<b>91</b>
<b>Список иллюстративного материала . . . . .</b>	<b>100</b>
<b>Приложение А. Типы картин мира . . . . .</b>	<b>102</b>
<b>Приложение Б. Модель функции целеполагания на синтаксическом уровне . . . . .</b>	<b>105</b>

# Введение

## **Актуальность темы исследования.**

Исследование картины мира (КМ) субъекта деятельности является одним из центральных направлений в психологии. Высшие психические функции, в том числе когнитивные, познавательные, связанные с приобретением и использованием знаний, являются продуктом работы КМ субъекта в широком смысле. Исследованию большого числа процессов, протекающих в КМ, в том числе высших, таких как категоризация и обобщение, целеполагание, планирование, принятие решения, творческие синтез и анализ, было посвящено огромное количество работ на протяжении всей истории психологической науки. Следует отметить работы по восприятию Дж. А. Фодора (J. A. Fodor), Б. Юлеза (B. Julesz), Дж. Е. Каттинга (J. E. Cutting), А. Р. Лурия, Б. М. Величковского, В. П. Зинченко и памяти С. Стернберга (S. Sternberg), Л. Джакоби (L. Jacoby), Р. Аткинсона (R. Atkinson), Р. Шиффрина (R. Shiffrin), Е. Тулвинга (E. Tulving).

В последнее время исследованию когнитивных функций человека уделяется большое внимание не только в самой психологии, но и в нейрофизиологии и в искусственном интеллекте. Нейрофизиологи основной своей задачей ставят поиск нейронного субстрата психических функций. При этом в качестве основного инструмента здесь выступает картирование участков коры головного мозга и отслеживание динамики активности различных участков при выполнении той или иной когнитивной задачи. Большое количество накопленного фактического материала используется для подтверждения целого ряда разрозненных моделей отдельных психических функций. Примерами могут служить работы по моделям внимания Я. Б. Казановича, С. Фринтропа (S. Frintrop), С. Коха (C. Koch), Л. Итти (L. Itti), Дж. К. Сосоца (J. K. Tsotsos), А. Торралба (A. Torralba), Л. Жэнга (L. Zhang), Р. А. Ренсинка (R. A. Rensink).

Единого аппарата для построения таких моделей на данный момент не существует, хотя имеется ряд работ Б. Дж. Баарса (B. J. Baars), Р. Сана (R. Sun), Дж. Хокинса (J. Hawkins), которые можно считать первыми попытками создания.

Искусственный интеллект в начале своего становления как науки использовал для построения интеллектуальных алгоритмов данные психологов. Однако спустя некоторое время психологические соображения уже перестали рассматриваться как определяющие при разработке того или иного алгоритма. Центральное место стали занимать вопросы вычислительной эффективности и специализации в той или иной предметной области. В связи с тем, что в большинстве интеллектуальных систем в настоящее время требуется всё большая степень универсальности и автономности, начинается процесс возвращения к психологическим теориям строения психики человека. Возникает задача строить интеллектуальные алгоритмы процессов, например, распознавания и планирования, на некоторой биологически правдоподобной основе. К этому направлению, так называемых биологически обоснованных когнитивных архитектур, относятся работы Дж. Р. Андерсона (J. R. Anderson), П. Леирда (J. E. Laird), П. Ленгли (P. Langley).

Потребность в единой модели КМ субъекта деятельности для нейрофизиологов и исследователей в области искусственного интеллекта определяет актуальность данной работы. Такую модель можно было использовать как для построения моделей когнитивных функций человека на нейронном уровне, подтверждаемых нейрофизиологическими данными о строении нейронных ансамблей и данными об активности соответствующего данной функции участка коры головного мозга, так и для построения абстрагированных от того или иного субстрата интеллектуальных алгоритмов, которые могли бы быть использованы в автономных системах свободной конфигурации.

В работе рассматривается один из основных вопросов, возникающих при разработке модели КМ, посвящённый описанию базовых элементов

и построению алгоритма их формирования в процессе деятельности субъекта, носителя КМ. В качестве психологической основы для построения модели элемента КМ был использован культурно—исторический подход Л. Н. Выготского и теория деятельности А. Н. Леонтьева. Предпосылки построения таких моделей были заложены в работах Д. А. Пospelова, А. М. Мейстера, Г. С. Осипова в рамках предложенной ими прикладной семиотики. В качестве нейрофизиологических предпосылок были использованы концепции и нейронные схемы Дж. Хокинса.

**Предмет исследования** — создание моделей картины мира субъекта деятельности и некоторых высших когнитивных функций.

**Целью исследования** является разработка моделей и алгоритмов формирования элементов знаковой картины мира субъекта деятельности, обладающих структурой, необходимой для построения моделей высших когнитивных функций, в том числе восприятия, внимания, планирования и целеполагания.

Для достижения цели работы были поставлены следующие **задачи**:

- 1) исследовать модель элемента картины мира субъекта, построенную на основе психологической теории деятельности,
- 2) построить модель структурных компонент элемента картины мира, опирающуюся на нейрофизиологические данные,
- 3) исследовать структуру отношений и процессы самоорганизации на множестве элементов картины мира на синтаксическом уровне,
- 4) исследовать итерационный процесс формирования и связывания компонент нового элемента картины мира и разработать соответствующий алгоритм,
- 5) исследовать сходимостъ итерационного процесса формирования и связывания компонент нового элемента картины мира.

### **Научная новизна и результаты, выносимые на защиту.**

1. Впервые построена модель структурных компонент элемента картины мира субъекта деятельности.
2. Построены операторы распознавания в статическом, динамическом и иерархическом случаях в терминах алгебраической теории для образной компоненты элемента картины мира.
3. Доказаны теоремы корректности линейных замыканий множеств построенных в работе операторов распознавания.
4. Построен итерационный алгоритм формирования и связывания двух компонент нового элемента картины мира.
5. Проведено исследование итерационного процесса формирования и связывания компонент нового элемента картины мира.

**Практическая значимость.** Построение модели картины мира субъекта деятельности, с одной стороны, позволит создать универсальные интеллектуальные алгоритмы планирования поведения, целеполагания, локализации, распознавания и категоризации, применение которых в интеллектуальных системах повысит степень их автономности, а с другой стороны, позволит объяснить некоторые патологические явления в мозге человека и дать рекомендации к их преодолению.

**Методы исследования.** Теоретические результаты работы получены и обоснованы с использованием методов теории множеств, алгебраической теории распознавания образов, теории интеллектуальных динамических систем, теории деятельности.

**Достоверность результатов** подтверждена строгими математическими доказательствами утверждений и результатами вычислительных экспериментов.

**Апробация результатов исследования.**

Основные результаты работы докладывались на: Международных конференциях по когнитивной науке (Томск, 2010 г.; Калининград, 2012 г., 2014 г.), II Всероссийской научной конференции молодых учёных с международным участием «Теория и практика системного анализа» (Рыбинск, 2012 г.), IV Международной конференции «Системный анализ и информационные технологии» (Абзаково, 2011 г.), V съезде Общероссийской общественной организации «Российское психологическое общество» (Москва, 2012 г.), X Международной конференции «Интеллектуализация обработки информации» (Крит, 2014 г.), I конференции Международной ассоциации когнитивной семиотики (Лунд, 2014 г.), Общественном научном семинаре «Проблемы искусственного интеллекта», на семинарах ИСА РАН.

**Публикации.** Основные результаты по теме диссертации изложены в 13 печатных работах [1–14], 3 из которых изданы в рецензируемых журналах из списка ВАК РФ [4–6], 7 — в материалах всероссийских и международных конференций [1–3, 7, 9, 11, 12].

**Объем и структура работы.** Диссертация состоит из введения, трёх глав, заключения и двух приложений. Полный объём диссертации составляет 112 страниц с 21 рисунком. Список литературы содержит 78 наименований.

В **первой главе** приводится описание предметной области и анализ существующих предпосылок к построению моделей КМ. В качестве психологических предпосылок рассматриваются культурно-историческое направление в психологии (Л.Н. Выготский и А.Р. Лурия), теория деятельности (А.Н. Леонтьев) и модель психики Е.Ю. Артемьевой. Среди нейрофизиологических моделей наибольшее внимание уделено исследованиям Б. Дж. Баарса и Дж. Хокинса.

Во **второй главе** рассматривается синтаксический уровень разрабатываемой модели КМ. Приводится формальное определение знака как элемента картины мира и схема процесса формирования нового знака.



Приводится классификация типов отношений, возникающих на множестве знаков, и строятся процессы самоорганизации на сети элементов КМ.

В **третьей главе** рассматривается семантический уровень разрабатываемой модели КМ. Вводится понятие распознающего блока, являющегося базовым математическим объектом, с помощью которого определяются все компоненты знака. Подробно рассматривается модель процесса восприятия и исследуются множества операторов распознавания, которые строятся при анализе работы образной компоненты знака. Приводится алгоритм итерационного процесса формирования и связывания образа и значения знака, проводится анализ сходимости этого процесса.

В **приложения** включены описания типов картин мира, свойства которых объясняются с помощью разрабатываемой модели (приложение **А**) и пример описания одной из когнитивных функций (целеполагания) на синтаксическом уровне (приложение **Б**).

В **заключении** приводятся основные результаты, полученные в работе.

# **Глава 1**

## **Картина мира субъекта деятельности**

### **1.1. Предпосылки к созданию модели картины мира**

#### **1.1.1. Культурно—исторический подход Выготского**

Одна из первых успешных попыток формулировки общих принципов работы высших психических функций человека была предпринята отечественным психологом Л.С. Выготским в 20–30 гг. XX в. [15] и далее развивалась последователями его школы А.Н. Леонтьевым, А.Р. Лурия, П.Я. Гальпериным, П.И. Зинченко [16–18].

Культурно—исторический подход Выготского предлагает рассматривать в качестве основного фактора, который определяет формирование психических функций человека, социальную среду. Развитие мышления, формирование высших психических функций происходит не само по себе, а только путём использования человеком так называемых «психологических орудий». Одним из основных таких орудий является любая система знаков, например, язык, письмо, системы счёта.

Такие психические функции как память, восприятие, мышление в своём развитии проходят через этап внешней деятельности, когда культурные средства, «психологические орудия» имеют предметный вид и соотносятся с какой-то определённой последовательностью действий. И только затем такая последовательность действий сворачивается, *интериоризуется*, переходит из внешнего плана во внутренний.

Такая автоматизация отрабатываемых действий наблюдается в поведении человека повсеместно. Можно считать, что первым установленным свойством картины мира было свойство интериоризации некоторой последовательности действий. Трансформация её с более высокого, энергозатратного, требующего больше времени на реализацию уровня на более низкий, быстрый и автоматизированный.

По Выготскому одной из функций картины мира в дополнение к интериоризации является также и процесс *экстериоризации* некоторой автоматизированной последовательности действий в случае возникновения каких-либо препятствий для её обычного, быстрого выполнения. Интериоризация не является, таким образом, необратимой — структуры и процедуры её реализующие при необходимости могут быть выполнены в обратном порядке.

На этапе интериоризации человек развивается в культурном, психическом плане только постоянно участвуя в деятельности с другими членами коллектива. При этом все те действия, которые пока за него выполняют другие члены коллектива составляют так называемую «зону ближайшего развития». Именно действия из этой зоны будут интериоризованы в первую очередь.

Любое развитие, в том числе и картины мира, по Выготскому это не постепенный ровный процесс, а стадияльный, когда периоды достаточно медленного накопления знаний и новых возможностей, сменяются короткими этапами кризиса. За время течения кризиса происходят качественные изменения структуры некоторых частей картины мира и протекающих в них процессов,

влекущие за собой перестройку других частей и процессов и т. д. Запускается лавинный процесс, который достаточно быстро заканчивается и сменяется новым периодом медленного накопления. Ступенчатый характер процессов обновления картины мира можно считать вторым установленным её свойством.

Выготский был одним из первых психологов, который указал на роль знака и коллектива в функционировании картины мира субъекта. Выготский первым дал психологическую интерпретацию знака и чётко обозначил ту роль, которую знаки играют в развитии субъекта. Однако работа интериоризованных процессов и их связь с внешними знаками осталась за скобками.

### 1.1.2. Теория деятельности Леонтьева

Развитием и применением идей культурно—исторического подхода занимались многие последователи Выготского, среди которых огромную роль в формировании целостной психологической модели картины мира субъекта сыграл А. Н. Леонтьев [19].

Леонтьев считается автором теории деятельности в психологии, основы которой были заложены в конце 20 гг. XX в. Любая деятельность с точки зрения Леонтьева является предметной, а любой предмет отражается, или *опосредуется*, субъектом с помощью некоторого психического образования, которое, следуя Выготскому, стали называть *знаком*. Носителем таких отражений, для которых дополнительно выполняется условие отделения от внутренних характеристик, в теории деятельности считается *сознание*.

По Леонтьеву деятельность субъекта глубоко иерархична. На самом высшем уровне находятся различные виды деятельности, отличающиеся друг от друга той потребностью, которая направляет ту или иную деятельность. На следующем уровне иерархии располагаются сознательные, не автоматизированные действия, каждое из которых задаётся некоторой

целью, представлением о результате своего выполнения. Действие может иметь различный операционный состав в зависимости от условий реализации, что составляет третий уровень иерархии. Наконец, на самом нижнем уровне лежат психофизиологические механизмы, которые реализуют ограничения, накладываемые на форму операций свойствами организма субъекта деятельности.

Такая четырёхуровневая схема деятельности по Леонтьеву выделяет среди психических отражений предметов реального мира четыре вида единиц: потребности, мотивы, цели и условия. Каждая потребность рано или поздно опредмечивается, формируя мотив, который и является направляющей силой любой деятельности. Мотив при этом может не осознаваться. Мотив формирует зону целей, для достижения которых в рамках текущей деятельности выбираются соответствующие действия. Наконец, форму реализации действий определяют те или иные предметные условия, задающие операции.

Для более подробного описания структуры деятельности Леонтьеву пришлось уточнить понятие знакового опосредования предметов, введённое Выготским. Были введены компоненты знака, отражающего некоторый реальный объект действительности. Первый компонент или образующая сознания — это чувственная ткань или образ, который является непосредственным, закодированным представлением предмета действительности в КМ. Второй компонент — это значение, которое Леонтьев определяет как преобразованную, свёрнутую в структуре языка идеальную форму существования предметного мира, его свойств, связей и отношений, раскрываемых совокупной общественной практикой. Система значений определяет общественно познанную реальность, поэтому изменение структуры значений происходит только как объективно—историческое движение. Третий компонент знака, личностный смысл, или «значение—для—меня», связывает имеющийся опыт субъекта, его потребности и свойства предметов

действительности. Личностные смыслы всегда переживаются и задают эмоциональную окраску КМ субъекта.

Леонтьев стал основоположником общепринятой в настоящее время психологической модели картины мира. Он определил её основные образующие элементы и выделил различные уровни как процессов протекающих в самой картине мира, так и внешних действий, являющихся продуктами функционирования этой картины мира.

### 1.1.3. Поздние психологические работы

Понятие картины мира в современном представлении было дано в модели Е. Ю. Артемьевой [20]. Согласно её изложению в этой психической структуре следы взаимодействия с объектами фиксируются в системе опыта субъекта на семантическом уровне: «мы смогли увидеть, как пристрастно отношение субъекта к входящему с ним в контакт предметному миру, как активно он (субъект) структурирует этот мир, создавая для себя его проекцию. Вещи всегда наделяются свойствами, характеризующими их взаимоотношения с субъектом. В частности, геометрические формы оказываются наделенными жестко сцепленными комплексами свойств, ведущими из которых являются эмоционально-оценочные свойства. У субъекта складывается картина мира, картина свойств вещей в их отношениях к нему и друг к другу».

Артемьева изучала вопрос соотношения субъективного опыта и представления о мире или, в её терминологии, *образа мира*, который несёт всю предысторию психической жизни субъекта. Чтобы объяснить процесс формирования представления о мире, Артемьева предположила существование некоторой структуры, являющейся регулятором и строительным материалом образа мира. Такая структура была разделена ею на три слоя. Первый слой, перцептивный мир, характеризуется существованием модальностей,

соответствующих различным каналам восприятия внешнего мира. Второй слой, картина мира в узком смысле слова, представляет собой агрегацию различных семантик или систем амодальных значений. Третий слой, образ мира в узком смысле, содержит амодальные аффективные гипотезы, направляющие мыслительный процесс субъекта.

Глубокое исследование картины мира субъекта Артемьевой несмотря на разделение модели на три слоя и выделение более узкого определения картины мира, свидетельствует о продолжающемся углублении исследований различных компонент знака по Леонтьеву: образа (перцептивный мир), значения (семантический слой) и личностного смысла (аффективный слой), не меняя принципиально структуру модели.

Одним из направлений зарубежных исследований в области построения психологических моделей картины мира является направление «world view». Основные вопросы, на которые нацелены указанные исследования можно сформулировать следующим образом:

- Что такое мир, как он устроен и как он функционирует?
- Почему человек чувствует то, что чувствует и как возникает у него определённое отношение к реальности?
- Как человек действует в мире и как выбирает одну цель из множества возможных?
- Как формируется субъективный образ мира?

Группа исследователей [21] в 1994 г. опубликовала программу проекта междисциплинарных работ, целью которого является создание модели «world view», интегрирующей биологические, когнитивные, психологические, языковые, социологические, философские аспекты отношения к реальности. В качестве компонентов структуры «world view» выступают: онтология (модель существующего), объяснение (модель прошлого), предсказание (модель

будущего), аксиология (теория ценностей), праксиология (теория деятельности) [21]. В [22] в «world view» были выделены объективная («концепция мира»), субъективная («жизненный мир») и интерсубъективная («взгляды») составляющие.

В психологическом плане «world view» может быть сопоставлен с концепциями «философии жизни» К. Юнга, «мировоззрения» А. Маслоу, «гипотезы мира» С. Пеппера (S.C. Pepper), «возможных миров» Дж. Франка (J.D. Frank), «взгляда на реальность» С. Мессера (S.B. Messer), «системы конструкторов Я-и-Мир» Дж. Коттлера (J.A. Kottler) и Р. Хецлера (R.J. Hazler), «ценностных ориентаций», «неосознаваемых систем смыслов», «неосознаваемых оснований выбора», «ядерной культуры» Ф. Клюхона (F.R. Kluckhohn) [23].

#### **1.1.4. Выводы параграфа 1.1**

На протяжении достаточно длительного периода психологических исследований картины мира субъекта деятельности были сформулированы следующие основные принципы её строения и функционирования:

- существование двух уровней протекания психических процессов (внешний и внутренний план) и двух обратных процессов перехода процесса с одного уровня на другой: интериоризация (автоматизация) и экстериоризация («разворачивание» в случае ошибок или затруднений);
- ступенчатый характер преобразования картины мира: медленные процессы накопления опыта сменяются быстрыми процессами реструктуризации;
- иерархичность процессов протекающих как внутри картины мира, так снаружи благодаря проявляющимся результатам её функционирования (схема деятельности субъекта);



- элементарной единицей картины мира является знак, опосредующий некоторое явление в окружающем мире, и состоящий из трёх компонент: образа, значения и личностного смысла.

## 1.2. Нейрофизиологические исследования

В последнее время исследования в области поиска нейрофизиологических коррелятов когнитивных функций вошли в список приоритетных направлений практически во всех развитых странах. В 2013 г. в США была анонсирована программа BRAIN INITIATIVE, а в 2014 г. под эгидой Департамента здравоохранения был запущен один из проектов данной программы под названием BRAIN [24]. В 2013 г. в ЕС стартовал один из двух мегапроектов The Human Brain project (HBP, Проект моделирования мозга человека), объединяющий более 100 институтов из 24 стран [25]. Оба эти проекта, как и многие менее крупные со схожей тематикой, имеют своей основной целью составление подробной карты участков головного мозга с указанием той когнитивной психической функции, за которую преимущественно отвечает та или иная область. Построение такой карты возможно только при наличии модели, которая бы на основе нейрофизиологических данных о строении головного мозга (как коры, так и подкорковых древних структур), предсказывала бы, какой вклад вносит определённая область в формирование интересующей функции. Подобные проекты базируются на огромном фактическом материале, накопленном за десятилетия проведения исследований строения мозга млекопитающих, и призваны заполнить пробел между сведениями о работе нейронов и их ансамблей и психологическими описаниями высших когнитивных функций.

Поиск когнитивных коррелятов и описание общих нейрофизиологических оснований высших психических функций находится пока только в самом

начале. Большинство тех работ в этой области, где проводится не только анализ фактического материала, но и приводится нейронная модель работы исследуемого процесса, ограничиваются попытками осветить только некоторые аспекты исследуемой функции. Примером могут служить многочисленные работы по моделям внимания, которые успешно объясняют и предсказывают только такие эффекты, как слепота к изменениям, ограниченность ресурса внимания, временные характеристики и т. п. [26].

Попытки сформулировать базовые принципы, на основе которых необходимо проводить построение нейрофизиологических моделей предпринимались в ряде работ как в России (работы А. М. Иваницкого [27, 28]), так и за рубежом (Д. М. Эделмен (G. M. Edelman) [29]) с 70 гг. XX в. Так гипотеза повторного входа (или информационного синтеза) предполагает наличие некоторого замкнутого контура, состоящего из определённых участков и структур головного мозга (зрительная кора, ассоциативная кора, гиппокамп, гипоталамус, лобная кора). Прохождение сигнала по такому контуру активирует взаимосвязанные нейронные ансамбли, которые хранят информацию о значимости сигнала. Поступающие от них нервные импульсы возвращаются обратно в проекционную кору и накладываются на ещё сохраняющийся там след стимульного возбуждения. Только при успешном замыкании такого контура возникает ощущение и поступивший сигнал интерпретируется в контексте КМ субъекта (рис. 1.1).

Другой взгляд на базовые принципы организации моделей высших психических функций и картины мира субъекта содержится в так называемой теории рабочего пространства Б. Дж. Баарса (B. J. Baars) [30]. В её нейронной реализации [31] утверждается, что существует некоторое множество нейронов рабочего пространства, которые связаны с большим количеством автономных участков коры головного мозга. Эти участки коры, реализующие простые когнитивные функции, конкурируют за активацию нейронов рабочего пространства. Активация некоторого подмножества этих

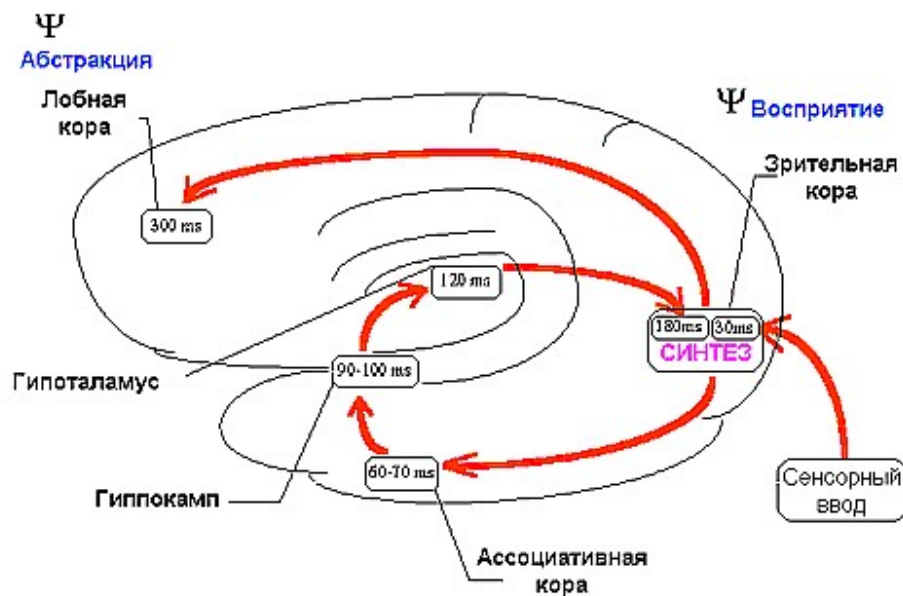


Рисунок 1.1. Круг ощущений по А. М. Иваницкому (источник [27]).

нейронов приводит к подавлению активации других таких нейронов и распространению самоподдерживающейся активности практически на всю кору. Таким образом, информация от захватившего глобальный ресурс когнитивного процесса становится доступной другим автономным процессам. Такая модель хорошо объясняет эффекты последовательности и избирательности высших психических функций, однако ничего не проясняет в механизмах их реализации. Подробнее см. подпараграф 1.2.1.

Идея нейронов рабочего пространства схожа с описанием нейронов сознания известным отечественным нейрофизиологом Е. Н. Соколовым [32]. Соколов вводит понятие гештальт—пирамид, состоящих из нейронов-детекторов отдельных признаков. Вершиной такой пирамиды служит нейрон, гештальт—детектор, представляющий некоторый сложный объект в картине мира субъекта.

Среди последних работ на тему базовых принципов можно выделить исследование Дж. Хокинса (J. Hawkins) [33], где высказывается идея о том, что работа коры головного мозга базируется на множестве шестислойных колонок нейронов, организованных в иерархию и выполняющих достаточно простой набор элементарных функций. К таким функциям относятся фильтрация за счёт

подавления слабого сигнала и предсказание формы следующей порции сигнала, поступающего с нижних слоев иерархии. В описании модели используется множество марковских цепей, элементы которых представляют низкоуровневые признаки. Каждая марковская цепь служит для вычисления вероятности наличия высокоуровневого признака на текущий момент. Подтверждение наличия признака проводится за счёт вероятностного вывода (распространения свидетельств), аналогичного выводу в байесовских сетях доверия. Построенная Хокинсом модель иерархической временной памяти (НТМ, Hierarchical temporal memory) хорошо решала задачи по моделированию восприятия, была применена в некоторых работах по распознаванию [34] и легла в основу нескольких коммерческих проектов (Grok, Sighthound и др. [35]). Несмотря на свою высокую перспективность, попыток дальнейшего развития модели для построения описания более сложных функций на данный момент предпринято не было.

Идея иерархической организации большого количества одинаковых достаточно простых базовых элементов используется практически во всех попытках построить нейрофизиологические модели когнитивных функций. Из отечественных работ здесь можно отметить исследования В. Я. Сергина [36–38], в которых вводится концепция объемлющих характеристик. Концептуальная модель Сергина предполагает наличие обратных связей в небольшом участке коры головного мозга, замкнутых на ту же область. Их наличие обеспечивает механизм процесса автоотождествления, который постулируется как основа всех когнитивных функций. Временные характеристики образующихся циклов на разных уровнях иерархии хорошо согласуются с экспериментом и могут объяснить некоторые психические феномены, однако математической модели в работах автора представлено не было.

Иерархия нейроподобных элементов встречается и в некоторых других отечественных работах. Так в [39, 40] делается попытка построить иерархию элементов, которые бы могли кодировать поступающие сигналы в некоторые семантические структуры с использованием обратных связей и «внутренних

экранов». В этих работах используются те же идеи повторного входа, однако, реальных экспериментов, моделирующих хотя бы простейшие когнитивные функции, представлено пока не было.

### 1.2.1. Теория глобального рабочего пространства

Одной из основных теорий, которая предлагает объяснение некоторым особенностям работы высших когнитивных функций и которая на данный момент является самой распространённой в европейских работах, является теория Баарса [30,41].

Центральной идеей в теории глобального рабочего пространства (ГРП, Global workspace) Баарса является тот факт, что содержание высших психических функций доступно всем более низкоуровневым психическим процессам, таким как внимание, мышление, память и речь (рис. 1.2, *a*). В связи с тем, что доступ к этому содержанию ограничен единственным потоком, теория ГРП естественным образом объясняет последовательную природу сознательного опыта.

Теория ГРП была изначально представлена в версии классной доски, когда отдельные, квази—независимые процессы сообщаются с центральным общедоступным ресурсом. Такая архитектура была впервые реализована в вычислительной модели взаимодействующих программных агентов С. Франклина (S. Franklin) и А. Грессера (A. Graesser) [42].

С. Дехане (S. Dehaene) с коллегами [31] предложили нейронную реализацию архитектуры глобального рабочего пространства, так называемое нейронное глобальное рабочее пространство (НГРП). Дехане, ссылаясь на нейрофизиологические данные о существовании стадии процесса восприятия с низкой пропускной способностью [43], постулирует общедоступность сигнала, поступающего с задних областей зрительной коры в НГРП и активирующего

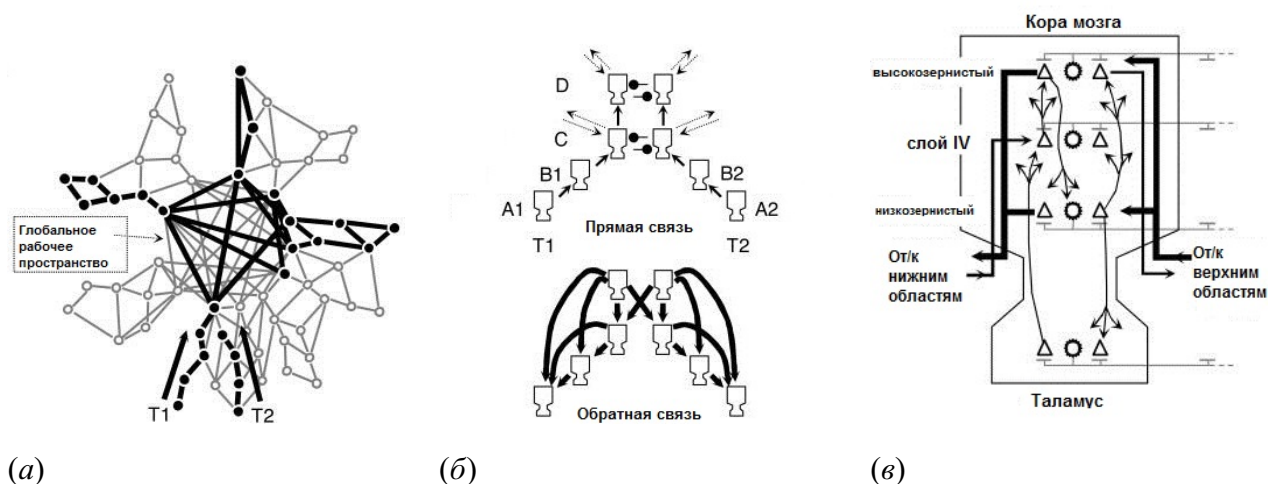


Рисунок 1.2. Реализация теорий глобального рабочего пространства в работе Дехане (источник [31]).

нейроны с длинными аксонами, распространяющими активность практически на всю кору. Возбуждённые нейроны подавляют активность остальных нейронов рабочего пространства, которые перестают обрабатывать поступающие сигналы.

В своей модели Дехане с коллегами использовали простейшие спайковые нейроны, выдающие спонтанную активность при превышении уровня деполяризации мембраны некоторого порога. Эти нейроны организованы в простые трёхслойные колонки соединённые с сетью таламуса, через которую поступает входной сигнал (рис. 1.2). Колонки в свою очередь связаны в иерархию, в которой присутствуют как близко действующие восходящие каналы распространения сенсорной информации, так и дальнodelствующиe нисходящие модулирующие связи, что согласуется с анатомическими и нейрофизиологическими данными [44, 45]. Первый тип связей реализуется с помощью AMPA—рецепторов, а второй — с помощью NMDA—рецепторов. Наиболее вероятен случай, когда глобальная активность обуславливается «резонансом» [46] между восходящей сенсорной информацией и нисходящим сигналом.

Для моделирования эффектов внимания (мигание внимания), была реализована простая четырёхуровневая иерархия, в которой конкурировали два

типа сигналов  $T_1$  и  $T_2$  (рис. 1.2, б), обрабатываемые невзаимодействующими параллельными перцептивными областями  $A_i$  и  $B_i$ . По достижении сигналами  $T_1$  и  $T_2$  ассоциативных областей  $C$  и  $D$  начинается конкуренция между ними за активизацию соответствующих колонок рабочего пространства.

Модель порогового спайкового нейрона (зависимость напряжения на мембране нейрона  $V$  от ёмкости мембраны  $C_m$  и силы тока по времени) задавалась следующей формулой:

$$C_m dV/dt = -g_{Leak}(V - V_{rest}) - I_{NaP} - I_{KS} - I_{GABA} - I_{AMPA} - I_{NMDA} - I_{SRA} - I_{input} - I_{neuromodul}, \quad (1.1)$$

где  $g_{Leak}$  означает ёмкость утечки, а  $I_x$  — соответствующие веществам и типам нейромедиаторов  $x$  токи,  $I_{SRA}$  — ток адаптации в спайковой модели,  $I_{input}$  — ток в момент подачи сигнала,  $I_{neuromodul}$  — суммарные нейромодулирующие токи. Каждая таламо—кортикальная колонка была представлена 80 активными нейронами и 40 тормозными, схема связей между которыми представлена на рис. 1.2, в.

Такая нейронная структура позволила Дехане с коллегами довольно успешно смоделировать известный психологический эффект мигания внимания [47], который заключается во временном прерывании процесса восприятия сигналов с сохранением их обработки на нижних уровнях. Идея временного подавления активности небольшого количества нейронов глобального пространства достаточно просто объясняет этот эффект. Подбор временных характеристик порогового уравнения поляризации мембраны нейрона позволяет достаточно точно повторить временные характеристики этого явления. Однако смещение акцентов на модель нейрона, а не на общие характеристики коры головного мозга является и основным препятствием для построения моделей более сложных эффектов и процессов в рамках этого подхода.



### 1.2.2. Иерархическая временная память

Смещение акцентов на рассмотрение общих свойств строения коры головного мозга было предпринято в работах Дж. Хокинса и Д. Георга (D. George) [33, 48]. Хокинс постулирует, что основным инструментом построения картины мира субъекта является кора головного мозга, которая имеет одинаковое колоночное строение во всех своих областях и использует пространственно—временную иерархию для хранения построенной модели действительности, так называемую временную иерархическую память (ИВП).

Хокинс предлагает моделировать работу неокортекса с помощью узлов, организованных в дерево и использующих один и тот же алгоритм обучения и вывода, за счёт которого происходит сохранение пространственных шаблонов и их последовательностей. Прямой выход каждого узла состоит из представления тех или иных активных в данный момент последовательностей. Пространственные шаблоны фиксируют совпадение во времени последовательностей дочерних узлов. Иерархия узлов организована таким образом, что узлы более высокого уровня хранят шаблоны, представляющие большие масштабы пространства и большие промежутки времени, чем узлы более низкого уровня.

Математическое описание ИВП дано Георгом в виде порождающей модели (рис. 1.3). Каждый узел  $N^i$  ( $i$  — индекс узла) иерархии содержит множество синхронных шаблонов  $c_1^i, c_2^i, \dots, c_{|C|}^i$  и множество марковских цепей  $g_1^i, g_2^i, \dots, g_{|G|}^i$ , где  $|C|$  — общее количество шаблонов в узле,  $|G|$  — общее количество марковских цепей в узле. Каждая марковская цепь  $g_k^i$  определена на подмножестве множества синхронных шаблонов этого узла. Например, марковская цепь  $g_1^{1,1}$  узла  $N^{1,1}$  состоит из 4 синхронных шаблонов:  $c_1^{1,1}, c_3^{1,1}, c_4^{1,1}$  и  $c_7^{1,1}$ . Синхронный шаблон  $c_j^i$  узла представляет одновременно активированные марковские цепи дочерних узлов. Например, шаблон  $c_1^{2,1}$  узла  $N^{2,1}$  на рис.



1.3 определяется двумя марковскими цепями  $g_1^{1,1}$  и  $g_2^{1,2}$  дочерних узлов  $N^{1,1}$  и  $N^{1,2}$  соответственно. Синхронный шаблон, который задаётся путём отбора марковской цепи в высокоуровневом узле, активирует свои составляющие марковские цепи низкоуровневых дочерних узлов. Для конкретного синхронного шаблона и марковской цепи, которая активна в высокоуровневом узле, задаются конкурирующие последовательности синхронных шаблонов путём отбора активированных марковских цепей дочерних узлов.

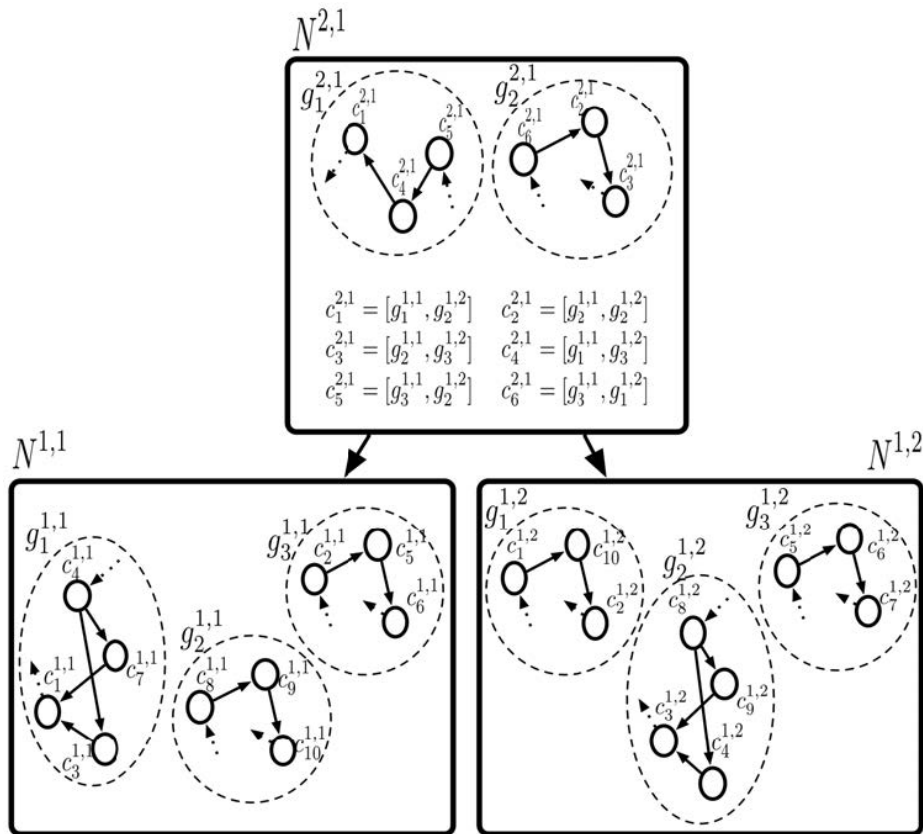


Рисунок 1.3. Порождающая модель ИВП. Приведена простая двухуровневая порождающая модель ИВП, состоящая из трёх узлов (источник [33]).

Процесс обучения ИВП на пространственно—временных данных представляет собой процесс построения синхронных шаблонов и марковских цепей в каждом узле на каждом уровне иерархии. Базовый алгоритм обучения состоит из двух операций:

- сохранение некоторого фиксированного количества случайно выбранных генерируемых синхронных шаблонов,

- построение набора марковских цепей на множестве синхронных шаблонов путём обучения достаточно большой матрицы переходов.

В дальнейшем примере будет рассматриваться только тот случай, когда в один и тот же момент времени активен только один шаблон, хотя в работе авторов были реализованы и тот случай, когда активировалось определённое разреженное количество шаблонов.

Механизм вывода в сети ИВП основывается на распространении нового факта из одного узла сети вверх на все остальные. Распространение нового факта приводит к обновлению состояний узлов. Информация также распространяется и вниз по иерархии, обеспечивая механизмы внимания, сегментации и заполнения пропущенных фрагментов. В качестве алгоритма, реализующего вывод, Хокинсом был выбран алгоритм байесовского распространения степени уверенности.

В общем случае, сигнал, пришедший в узел ИВП с нижнего уровня, представляет функцию доверия на множестве дочерних марковских цепей. Данный узел преобразует этот сигнал в собственную функцию доверия на множестве своих синхронных шаблонов. Основываясь на истории полученных ранее сигналов, он вычисляет уровень доверия для каждой своей марковской цепи. Формируемый таким образом сигнал передаётся далее вверх по иерархии. В обратном направлении узел получает от родительских узлов функцию доверия на множестве своих марковских цепей. Далее марковские цепи шаг за шагом «разворачиваются» с целью вычисления нисходящего распределения вероятности на множестве синхронных шаблонов. Исходя из этого вычисляется функция уровня доверия узла на множестве дочерних марковских цепей. Формируемый таким образом сигнал передаётся дочерним узлам.

В качестве примера в работе авторов приводится узел, содержащий 5 синхронных шаблонов и 2 марковские цепи (рис. 1.4, *a*). Вероятностная матрица переходов марковской цепи  $g_r$  обозначается как  $P(c_i(t)|c_j(t-1), g_r)$ .

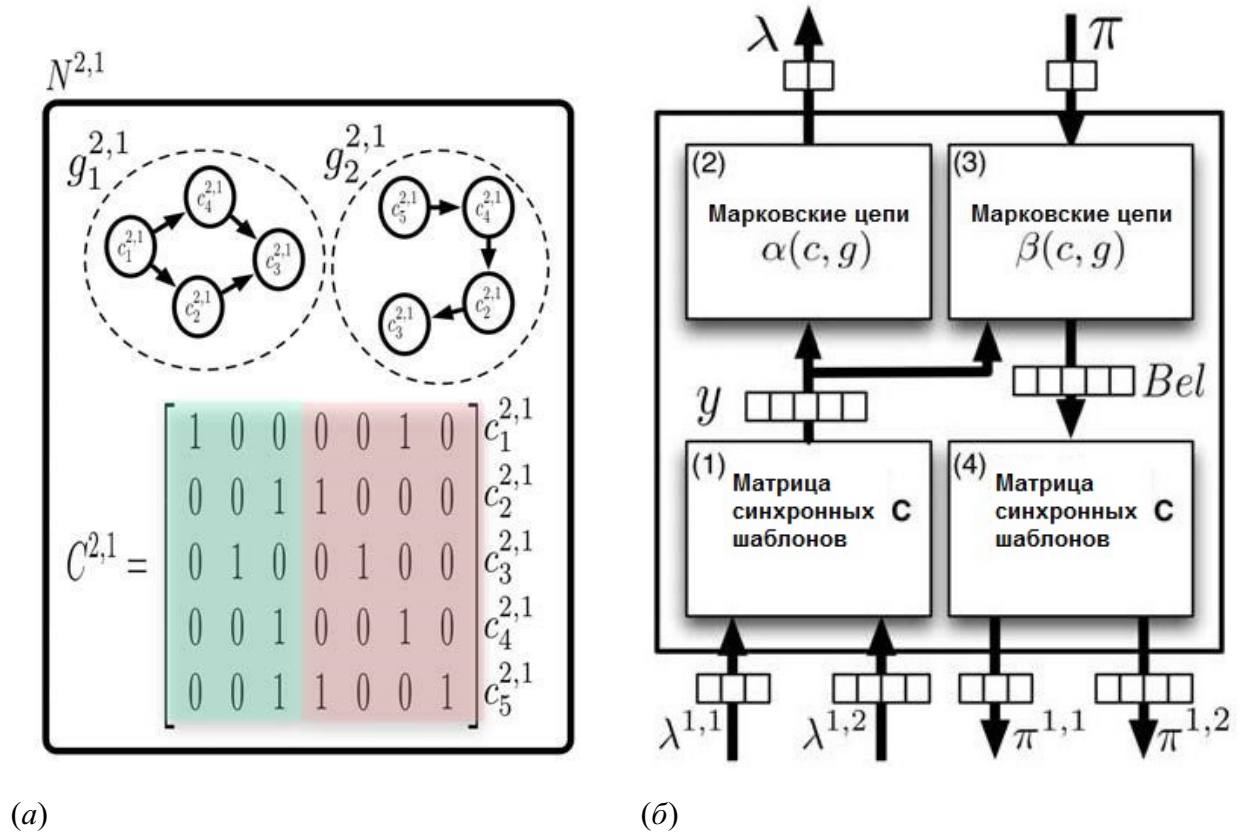


Рисунок 1.4. Структура узла ИВП, входные и выходные данные узла (источник [33]).

Как было сказано ранее, каждый узел получает на вход сигнал от дочерних узлов ( $\lambda^{child\ index}$ ) и отправляет сигналы родительским узлам ( $\lambda$ ). В обратном направлении, узел получает сигналы от родительских узлов ( $\pi$ ) и отправляет обратные сигналы дочерним узлам ( $\pi^{child\ index}$ ). Поступивший в момент времени  $t$  с нижнего уровня факт обозначается  $^-e_t$ , а с верхних уровней —  $^+e_t$ .

Итоговая восходящая вероятность синхронного шаблона  $c_i$  в момент времени  $t$  вычисляется как произведение тех частей сообщения, которые соответствуют этому шаблону:

$$y_t(i) = P(^-e_t | c_i(t)) \propto \prod_{j=1}^M \lambda_t^{m_j}(r_i^{m_j}), \quad (1.2)$$

где  $r_i^{m_j}$  обозначает номер марковской цепи  $j$ -го дочернего узла. Восходящая вероятность марковской цепи  $g_r$  в момент времени  $t$  вычисляется через

специальную переменную состояния  $\alpha$ :

$$\begin{aligned}\lambda_t(g_r) &= P(^-e_0^t | g_r(t)) = \sum_{c_t(t) \in C^k} \alpha_t(c_i, g_r), \\ \alpha_t(c_i, g_r) &= P(^-e_t | c_i(t)) \sum_{c_j(t-1) \in C^k} P(c_i(t) | c_j(t-1), g_r) \alpha_{t-1}(c_j, g_r), \\ \alpha_0(c_i, g_r) &= P(^-e_0 | c_i(t=0)) P(c_i(t=0) | g_r),\end{aligned}\tag{1.3}$$

где символом  $^-e_0^t$  обозначена последовательность входных сигналов с момента времени 0 по момент времени  $t$ . Последовательность вычисления  $\alpha$  представляет из себя процесс обновления переменной динамического программирования.

Степень уверенность для синхронного шаблона  $c_i$  вычисляется с помощью сообщений от родительских узлов и с использованием переменной состояния  $\beta$ :

$$\begin{aligned}Bel_t(c_i) &\propto \sum_{g_r \in G^k} \beta_t(c_i, g_r), \\ \beta_t(c_i, g_r) &= P(^-e_t | c_i(t)) \sum_{c_j(t-1) \in C^k} P(c_i(t) | c_j(t-1), g_r) \beta_{t-1}(c_j, g_r), \\ \beta_0(c_i, g_r) &= P(^-e_0 | c_i(t=0)) P(c_i | g_r) \pi_0(g_r).\end{aligned}\tag{1.4}$$

В свою очередь, посылаемый дочерним узлам сигнал вычисляется как

$$\pi^{m_j}(g_r) \propto \sum_i I(c_i) Bel(c_i),\tag{1.5}$$

где

$$I(c_i) = \begin{cases} 1, & \text{если } g_r^{m_i} \text{ — часть шаблона } c_i, \\ 0, & \text{в противном случае.} \end{cases}\tag{1.6}$$

В модели Хокинса собраны практически все существенные для построения картины мира принципы, однако математическое описание с использованием марковских цепей оказывается слишком громоздким, чтобы можно было изучать какие-либо математические свойства узлов и их иерархий. Идея с матричным представлением, которая и используется в программной реализации ИВП выглядит более перспективной.

### 1.2.3. Выводы параграфа 1.2

В большом количестве работ нейрофизиологов, посвящённых построению нейронных моделей тех или иных психических процессов, можно выделить следующие основные свойства «физиологической реализации» КМ:

- существуют ансамбли нейронов одинаковой структуры, являющиеся элементарными ячейками для описания процессов, протекающих в коре головного мозга (колонки неокортекса),
- колонки организованы в иерархию, обладающую обратными связями,
- колонки хранят в себе пространственно—временные шаблоны, нарабатываемые с течением времени.

## 1.3. Прикладная семиотика

Среди всех исследований, заложивших основы построения моделей картин мира, следует отметить отечественное направление в искусственном интеллекте появившееся в конце 90 гг. XX в. благодаря работам Д. А. Поспелова, А. М. Мейстеля, Г. С. Осипова и др. [49–55]. Данное направление получило название прикладная семиотика и уходило корнями в первые семиотические модели конца 60 гг. [56]. Основная идея этого направления заключалась в использовании знакового описания когнитивных процессов, картины мира, для построения интеллектуальных систем представления знаний. Знак при этом определялся как исходный элемент любой семиотической системы и включал в себя три аспекта:

- имя знака или синтаксический аспект знака,
- содержание знака или семантический аспект знака,

- назначение знака или прагматический аспект знака.

Данное определение хорошо реализуется в виде фреймовой структуры, в которой имя фрейма соответствует имени знака, имена обычных слотов, связанные с ними ограничения, условия, области определения значений — содержанию знака, а слоты, содержащие в качестве значений имена присоединённых процедур — назначению знака [52].

Одной из основных задач, формулируемых в прикладной семиотике была задача изучения природы и свойств отношений моделирования, которые возникают между системой знаков и той областью реального мира, которая с помощью неё описывается. Объектами изучения прикладной семиотики являются не знаки и знаковые системы сами по себе, а их применение в системах представления знаний при решении различных практических задач.

Введение понятия семиотической системы, в которой состояния соответствуют фиксированным формальным системам, а смена состояний определяется изменением договорённостей об аспектах знака, позволяет моделировать процессы, протекающие в открытых, динамических системах. При этом под сменой состояния подразумевается изменение параметров формальной системы: аксиом, правил вывода, стратегий поиска решений и т.д. Всё вышесказанное формализуется следующим определением [54].

**Определение 1.** *Семиотической системой  $W$  называется упорядоченная восьмёрка множеств:*

$$W = \langle T, R, A, P, \tau, \rho, \alpha, \pi \rangle, \quad (1.7)$$

где  $T$  — множество основных символов,  $R$  — множество синтаксических правил,  $A$  — множество знаний о предметной области,  $P$  — множество правил вывода решений (прагматических правил),  $\tau$  — правила изменения множества  $T$ ,  $\rho$  — правила изменения множества  $R$ ,  $\alpha$  — правила изменения множества  $A$ ,  $\pi$  — правила изменения множества  $P$ .

Именно в семиотике, в том числе прикладной, были сформулированы первые схемы образования нового знака. Приведём такую схему в случае моделирования знака с помощью треугольника Фреге (рис. 1.5) [57, 58]. В реальном мире имеются такие сущность как объекты, процессы, все они называются денотатами. В результате отражения этих сущностей в сознании субъекта возникает представление о денотатах. При этом представление — это интегрированный образ (в психологии — гештальт), скрывает за собой денотат, делая его недоступным непосредственно.

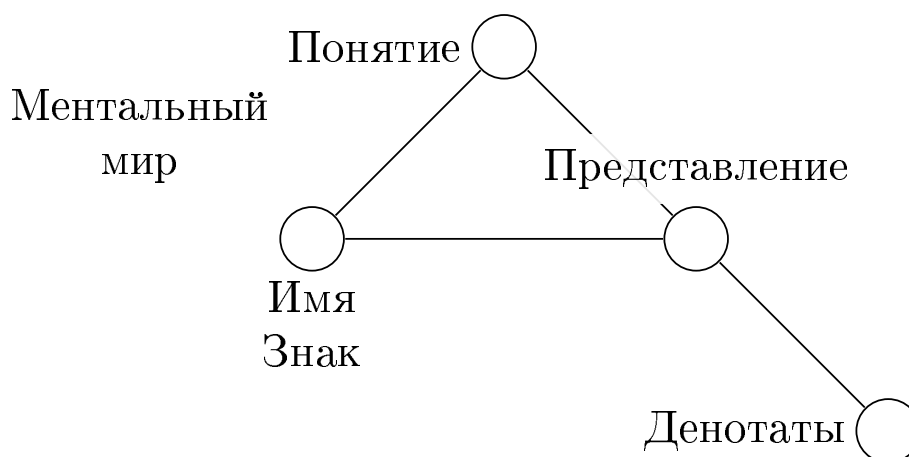


Рисунок 1.5. Треугольник Фреге.

Сталкиваясь с различными денотатами, человек накапливает определённую информацию о них. Некоторые из них он не различает, считая их проявлением одной и той же сущности, другие чем-то отличаются друг от друга. Для реализации такого различения и вводятся специфические имена, связанные с представлениями о том или ином виде сущности. На основе врождённой у человека процедуры выявления сходства—различия формируется и понятие о сущностях с данным именем.

Таким образом, наблюдение за единичным экземпляром сущности вызывает необходимость сформировать процедуру её узнавания, дать ей имя, а затем сформировать обобщённое представление об этой сущности (понятие). Со связями между именем, представлением и понятием ассоциированы процедуры, характерные для мышления человека.

Связь «имя — понятие» позволяет с одной стороны активизировать в памяти все сведения о свойствах данной сущности, а с другой, действуя в обратном направлении, позволяет по имплицитному описанию определить имя сущности. Связь «представление — понятие» позволяет по представлению сущности найти информацию о её свойствах и наоборот. Наконец, связь «имя — представление» необходима для соотнесения представления о денатате с его именем, примером работы которой могут служить алгоритмы распознавания образов.

В прикладной семиотике даётся и первое определение знака, позволяющее использовать его для построения моделей картины мира субъекта.

**Определение 2.** *Информационная единица, структурой которой является треугольник Фреге, где вершины отождествляются с именем, понятием и представлением, называется знаком.*

Компоненты знака могут иметь свою, достаточно сложную, структуру. Так, знак может содержать информацию о связях наследования, при этом множество знаков с отношениями наследования образуют иерархическую структуру. При этом типов отношений наследования может быть несколько: «элемент — класс», «часть — целое», «вид — род» — отличающихся тем, какие свойства наследуются. Таким образом, в прикладной семиотике впервые описываются отношения на множестве знаков и их свойства. Кроме отношения наследования в прикладной семиотике вводятся и горизонтальные типы отношений, например отношение «причина — следствие». Система знаков с иерархическими и одноуровневыми отношениями называется *семиотической сетью*, в которой каждая вершина может быть в свою очередь сетью.

Важным понятием, которое вводится в прикладной семиотике, является понятие активности сети знаков (по аналогии с понятием активности баз знаний С. К. Дулина [59]). На семиотической сети специальными процедурами определяются те её участки, для которых имеется некоторое «напряжение», т. е.



существует диссонанс. При задании некоторой меры такой рассогласованности и при достижении её критического уровня, запускаются отдельные процедуры по устранению диссонанса. Для их активации вводится специальный тип знаков, *метазнаки*, у которых денотатами служат определённые фрагменты сети знаков. Формируется так называемый метауровень описания.

С введением метауровня треугольник Фреге превращается в более сложную структуру, называемую квадратом Пospelова [53] (рис. 1.6). Первая вершина квадрата определяет синтаксис, или способ кодирования знака, вторая — семантику, или понятие о знаке, третья соответствует прагматике — тем процедурам, которые связаны с этим знаком. Новая, четвёртая вершина соответствует фрагменту некоторой структуры на множестве знаков и играет роль денотата метазнака. Стороны квадрата и его диагональ соответствуют различным процедурам, связывающим компоненты знака.

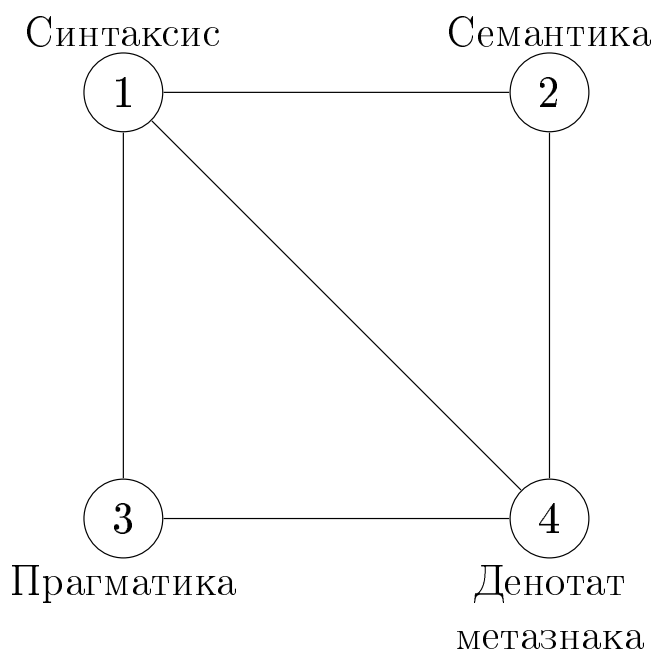


Рисунок 1.6. Квадрат Пospelова.

Наличие метауровня позволяет ввести внутреннюю интерпретируемость, а также снабжает знаковые системы свойством рефлексии, что является ключевым моментом на пути моделирования высших когнитивных функций, протекающих в картине мира субъекта деятельности.

## 1.4. Выводы

Несмотря на большое количество имеющихся работ, в самых различных областях знаний, таких как психология, нейрофизиология, семиотика, искусственный интеллект, единого описания модели высших психических функций и процессов, протекающих в картине мира субъекта, выполнено не было. Однако были сформулированы базовые принципы, на которых должна строиться такая единая модель. К таким принципам и свойствам относятся: иерархичность строения и протекающих в КМ процессов, активность КМ, существование элементарной единицы КМ, кодирование пространственно—временных шаблонов, наличие обратных связей.

Из анализа проведённых исследований в данном направлении можно сделать вывод, что базовым элементом модели картины мира должен служить знак, строение которого на внешнем, синтаксическом уровне, задаётся в рамках психологических данных и теорий психических функций, а строение на внутреннем, семантическом уровне, согласуется с нейрофизиологическими данными о строении коры головного мозга человека.

## Глава 2

# Модель картины мира.

## Синтаксический уровень

По представлениям психологов [60, 61] когнитивные функции субъекта, носителя картины мира, работают в двух «режимах»: биологическом и культурном. В первом режиме базовой отправной точкой работы психики является сигнал — абиотический стимул, используемый субъектом как указатель на определённый биотический стимул, при этом психические функции работают на распознавание биологически значимой ситуации удовлетворения некоторой потребности (физиологической или социальной). Во втором режиме определяющую роль играет знак — материальный объект, его свойство или некоторое явление, используемые субъектом как указатель на смысл события, т.е. на собственное желание или желание другого. Знак в этом случае связывает природное и культурное явления, а психические функции работают над задачей понимания сообщения. В данной главе будет рассмотрен внешний, синтаксический уровень модели картины мира, в которой когнитивные функции выполняются именно в знаковом, культурном «режиме».

### 2.1. Знак—базовый элемент картины мира

По А.Н. Леонтьеву [19] представление каждого объекта или процесса в картине мира включает три компоненты: *образ* явления, его *значение* и

*личностные смыслы* субъекта, связанные с этим явлением. Для краткости далее вместо словосочетания представление каждого явления в картине мира будет использоваться словосочетание элемент картины мира.

Образ явления представляет собой процедуру обнаружения и отделения этого явления от других, которая реализуется либо низкоуровневыми физиологическими механизмами восприятия, либо высокоуровневыми действиями, требующими специального предварительного акта планирования. Значение представляет собой выработанные в рамках культурно-исторического процесса коллективом, которому принадлежит данный субъект, общепринятые способы использования данного явления в деятельности субъекта, в том числе наборы ситуаций с участием данного явления, в которых принято совершать определённые действия. Наконец, личностный смысл определяет отношение данного явления к той или иной потребности субъекта, которая может быть удовлетворена с помощью набора действий, определяемым самим субъектом на основе своего опыта.

Образ потенциального элемента картины мира, его значение и смыслы могут не связываться в единое целое, и тогда не происходит формирования (в филогенезе) или актуализации (в микрогенезе) знака. В таком случае психическое отражение фиксирует для субъекта не личностный, а *биологический смысл* объекта, не образ мышления, но образ восприятия (*перцепт*), и *функциональное значение* объекта в решаемой задаче вместо значения, выработанного в ходе общественно-исторической практики. Такое внезапное отражение реальности позволяет осуществлять лишь «парные» переходы между двумя компонентами знания о явлении:

- от перцепта к функциональному значению — выбор способа использования конкретного объекта,
- от функционального значения к биологическому смыслу — выбор «цели» для конкретного действия,

- от биологического смысла к перцепту — выбор конкретного объекта, удовлетворяющего заданным критериям.

Поскольку три аспекта знания об объекте связаны в этом случае лишь парными зависимостями, то нужен «внешний наблюдатель», чтобы увидеть, что это три компоненты отражения одного явления реального мира [60].

До момента связывания в знак три компоненты будем называть перцептом, биологическим смыслом и функциональным значением соответственно. Связывание упомянутых трёх компонент в единую структуру позволяет перейти к рассмотрению явления как целостного и существующего независимо от текущего состояния действующего субъекта. Такое связывание становится возможным благодаря именованию возникающей структуры, что приводит к конструкции, называемой *знаком*. При этом знак и его компоненты становятся элементами *языковой системы*, т. е. осуществляется включение знака в картину мира субъекта (чего не происходит без именования). Сам объект приобретает при этом устойчивое и общепринятое значение, личный опыт действия с ним отражается в личностном смысле как компоненте знака, а событие восприятия объекта, представляющее собой в простейшем случае отражение в симультанном «рисунке» процедуры воспроизведения свойств объекта моторикой воспринимающего органа, фиксируется как образ явления.

## 2.2. Процесс формирование нового знака

Следуя [6] приведём схему процесса формирования (актуализации) знака.

0. Локализация явления. Происходит это в пространстве, в котором наряду с четырьмя измерениями физического пространства—времени существует пятое квази—измерение — измерение значений [62]. При этом субъект определяет положение явления относительно самого себя. Это значит, что

он должен реализовывать функцию самосознания (рефлексию), знать свои «координаты» в этом пространстве, т. е. пребывать, как говорят психиатры, в состоянии ясного сознания (уметь определить не только физические, но и социальные параметры самого себя и ситуации, в которой он оказался).

1. Формирование перцепта. Основано на работе процедуры воспроизведения свойств явления моторикой воспринимающего органа (для живых существ) или на обработке методами распознавания образов информации, снимаемой с датчиков (для искусственных систем).
2. Порождение на основе прошлого опыта или на основе прецедентов в виде множества пар «перцепт — функциональное значение» и сформированного на шаге 1 перцепта — функционального значения явления.
3. Оценка специальным механизмом степени близости функционального значения, полученного на стадии 2 к функциональному значению, полученному на стадии 0; в случае недостаточной близости — переход к шагу 1 и продолжение формирования перцепта (в психологии сенсорно—перцептивных процессов этот механизм получил название «сенсорная уверенность»).
4. Стадии 1–3 выполняются до получения степени близости, достаточной с точки зрения специального механизма, упомянутого на шаге 3.
5. Получение субъектом из культурной среды, аккумулированной в системе естественного языка, пары «имя знака — значение» и оценка специальным механизмом степени близости функционального значения, построенного на стадии 4 к значению, полученному из культурной среды; в случае недостаточной близости — переход к шагу 1 и продолжение формирования перцепта.

6. Связывание имени из пары «имя знака — значение» с перцептом, построенным после завершения выполнения шагов 1–5. С этого момента перцепт превращается в образ.
7. Формирование личностных смыслов знака на основе прецедентов действий с явлением.
8. Связывание имени из пары «имя знака — значение» со сформированным личностным смыслом. С этого момента функциональное значение превращается в значение, а биологический смысл — в личностный смысл.
9. Продолжение отображения «биологический смысл — перцепт» включением в область определения отображения личностного смысла, полученного в предыдущем пункте, а в область значений — образа из шага 6.

В результате образован знак, соответствующий явлению. При этом следует отметить, что в следствие шага 2 формирование знака вне культурной среды невозможно. Далее будет дано уточнение приведённой схеме.

### 2.2.1. Компоненты знака и процедуры связывания

Итак, пусть:

- $A$  — множество смыслов (как личностных, так и биологических),
- $M$  — множество значений,
- $P$  — множество признаков объектов.

Тогда:

- $a \subseteq A$  — подмножество множества личностных смыслов (возможно пустое),
- $m \subseteq M$  — подмножество множества значений (функциональное либо культурно—историческое),

- $p \subseteq P$  — подмножество множества признаков (перцепт либо образ) (рис. 2.1).

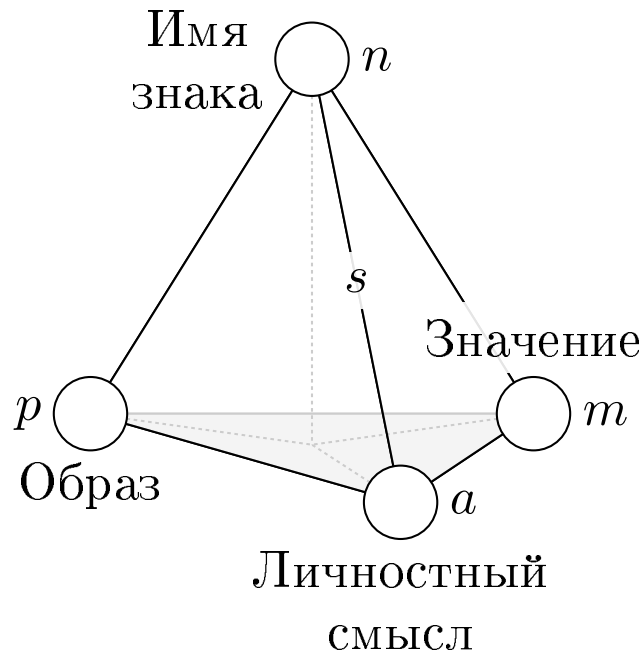


Рисунок 2.1. Знак и его структура.

Переходы от множества признаков к его различным подмножествам реализуются благодаря наличию у субъекта действия встроенных процедур распознавания образов. Процесс формирования знака начинается с работы именно этих процедур. Благодаря им происходит переход от универсального множества свойств к его подмножеству, представляющему рассматриваемое явление и отделяющему его от остальных. На первом этапе формирования знака этот процесс приводит к формированию образа восприятия или перцепта. На внутреннем или семантическом уровне построению перцепта соответствует последовательное применение некоторого множества процедур распознавания образов, чему посвящён параграф 3.1.

Что касается значения  $t$ , то на первом этапе формирования знака подмножества  $t$  из суть функциональные назначения предмета, т.е. способы его использования, далее превращающиеся в значения. Итерационная процедура формирования функционального значения подробно описана в параграфе 3.2.



Подмножество множества личностных смыслов возникает благодаря опыту действованию с предметом. Всякое подмножество личностных смыслов  $\alpha$  будем интерпретировать как множество таких действий с предметом, соответствующим знаку, которые некоторым специальным механизмом оценены как успешные. Этот «специальный» механизм есть одна из процедур самосознания и в данной работе подробно не рассматривается. Формирование личностного смысла осуществляется на основе прецедентов.

Введём далее отображения связывания. Заметим, что эти отображения являются частичными функциями из булеанов  $P$ ,  $M$  и в булеаны  $\alpha$ ,  $\beta$  и соответственно. Наша цель — продемонстрировать, каким образом эти отображения строятся субъектом деятельности. Разумеется, будем полагать, что субъект уже обладает минимальным опытом, т.е. ранее выполнял какие-то действия.

Первое из таких отображений  $\Psi_p^m : 2^P \rightarrow 2^M$  — процедура связывания образа (или перцепта)  $p$  с (функциональным) значением  $m$  так, что  $\Psi_p^m(p^{(i)}) = m^{(i)}$ , где  $p^{(i)} \in 2^P$ ,  $m^{(i)} \in 2^M$ ,  $2^P$  и  $2^M$  — булеаны  $P$  и  $M$  соответственно.

Второе отображение  $\Psi_m^a : 2^M \rightarrow 2^A$  связывает значения (или функциональные значения) с личностными (или биологическими) смыслами таким образом, что  $\Psi_m^a(m^{(i)}) = a^{(i)}$ , где  $m^{(i)} \in 2^M$ ,  $a^{(i)} \in 2^A$ ,  $2^A$  — булеан  $A$ . Отображение  $\Psi_a^p : 2^A \rightarrow 2^P$  связывает личностные (или биологические) смыслы с образом (перцептом) так, что  $\Psi_a^p(a^{(i)}) = p^{(i+1)}$ , где  $a^{(i)} \in 2^A$ ,  $p^{(i+1)} \in 2^P$ .

Все перечисленные выше процедуры являются итерационными (верхние индексы в скобках соответствуют номеру итерации). Действуя на основе приведённой в начале настоящего параграфа схемы рассмотрим стадии формирования знака предмета в микрогенезе или стадии актуализации знака.

### 2.2.2. Формирование функционального значения и образа восприятия

Как было сказано выше, считается, что субъект обладает некоторым опытом действований, который зафиксирован, в частности, в прецедентах (примерах) применения отображения  $\Psi_p^m : 2^P \rightarrow 2^M$ . Будем считать, что множество прецедентов есть множество упорядоченных пар вида  $\langle p, m \rangle$  таких, что  $\Psi_p^m(p^{(i)}) = m^{(i)}$ , где  $p^{(i)} \in 2^P$ ,  $m^{(i)} \in 2^M$ .

Применим для описания процесса формирования перцепта и функционального значения элементарные топологические соображения. Заметим, что  $(P, T_P)$  и  $(M, T_M)$  суть дискретные топологические пространства с топологиями  $T_P = 2^P$  и  $T_M = 2^M$  соответственно. Тогда отображение  $\Psi_p^m : 2^P \rightarrow 2^M$  есть отображение топологического пространства  $(P, T_P)$  в топологическое пространство  $(M, T_M)$ . Пусть  $N = \langle i_1, i_2, \dots, i_n \rangle$  — последовательность итераций отображения  $\Psi_p^m$  топологического пространства  $(P, T_P)$  в топологическое пространство  $(M, T_M)$ . Тогда бинарное отношение  $\geq$  является направлением на  $N$ , а  $(\Psi_p^m|N, \geq)$  — последовательностью по направленному множеству  $N$ . Поскольку  $\Psi_p^m(p^{(i)}) = m^{(i)}$ , где  $m^{(i)} \in (M, T_M)$ , то  $\Psi_p^m$  — направленность в .

Пусть  $m$  — некоторая точка в пространстве  $(M, T_M)$ ,  $\sigma$  — система окрестностей точки  $m$ . В результате применения отображения  $\Psi_p^p$  (т.е. отображения, обратного  $\Psi_p^m$ ) возникает некоторый начальный перцепт  $p^{(0)}$ .

В результате работы механизмов распознавания образов (рассмотрение которых здесь опущено) в  $(P, T_P)$  формируется перцепт  $p^{(1)}$ . Отображение  $\Psi_p^m$  ставит ему в соответствие функциональное значение  $m^{(1)}$  из  $(M, T_M)$ .

Далее возможны три случая:

- 1)  $m^{(1)} = m$ ,

$$2) m^{(1)} \notin \sigma,$$

$$3) m^{(1)} \in \sigma.$$

Начнём со случая 2. Для большей определённости допустим, что  $p^{(1)}$  — одноэлементное множество. Тогда если  $m^{(1)} \notin \sigma$ , то следует выбрать, вообще говоря, другое одноэлементное множество  $p^{(2)}$  и вновь применить отображение  $\Psi_p^m(p^{(2)}) = m^{(2)}$ . Содержательно это означает, что признак  $p^{(1)}$  был выбран неудачно и не являлся существенным. С точки зрения распознавания образов требуется настройка процедур распознавания. Этот процесс продолжается до тех пор, пока не будет получен случай 3.

В случае 3 имеет место следующее: тогда и только тогда, когда, начиная с некоторого  $k$ , последовательность  $(\Psi_p^m, \geq)$  по направленному множеству  $(\Psi_p^m|N, \geq)$  остаётся в окрестности  $\sigma$  точки  $m$ , тогда она сходится к точке  $m$ . Однако топология  $(M, T_M)$  является дискретной, в которой любое множество открыто; тогда из того, что  $m$  — предел последовательности  $(\Psi_p^m, \geq)$ , следует, что  $m^{(i)} = m$ , начиная с некоторого  $k$ . Этим исчерпывается и случай 1. Следовательно,  $p^{(i)} = (\Psi_p^m)^{-1}(m) = \Psi_m^p(m)$ .

Далее в соответствии с приведённой схемой субъект получает из внешней культурно—исторической среды пару «имя — значение» —  $\langle n, m^0 \rangle$ . Пусть  $\sigma^0$  — система окрестностей точки  $m^0$  в  $(M, T_M)$ . Тогда вновь следует рассмотреть три случая:

$$1) m = m^0,$$

$$2) m \notin \sigma^0,$$

$$3) m \in \sigma^0.$$

Если  $m \notin \sigma^0$ , то необходимо вновь применить процедуры распознавания и отображение  $\Psi_p^m$  до тех пор, пока не будет получен случай 3. Остаётся только использовать приведённые в предыдущем абзаце соображения, заменив  $\sigma$  на  $\sigma^0$ ,

а  $m$  — на  $m^0$ . Завершается эта стадия монотонным продолжением функции  $\Psi_p^m$  на множество  $\{\langle p^{(i)}, m^0 \rangle\}$ .

### 2.2.3. Именованное

Будем рассматривать процедуру получения из внешней среды пары  $\langle n, m \rangle$  как функцию  $\mathfrak{M}(n)$ , выдающую по имени  $n$  значение  $m$ . Тогда  $(\Psi_p^m)^{-1}(\mathfrak{M}(n))$  есть функция, присваивающая имя  $n$  перцепту  $p'$ . Обозначим ее через  $\mathfrak{P}(n)$ . Иначе говоря,  $\mathfrak{P}(n)$  есть функция именования перцепта. С получением имени  $n$  перцепт  $p'$  превращается в образ  $p$ . На следующем шаге выполняется именование биологических смыслов и тем самым — трансформация их в личностные смыслы.

Множество личностных смыслов, как было замечено выше, формируется на основе опыта действий субъекта деятельности с предметом, соответствующим рассматриваемому знаку, и оценки успешности этих действий с помощью механизмов самосознания. Для определённости будем полагать, что этот опыт зафиксирован в отображении  $a = \Psi_m^a(m)$ , т.е. в виде пары  $\langle m, a \rangle$ . Тогда функция  $\mathfrak{A}(n)$  именования биологического смысла  $a'$  будет иметь следующий вид:  $\mathfrak{A}(n) = \Psi_m^a(\mathfrak{M}(n))$ . Биологический смысл  $a'$  становится личностным смыслом  $a$  (рис. 2.2). Завершается этот процесс монотонным продолжением функции  $\Psi_a^p$  на множество  $\{a\}$ .

Легко видеть, что имеют место следующие факты.

**Утверждение 1.** Если  $s$  — знак,  $p$ ,  $m$ ,  $a$  — его образ, значение и личностный смысл, соответственно, то тройка  $\langle p, m, a \rangle$  есть неподвижная точка оператора  $\Psi_a^p \Psi_m^a \Psi_p^m$ .

**Доказательство.** Действительно, если  $n$  — имя знака  $s$ , то тогда значениями функций именования  $\mathfrak{P}$ ,  $\mathfrak{M}$  и  $\mathfrak{A}$  в точке  $n$  являются соответствующие компоненты знака. В этом случае из определения процедур связывания следует,

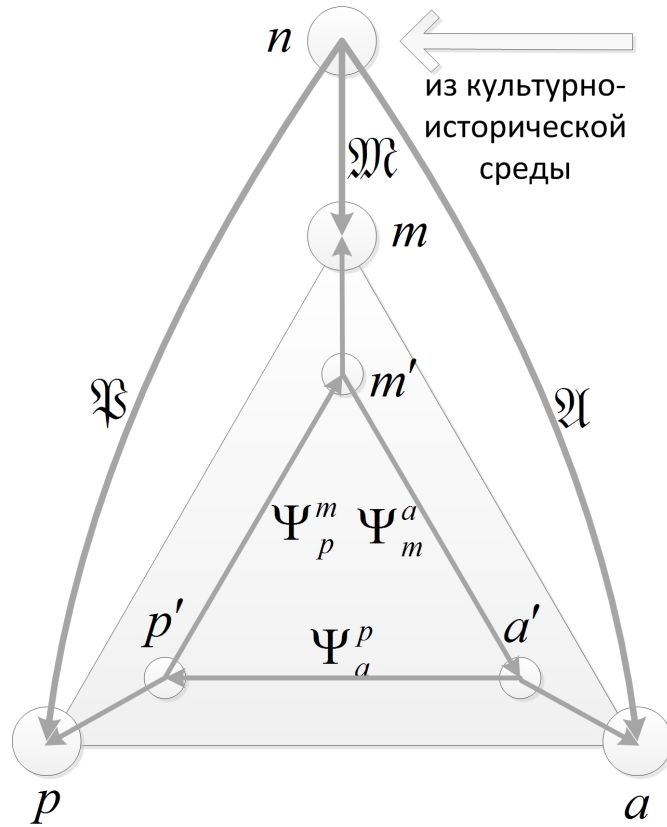


Рисунок 2.2. Процедуры связывания компонент знака и функция именования.

что  $\Psi_p^m(\mathfrak{P}(n)) = \mathfrak{M}(n)$ ,  $\Psi_m^a(\mathfrak{M}(n)) = \mathfrak{A}(n)$  и  $\Psi_a^p(\mathfrak{A}(n)) = \mathfrak{P}(n)$ . Рассмотрим пространство  $Z$ , в котором каждая точка  $z_i$  представлена тройкой  $\langle p_i, m_i, a_i \rangle$ . В этом пространстве действие операторов  $\Psi_x^y$ ,  $x, y \in \{p, m, a\}$ , является поординатным преобразованием точки, т.е. применение, к примеру, оператора  $\Psi_p^m$  к точке  $z_i = \langle p_i, m_i, a_i \rangle$  означает преобразование второй координаты таким образом, что в результирующей точке  $z'_i = \langle p_i, m'_i, a_i \rangle$   $m'_i = \Psi_p^m(p_i)$ . Тогда последовательное поординатное применение операторов  $\Psi_a^p$ ,  $\Psi_m^a$ ,  $\Psi_p^m$  к точке  $\langle p, m, a \rangle$ , для которой существуют указанные выше функции именования, не приведёт к изменению её координат, т.е.  $\Psi_a^p \Psi_m^a \Psi_p^m(\langle p, m, a \rangle) = \langle p, m, a \rangle$ , что и требовалось доказать. ■

**Утверждение 2.** Если  $s$  — знак, то  $\Psi_m^a \Psi_p^m \Psi_a^p$ ,  $\Psi_a^p \Psi_m^a \Psi_p^m$  и  $\Psi_p^m \Psi_a^p \Psi_m^a$  — тождественные операторы.

**Доказательство.** Так как задан знак со своими компонентами, то выполняется условие утверждения 1 и действие оператора  $\Psi_a^p \Psi_m^a \Psi_p^m$  можно записать

следующим образом:  $p = \Psi_a^p(a) = \Psi_a^p(\Psi_m^a(m)) = \Psi_a^p(\Psi_m^a(\Psi_p^m(p)))$ , что и означает тождественность данного оператора. Аналогичным образом выписывается тождественность остальных операторов. ■

**Утверждение 3.** Если  $s$  — знак, то  $\Psi_p^m(\mathfrak{P}(n)) = \mathfrak{M}(n)$ ,  $\Psi_m^a \Psi_p^m(\mathfrak{P}(n)) = \mathfrak{A}(n)$ .

**Доказательство.** Данные тождества следуют из доказательства утверждения 1. ■

Подобным образом выписываются ещё шесть фактов такого рода.

## 2.3. Отношения и процедуры самоорганизации

Рассмотрим структуры, которые могут возникать на множестве знаков как результат их самоорганизации. Моделирование самоорганизации в картине мира позволяет операционализировать представления об «активности знаний» [55], сформировавшееся в искусственном интеллекте под влиянием предложенной Л. Фестингером в 1956 г. концепции побуждающей роли знаний в поведении человека. Согласно Л. Фестингеру, знания не просто накапливаются и используются субъектом — знания живут своей жизнью, вступают в отношения, образуют то гармоничные, согласованные системы представлений, то оказываются втянуты в конфликты и противопоставляются друг другу. Последний случай, случай рассогласования в знаниях, и выступает как побуждающая поведение сила: «...взгляды и установки имеют свойство объединяться в систему, характеризующуюся согласованностью входящих в неё элементов ... существование противоречивых отношений между отдельными элементами в системе знаний, само по себе является мотивирующим фактором» [63].

### 2.3.1. Отношения и операции на множестве образов

Пусть  $S = \{s_1, s_2, \dots, s_k\}$  — множество знаков,  $p = (x_1, x_2, \dots, x_g)$  и  $q = (y_1, y_2, \dots, y_h)$  — образы знаков  $s_p$  и  $s_q$  соответственно ( $p, q \in (2, \dots, k)$ ). Пусть  $\pi$  — множество образов знаков из  $S$ . Образы  $p$  и  $q$  из  $\pi$  суть множества значений признаков; индексы признаков указывают на их принадлежность тем или иным множествам признаков (доменам); так равенство  $i = j$  свидетельствует о принадлежности значений признаков  $x_i$  и  $y_j$  одному и тому же множеству, например  $X_i$ .

Упорядоченные множества  $\tau_p = \langle i_1, i_2, \dots, i_p \rangle$  и  $\tau_q = \langle j_1, j_2, \dots, j_q \rangle$ , где  $i_1, i_2, \dots, i_p \in (1, \dots, g)$ ,  $j_1, j_2, \dots, j_q \in (1, \dots, h)$ , будем называть типами образов знаков  $s_p$  и  $s_q$  соответственно.

Введём оператор  $Pat$ , который для всякого знака  $s_p$ , просматривает все остальные знаки и выполняет указанные ниже действия (пополняет бинарные отношения).

1. Если для знака  $s_p$  и некоторого знака  $s_q$  ( $p \neq q$ )  $\tau_p = \tau_q$  и  $x_i = y_i$ , то  $R_1 := R_1 \cup \{(p, q)\}$ ,  $R_1 \subseteq \pi \times \pi$ .

Легко видеть, что отношение  $R_1$  является отношением эквивалентности на множестве образов  $\pi$ . Определённые ниже отношения  $R_2, R_3, R_4$  есть отношения включения, сходства и противопоставления соответственно.

2. Если для знака  $s_p$  и некоторого знака  $s_q$   $\tau_p \subset \tau_q$  и  $\forall i \in \tau_p$  имеет место  $x_i = y_i$ , то  $R_2 := R_2 \cup \{(p, q)\}$ ,  $R_2 \subseteq \pi \times \pi$  (отношение включения).
3. Если для знака  $s_p$  и некоторого знака  $s_q$   $\tau_p \cap \tau_q \neq \emptyset$  и  $\forall i \in (\tau_p \cap \tau_q)$  имеет место  $x_i = y_i$ , то  $R_3 := R_3 \cup \{(p, q)\}$ ,  $R_3 \subseteq \pi \times \pi$  (отношение сходства).
4. Если для знака  $s_p$  и некоторого знака  $s_q$   $\tau_p \cap \tau_q \neq \emptyset$  и  $\forall i \in (\tau_p \cap \tau_q)$  имеет место  $x_i \neq y_i$ , то  $R_4 := R_4 \cup \{(p, q)\}$ ,  $R_4 \subseteq \pi \times \pi$  (отношение противопоставления).

По существу, приведённые определения суть процедуры порождения новых элементов отношений на множестве знаков. Стартуя всякий раз, когда множество знаков пополняется новым знаком (или когда множество знаков начинает использоваться), описанные процедуры либо формируют новое отношение, либо пополняют какое-либо из отношений на знаках новым элементом. Это означает, что взаимодействие образов различных знаков приводит к формированию на множестве образов неоднородной семантической сети [64] с четырьмя типами отношений: эквивалентность образов, включение образов, сходство образов и противопоставление образов.

Рассмотрим в качестве примера операцию обобщения. Частичная операция обобщения  $\Theta$  определена на множестве пар образов, принадлежащих отношению  $R_3$ ; результатом работы  $\Theta$  является новый образ, включающий все общие признаки исходных образов. Пусть  $\pi$  — множество образов,  $1, 2 \in \pi$ ,  $1 = (x_1, x_2, \dots, x_g)$  и  $2 = (y_1, y_2, \dots, y_h)$ , тогда  $\Theta : \pi \times \pi \rightarrow \pi$  так, что для всяких  $1, 2 \in \pi$  таких, что  $(1, 2) \in R_3$ ,  $\Theta(1, 2) = 3$ , где  $3 = (z_1, z_2, \dots, z_l)$  так, что для  $\forall j \exists j, k$ , такие, что  $z_i = x_j = y_k$ .

Построенный в результате выполнения операции обобщения образ может послужить основой для формирования нового знака. Новый знак образуется аналогично формированию знака, описанному в разд.2, с некоторыми модификациями.

1. Порождение на основе прошлого опыта или на основе прецедентов множества пар вида «образ — значение» — значения знака.
2. Получение субъектом из культурной среды, аккумулированной в системе естественного языка, пары «имя знака — значение».
3. Связывание имени из пары «имя знака — значение» с образом.
4. Формирование личностных смыслов знака на основе прецедентов действий с предметами, описываемыми обобщённым образом.



5. Связывание имени из пары «имя знака — значение» со сформированным личностным смыслом.
6. Продолжение отображения «личностный смысл — образ» включением в область определения отображения личностного смысла, полученного в предыдущем пункте, а в область значений — образа, построенного в п.1.

В результате образуется знак, соответствующий обобщённому образу. При этом пары образов  $(3, 1)$  и  $(3, 2)$  пополняют отношение включения  $R_2$ . Новый знак  $s_3$  является для знаков  $s_1$  и  $s_2$  их обобщением по образам (рис. 2.3).

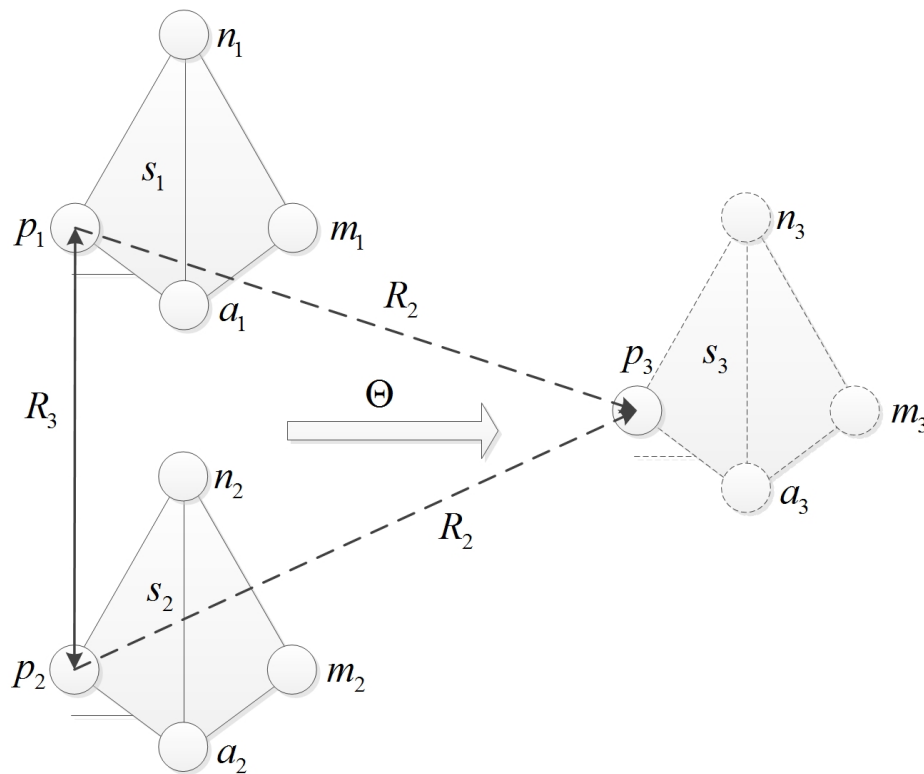


Рисунок 2.3. Пример обобщения по признакам. В результате работы операции обобщения  $\Theta$  пары знаков  $s_1$  и  $s_2$ , принадлежащих отношению сходства  $R_3$ , формируется образ  $p_3$  нового знака  $s_3$  так, что пары  $(p_3, p_1)$  и  $(p_3, p_2)$  пополняют отношение включения  $R_2$ .

### 2.3.2. Отношения и операции на множестве личностных смыслов

Как мы видели, с каждым знаком связан некоторый личностный смысл. На множествах личностных смыслов различных знаков оператор *Mean* естественным образом порождает отношения поглощения, противопоставления и агглютинации (т.е. склеивания, присоединения) смыслов. Определим эти отношения. Пусть по-прежнему  $S = \{s_1 s_2, \dots, s_k\}$  — множество знаков.

Введём множество действий  $ACT$  и функцию  $I$ , отображающую множество личностных смыслов в булеан  $2^{ACT}$  множества действий [65], т.е. функцию, каждому личностному смыслу  $a$  из  $2^A$  ставящую в соответствие некоторое подмножество  $act \in ACT$ :  $I : 2^A \rightarrow 2^{ACT}$  так, что для  $\forall \in 2^A I() = act, act \in 2^{ACT}$ .

Для всякого знака  $s$  отображение  $I$  ставит в соответствие каждому личностному смыслу этого знака множество действий  $act$ , применимых к объекту, опосредуемому знаком  $s$ . Эту функцию назовём интерпретацией.

Пусть теперь  $I(a_1) = (\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_g)$  и  $I(a_2) = (\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_h)$  — интерпретации личностных смыслов знаков  $s_1$  и  $s_2$ . Если действие  $\alpha_i$  добавляет некоторый факт [65], а действие  $\beta_j$  удаляет тот же факт [65], то будем говорить, что  $\alpha_i$  и  $\beta_j$  противопоставлены друг другу и принадлежат отношению  $R_5 := R_5 \cup \{(\alpha_i, \beta_j)\}$ ,  $R_5 \subseteq A \times A$  — отношению оппозиции, т.е. множеству пар действий, образующих оппозиционные шкалы в смысле [66].

Определим следующие отношения на множестве личностных смыслов:

- 1)  $\sqsubseteq (a_1, a_2)$  или  $a_1 \sqsubseteq a_2$  (читается «смысл  $a_2$  поглощает смысл  $a_1$ »), если  $I(a_1) \subseteq I(a_2)$ ;
- 2)  $\perp (a_1, a_2)$  или  $a_1 \perp a_2$  («смысл  $a_1$  противопоставлен смыслу  $a_2$ »), если  $\exists \alpha_i \in a_1, \beta_j \in a_2$ , что  $(\alpha_i, \beta_j) \in R_5$ ;

- 3)  $\sqcup(a_1, a_2, a_3)$  — трёхместное отношение агглютинации смыслов, если  $I(a_1) \cup I(a_2) = I(a_3)$ .

### 2.3.3. Отношения и операции на множестве значений

Как было сказано выше, значение всякого знака отражает принятые в обществе способы использования соответствующего знаку предмета и поэтому может интерпретироваться некоторым действием. Тогда интерпретация значения напрямую связана с интерпретациями элементов личностного смысла знака. Отметим, что личностный смысл, в отличие от значения, отражает индивидуальные предпочтения субъекта, в то время как значение отражает принятые в обществе способы использования соответствующего знаку предмета. В лексике языка значение, таким образом, может отражаться некоторой группой синонимичных предикатных слов: глаголом, девербативом (т. е. отглагольным существительным), причастием, деепричастием, которые единственным образом характеризуются своим набором семантических валентностей [67].

Пусть  $I = \{i_1, i_2, \dots, i_q\}$  — множество всех возможных семантических валентностей, тогда каждую группу синонимичных предикатных слов можно характеризовать каким-либо подмножеством этого множества:  $I_m = \{j_1, j_2, \dots, j_k\}$ ,  $I_m \subseteq I$ . Например, группу предикатных слов движения («ехать», «бежать», «идти») можно охарактеризовать набором семантических валентностей «субъект», «средство», «направление движения», «цель», «количественная характеристика».

Пусть  $s$  — некоторый знак со значением  $t$ . Экземпляр  $\mu$  значения  $t$  знака  $s$  выражается, в силу сказанного, некоторым предикатным словом и семантической валентностью. Это обстоятельство будем обозначать следующим образом:  $\mu(I_m, i)$ , где  $\mu \in t$  — экземпляр значения знака  $s$  и  $i \in I_m$  — семантическая валентность предикатного слова, характеризуемого набором  $I_m$ .

На рис. 2.4 приведён пример знака  $s$ , значение  $m$  которого включает два экземпляра:  $\mu_1(I_1, i_3)$  и  $\mu_2(I_2, j_2)$ .

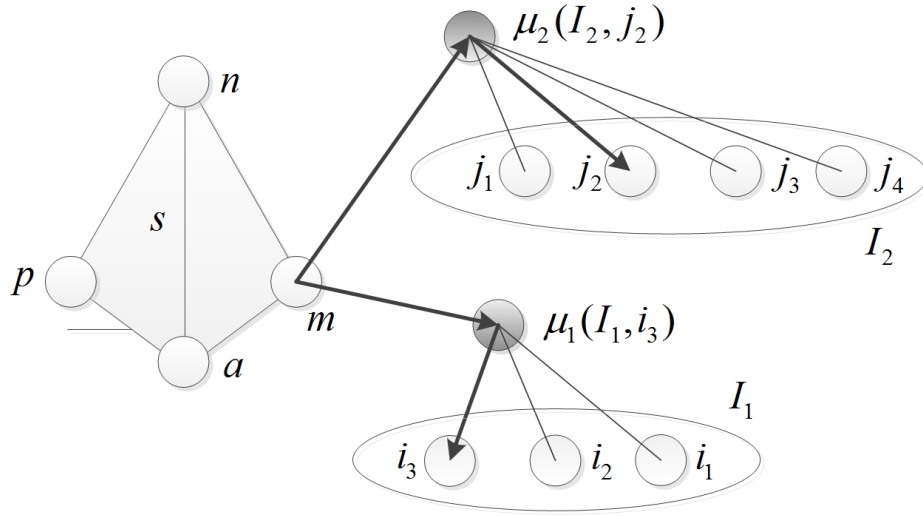


Рисунок 2.4. Пример структуры значения  $m$  знака  $s$ , которое включает в себя два экземпляра  $\mu_1(I_1, i_3)$  и  $\mu_2(I_2, j_2)$ , где  $I_1 = \{i_1, i_2, i_3\}$  и  $I_2 = \{j_1, j_2, j_3, j_4\}$  — наборы семантических валентностей.

Рассмотрим знаки  $s_1$  и  $s_2$ ;  $\mu_1(I_1, i)$  и  $\mu_2(I_2, j)$  — экземпляры значений  $s_1$  и  $s_2$  соответственно. Введём оператор  $Des$ , который для всякого знака  $s_1$  просматривает все остальные знаки и пополняет указанные ниже отношения по следующим правилам.

1. Если  $I_1 = I_2$  и  $i = j$ , то  $R'_1 := R'_2 \cup \{(\mu_1, \mu_2)\}$ ,  $R'_2 \subseteq M \times M$ .
2. Если для экземпляра значения  $\mu_1$  знака  $s_1$  существует экземпляр значения  $\mu_2$  знака  $s_2$  такое, что  $I_1 \cap I_2 \neq \emptyset$ ,  $I_1 \neq I_2$  и  $i = j$ , то  $R'_2 := R'_2 \cup \{(\mu_1, \mu_2)\}$ ,  $R'_2 \subseteq M \times M$ .
3. Если для экземпляра значения  $\mu_1$  знака  $s_1$  существует экземпляр значения  $\mu_2$  знака  $s_2$  такое, что  $I_1 = I_2$ , и  $i \neq j$ , то  $R_6 := R_6 \cup \{(\mu_1, \mu_2)\}$ ,  $R_6 \subseteq M \times M$  — ситуационное отношение.

Аналогично отношениям  $R_1$  и  $R_3$ , отношения  $R'_1$  и  $R'_3$  являются соответственно отношениями эквивалентности и сходства на множестве значений.

С каждым экземпляром значения  $\mu$  свяжем теперь метку  $\tau$ , и будем записывать  $\mu_1(\tau_1, I_1, i)$  и  $\mu_2(\tau_2, I_2, j)$ . На множестве меток вводится линейный порядок: для  $\forall \tau_1, \tau_2$  справедливо  $\tau_1 \leq \tau_2$  либо  $\tau_1 \geq \tau_2$ . Рассмотрим некоторое отношение на  $M \times M$ . Ограничение этого отношения на  $M_{scen} \times M_{scen}$ , где  $M_{scen} \subseteq M$ , будем называть сценарным отношением  $R_7$ , если оно строится следующим образом.

4. Если  $\mu_1 \in M_{scen}$ ,  $\mu_2 \in M_{scen}$ ,  $I_1 \neq I_2$ ,  $i \neq j$  и  $\tau_1 < \tau_2$ , то  $R_7 := R_7 \cup \{(\mu_1, \mu_2)\}$ .

Элементарным сценарием, порождённым знаком  $s$ , будем называть множество экземпляров значений  $M_{est}(s)$  такое, что для  $\forall \mu_1 \in M_{est}(s)$  и  $\mu_2 \in M_{est}(s)$  имеет место:

- если  $\mu_1 \in m$ ,  $\mu_2 \in m$  и  $\tau_1 \geq \tau_2$ , то  $(\mu_1, \mu_2) \in R_7$  (в этом случае сценарное отношение  $R_7$  определено на множестве экземпляров значения знака  $s$ , т.е.  $M_{scen} = m$ );
- если  $\mu_1 \in m$  и  $\mu_2 \notin m$  и  $\tau_1 \geq \tau_2$ , то  $(\mu_1, \mu_2) \in R_6$ .

На рис. 2.5 приведён пример элементарного сценария  $M_{est}(s_1)$ , порождённого знаком  $s_1$ , а именно сформированного двумя экземплярами  $\mu_2$  и  $\mu_3$  значения знака  $s_1$  такими, что  $(\mu_2, \mu_3) \in R_7$ . В примере на рис. 2.5 в  $M_{est}(s_1)$  входят и экземпляры значений  $\mu_1$  и  $\mu_4$  такие, что  $\{(\mu_1, \mu_2), (\mu_3, \mu_4)\} \subseteq R_6$ , где  $\mu_1$  и  $\mu_4$  суть экземпляры значений знаков  $s_2$  и  $s_3$  соответственно.



## Глава 3

# Модель картины мира.

## Семантический уровень

Как было сказано в выводах главы 1, внутренний, семантический уровень описания картины мира субъекта деятельности с необходимостью должен быть согласован с нейрофизиологическими данными о строении коры головного мозга человека. В данной главе будет введено такое описание с рядом существенных упрощений, призванных облегчить изложение и позволяющих сконцентрироваться на изучении основных свойств возникающих математических объектов. В начале будет дано семантическое определение образной компоненты и процедуры её функционирования в процессе восприятия, а затем будут введены описания остальных компонент знака, синтаксические определения которых давались в главе 2. В конце главы дано описание одной из основных функций картины мира — процедуры образования нового знака на семантическом уровне и приведены результаты исследования итерационного процесса формирования и связывания образа и значения нового знака.

## 3.1. Образная компонента знака

### 3.1.1. Основные принципы работы образной компоненты

Рассмотрим объекты, которые возникают при описании моделей зрительного восприятия, построенных на следующих основных принципах:

- 1) иерархичность,
- 2) обладание функцией выдвижения перцептивных гипотез,
- 3) обладание способностью распознавать как динамические так и статические явления,
- 4) управляемость.

Эти принципы согласуются с выводами, сделанными при анализе существующей литературы по нейрофизиологическим данным (см. параграф 1.4). Приведём обоснование выбора именно этих свойств в качестве базовых для построения семантического уровня модели КМ.

Первый принцип был выдвинут в работах когнитивных психологов А. Трисман (А. М. Triesman) и Дж. Джелед (G. Gelade) [68] и заключается в том, что на уровне работы сетчатки имеется набор базовых признаков или протобъектов (на уровне вторичных зрительных отделов коры головного мозга) [69], из которых в процессе научения образуются более сложные признаки. Из полученных сложных признаков строятся ещё более сложные и т.д. При этом процесс восприятия представляет собой последовательную активацию части получающейся иерархии, начиная с базовых признаков и заканчивая сложным объектом, предъявляемым зрительной системе. Основным критерием принадлежности разных признаков одному объекту (сложному признаку) является пространственная и временная когерентность. Иерархичность процесса



восприятия, как одного из процессов протекающих в картине мира, также проявляется и в функциональной иерархичности коры головного мозга, что подтверждается большим количеством нейрофизиологических данных [33, 34].

Основной задачей образной компоненты на каждом уровне иерархии, таким образом, становится выявление повторяющихся временных и пространственных шаблонов в поступающем наборе сигналов и низкоуровневых признаков.

По данными анализа движения глаз испытуемых доказано, что любой процесс восприятия, как динамического так и статического явления, представляет собой развёрнутый во времени процесс, каждый этап которого с той или иной степенью точности предсказывается на основе предыдущих этапов [33, 70]. Именно в этом заключается второй принцип: модель элемента картины мира должна включать в себя процессы выдвижения гипотез о том, какая часть иерархии признаков будет активирована в следующий момент времени.

Третий принцип определяет важность параметра времени: образная компонента должна с самого начала уметь работать с меняющимися во времени признаками, не выделяя явно случай статического изображения. Наконец, четвёртый принцип основан на теории активного зрения и том факте, что каждый этап распознавания признака на каком-либо уровне иерархии в процессе восприятия чередуется с активным этапом моторной реакции. Особенно ярко этот факт проявляется в случае зрительного восприятия при наблюдении саккадических движений глаза.

Учитывая перечисленные принципы, на которых строятся большинство существующих моделей восприятия (не только зрительного), в следующем параграфе вводится определение распознающего блока, являющегося основным структурным элементом как образной, так и других компонент знака (рис. 3.1). Далее приводится алгоритм работы образной компоненты, исследуется его свойства путём постановки ряда задач распознавания.

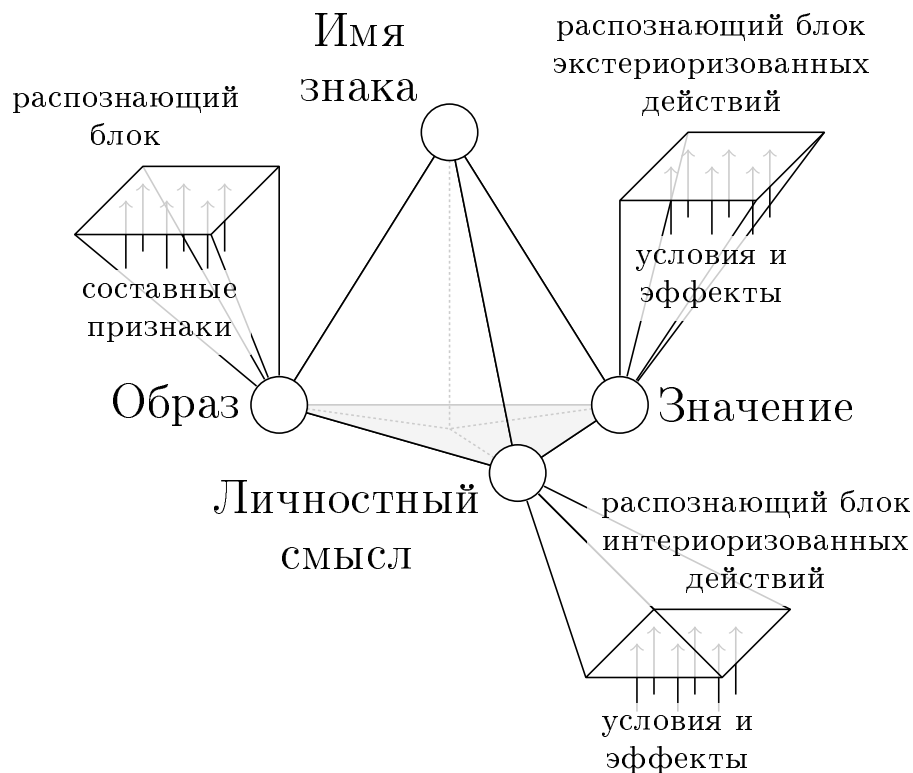


Рисунок 3.1. Знак и его компоненты.

### 3.1.2. Распознающий блок

Далее рассмотрим объект  $R_i^j$ , который будем называть *распознающим блоком* уровня  $j$  с индексом  $i$  или просто распознающим блоком. Опишем кратко функции введённого объекта, а затем определим алгоритм его работы формально. Для этого воспользуемся понятием *признака*, который будем понимать как составную часть информационного представления некоторой сущности, явления или процесса [71].

Каждый распознающий блок распознает или, применительно к низкоуровневым сигналам, измеряет, некоторые признаки на основе входного вектора данных. Процесс распознавания (измерения) заключается в сопоставлении признака взвешенному значению, который определяет уровень доверия тому, насколько успешно удалось построить (измерить) признак из составляющих его низкоуровневых признаков, информация о которых

содержится во входном векторе. Такой вес будем называть *весом признака* во входном векторе.

Входной вектор, в свою очередь, представляет собой взвешенный вектор низкоуровневых признаков, по которым распознаются выходные признаки. Распознающий блок обладает множеством состояний, каждое из которых представляет собой также взвешенный вектор входных признаков, но в следующий момент времени. Такой вектор будем называть *вектором ожиданий*. Опишем сказанное более строго.

Пусть заданы множества  $\{R_i^j\}$  и  $\{f_k\}$ . Множество  $\{R_i^j\}$  будем называть совокупностью распознающих блоков, а множество  $\{f_k\}$  — совокупностью допустимых признаков. Введём бинарное отношение  $\dashv$ , определённое на паре множеств  $\{f_k\}$  и  $\{R_i^j\}$ , и будем читать  $f_k \dashv R_i^j$ ,  $f_k \in \{f_k\}$ , как «признак  $f_k$  распознаётся блоком  $R_i^j$ » или как «признак  $f_k$  измеряется блоком  $R_i^j$ ». Множество всех распознаваемых блоком  $R_i^j$  признаков будем обозначать  $F_i^{*j}$ , т.е.  $\forall f^* \in F_i^{*j} f^* \dashv R_i^j, F_i^{*j} \subseteq \{f_k\}$ .

Рассмотрим связный ориентированный (ярусный) граф  $G_R = (V, E)$ , где  $V$  — множество вершин,  $E$  — множество рёбер. Каждую вершину  $v$ , принадлежащую  $j$ -ому ярусу графа  $G_R$ , будем сопоставлять некоторому распознающему блоку  $R_{i_1}^{j_1}$  уровня  $j_1$ , а ребро  $e = (v, u) \in E$  будем интерпретировать как иерархическую связь между сопоставленным вершине  $v$  блоком  $R_{i_1}^{j_1}$  и сопоставленным вершине  $u$  блоком  $R_{i_2}^{j_2}$ . Блок  $R_{i_1}^{j_1}$  в данном случае будем называть дочерним, а блок  $R_{i_2}^{j_2}$  — родительским (рис. 3.2).

Рассмотрим распознающий блок  $R_i^j$ . Определим множество  $F_i^j \subseteq \{f_k\}$  таких признаков, что для любого  $f \in F_i^j$  существует распознающий блок  $R_k^{j-1}$  уровня  $j-1$ , дочерний по отношению к блоку  $R_i^j$ , такой, что  $f \dashv R_k^{j-1}$ . Такое множество  $F_i^j$  будем называть совокупностью входных признаков распознающего блока  $R_i^j$ . Для каждого признака  $f^* \in F_i^{*j}$  введём функцию распознавания  $\hat{f}(x_1, \dots, x_q) = x^*$ , где  $x^* \in [0, 1]$  — вес распознаваемого признака  $f^*$  в выходном векторе, а

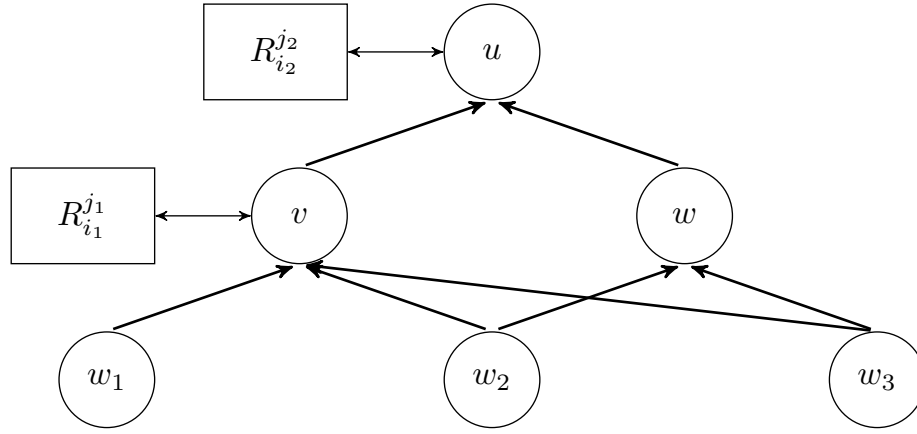


Рисунок 3.2. Пример иерархии распознающих блоков. Узлу  $u$  сопоставлен родительский распознающий блок  $R_{i_2}^{j_2}$ , а узлу  $v$  — дочерний блок  $R_{i_1}^{j_1}$ .

$x_1, \dots, x_q \in [0, 1]$  — веса признаков из множества  $F_i^j$  в текущем входном векторе. Множество таких функций для распознающего блока  $R_i^j$  обозначим как  $\hat{F}_i^j$ .

Пусть мощность множества распознаваемых признаков  $F_i^{*j}$  и множества функций распознавания  $\hat{F}_i^j$  равна  $l_i^j$ , а мощность множества входных признаков  $F_i^j$  равна  $q_i^j$ . Введём упорядоченное множество локальных моментов времени  $T_i^j$  для распознающего блока  $R_i^j$ . Для каждого распознающего блока определим характерное время  $h_i^j$ , за которое выполняется один цикл вычисления в распознающем блоке  $R_i^j$ .

В начале  $s$ -ого цикла вычисления (момент времени  $\tau_s \in T_i^j$ ) распознающий блок  $R_i^j$  получает на вход вектор длины  $l_i^j$  ожиданий  $\hat{x}_i^{j+1}(\tau_s)$ , вычисляемый по формуле среднего от векторов ожиданий, получаемых от родительских относительно блока  $R_i^j$  распознающих блоков  $R_k^{j+1}$ :

$$\hat{x}_i^{j+1}(\tau_s) = \frac{1}{N_i^j} \sum_{k \in K_i^{j+1}} \hat{x}_k^{j+1}(\tau_s), \quad (3.1)$$

где  $N_i^j$  — количество родительских блоков,  $K_i^{j+1}$  — множество индексов родительских относительно  $R_i^j$  распознающих блоков. Далее в каждый момент времени  $t \in T_i^j$ ,  $\tau_s \leq t \leq \tau_s + h_i^j$ , распознающий блок  $R_i^j$  получает на вход взвешенный вектор  $\bar{x}_i^j(t)$  входных признаков из множества  $F_i^j$  длины  $l_i^j$ , вычисляет выходной взвешенный вектор  $\bar{x}_i^{*j}(t)$  распознаваемых признаков

из множества  $F_i^{*j}$  длины  $l_i^j$ , вычисляет вектор ожиданий  $\hat{x}_i^j(t)$  входных признаков в следующий момент времени длины  $q_i^j$  (рис. 3.3).

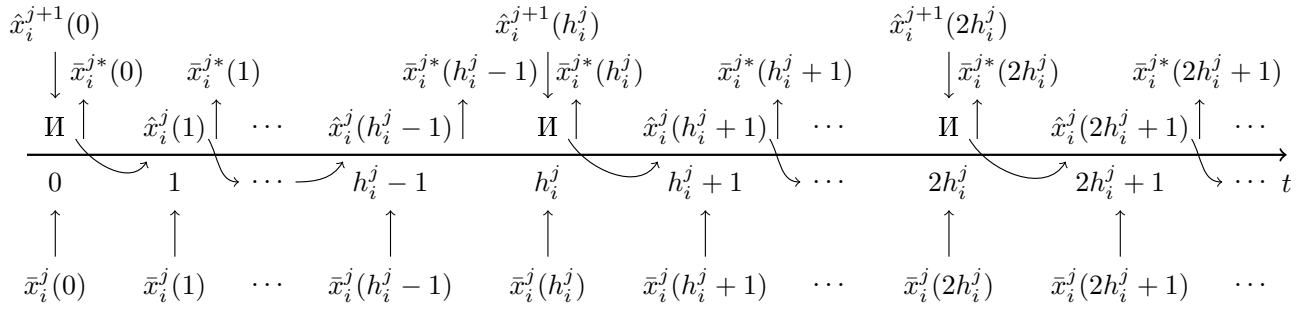


Рисунок 3.3. Вычислительные циклы распознающего блока. Символом «И» обозначен этап задания начального состояния в начале каждого цикла.

### 3.1.3. Алгоритм $\mathcal{A}_{th}$ работы распознающего блока

Опишем распознающий блок  $R_i^j$  с точки зрения теории динамических систем [72, 73]. Обозначим множество возможных мгновенных значений выходных векторов распознающего блока  $R_i^j$  как  $X_i^{*j}$ . Очевидно, что  $X_i^{*j}$  является векторным пространством. Обозначим множество возможных мгновенных значений взвешенного вектора входных признаков как  $X_i^j$ . Очевидно, что  $X_i^j$  также является векторным пространством. Определим входное воздействие  $\omega_i^j : T \rightarrow X_i^j$  и выходную величину  $\gamma_i^j : T \rightarrow X_i^{*j}$  в смысле теории динамических систем. Будем считать, что совокупность всех возможных мгновенных значений векторов ожиданий образует множество состояний  $\hat{X}_i^j$  распознающего блока  $R_i^j$ . Определим функцию переходов  $\varphi_i^j(t; \tau_s, \hat{x}_i^{j+1}, \omega_i^j) = \hat{x}_i^j$ . Множество  $\hat{X}_i^j$  в таком случае интерпретируется как множество состояний распознающего блока  $R_i^j$ . Также зададим выходное отображение  $\eta_i^j : T \times \hat{X}_i^j \rightarrow X_i^{*j}$ , определяющее выходные векторы  $\bar{x}_i^{*j}(t) = \eta_i^j(t, \hat{x}_i^j(t))$  (Рисунок 3.4).

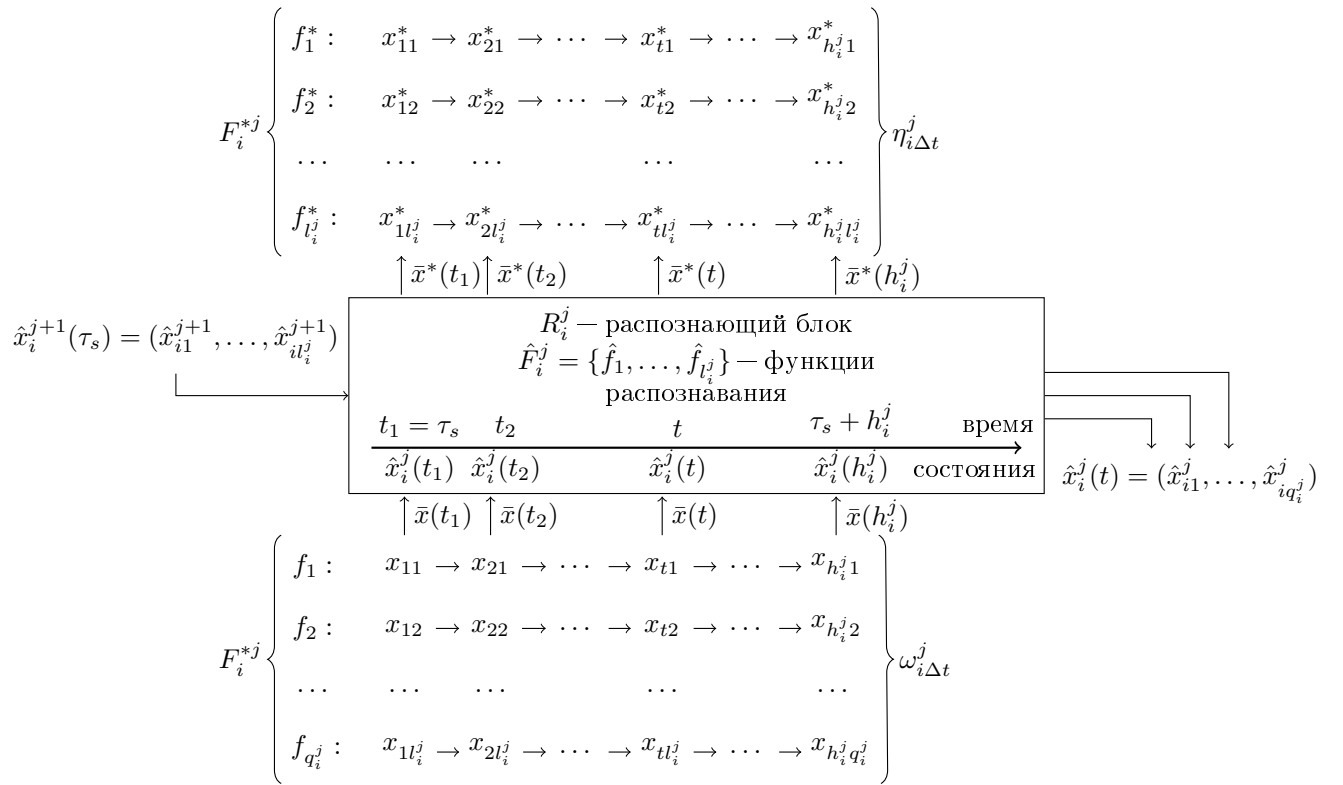


Рисунок 3.4. Схема входных и выходных отображений распознающего блока.

Будем рассматривать распознающий блок  $R_i^j$  как динамическую систему с дискретным временем, т. е. считать множество моментов времени  $T_i^j$  множеством целых чисел. Каждой функции распознавания  $\hat{f}_k$  из множества  $\hat{F}_i^j$  будем ставить в соответствие набор матриц предсказания  $Z_k = \{Z_1^k, \dots, Z_m^k\}$  размерности  $q_i^j \times h_i^j$ , где  $h_i^j$  — характерное время распознающего блока  $R_i^j$ . Столбец  $\bar{z}_u^r = (z_{u1}^k, \dots, z_{uq}^k)$  матрицы  $Z_r^k$  интерпретируется как вектор предсказания присутствия входных признаков из множества  $F_i^j$  в момент времени  $\tau_s + u$ , при этом  $z_{uv}^k \in \{0, 1\}$ , т.е. вектор  $\bar{z}_u^r$  является булевым вектором. Сама матрица  $Z_r^k$  задаёт, таким образом, последовательность событий, наличие которых свидетельствует о присутствии распознаваемого функцией  $\hat{f}_k$  признака. Множество всех матриц предсказания распознающего блока  $R_i^j$  будем обозначать как  $\mathcal{Z}_i^j$ .

На страницах 63 и 65 приведён алгоритм  $\mathcal{A}_{th}$  вычислительного цикла распознающего блока, в котором рассчитываются значения функции переходов  $\varphi_i^j(\tau_s + t; \tau_s, \hat{x}_i^{j+1}, \omega_i^j)$ ,  $1 \leq t \leq h_i^j - 1$ , и выходного отображения  $\eta_i^j(\tau_s + t, \hat{x}_i^j(\tau_s + t))$ ,

$1 \leq t \leq h_i^j - 1$ . В алгоритме используется функция  $W$  нормировки весовых функций:

$$W(\bar{x}) = \left( \frac{x_1}{\max_i x_i}, \dots, \frac{x_n}{\max_i x_i} \right), \quad (3.2)$$

где  $\bar{x} = (x_1, \dots, x_n)$  — вектор с ненормированными компонентами. Кратко опишем шаги алгоритма.

---

**Алгоритм 1.** Алгоритм  $\mathfrak{A}_{th}$  (часть I, задание начального состояния)

---

**Вход:**  $\tau_s, \hat{x}_i^{j+1}(\tau_s), \omega_i^j$ ;

**Выход:**  $\varphi_i^j, \eta_i^j$ ;

- 1:  $\hat{F}^* = \emptyset, Z^* = \emptyset, t = 0$ ;
  - 2:  $c_1 \in (0, 1), c_2 \in (0, 1)$ ;
  - 3: **for all** компонент  $\hat{x}_{ik}^{j+1}$  вектора  $\hat{x}_i^{j+1}(\tau_s) = (\hat{x}_{i1}^{j+1}, \hat{x}_{i2}^{j+1}, \dots, \hat{x}_{il}^{j+1})$  **do**
  - 4:     **if**  $\hat{x}_{ik}^{j+1} \geq c_1$  **then**
  - 5:          $\hat{F}^* := \hat{F}^* \cup \{\hat{f}_k\}$ ;
  - 6:     **end if**
  - 7: **end for**
  - 8:  $\bar{x}_i^j := \omega_i^j(\tau_s)$ ;
  - 9: **for all** функций распознавания  $\hat{f}_k \in \hat{F}^*$  **do**
  - 10:     **for all**  $Z_r^k \in \mathcal{Z}_k$ , соответствующих функции распознавания  $\hat{f}_k$ , **do**
  - 11:         **if**  $\frac{\|\bar{z}_1^r - \bar{x}_i^j\|}{\|\bar{z}_1^r\| + \|\bar{x}_i^j\|} < c_2$  **then**
  - 12:              $Z^* := Z^* \cup \{Z_r^k\}$ ;
  - 13:         **end if**
  - 14:     **end for**
  - 15: **end for**
  - 16:  $\bar{N} := (|\{Z_r^1 | Z_r^1 \in Z^*\}|, \dots, |\{Z_r^{l_j} | Z_r^{l_j} \in Z^*\}|)$ ;
  - 17:  $\bar{x}_i^{*j} := W(\bar{N})$ ;
  - 18:  $\eta(\tau_s, \hat{x}_i^j(\tau_s)) = \bar{x}_i^{*j}$ ;
  - 19:  $\hat{x}_i^j = W(\sum_{\hat{f}_k \in \hat{F}^*} \hat{x}_{ik}^{j+1} \sum_{Z_r^k \in Z^*} \bar{z}_2^r)$ ;
  - 20:  $\varphi(\tau_s + 1; \tau_s, \hat{x}_i^{j+1}, \omega) = \hat{x}_i^j(\tau_s + 1) = \hat{x}_i^j$ ;
-

Вычислительный цикл распознающего блока начинается с определения начального состояния при помощи управляющего воздействия с верхних уровней иерархии — вектора ожиданий  $\hat{x}_i^{j+1}(\tau_s)$  (шаги 3–20). Начальное состояние определяется как подмножество таких распознаваемых признаков множества  $F_i^{*j}$ , которые предсказываются на основе состояния блоков верхнего уровня. Первая константа  $c_1$  определяет порог предсказываемого веса распознаваемых признаков, выше которого соответствующие функции распознавания попадают во множество активных функций  $\hat{F}^*$  (шаг 4). Далее производится отбор тех матриц предсказания активных функций распознавания, для которых обычное расстояние по норме  $\|x\| = \sum_i |x_i|$  первого столбца  $\bar{z}_1^r$  от входного вектора  $\bar{z}_i^j$  в начальный момент времени не превышает второй константы  $c_2$  (шаг 11). На основе активных матриц предсказания методом голосования вычисляется выходной вектор в начальный момент времени  $\bar{x}_i^{j*}(\tau_s)$  (шаги 16–18).

Начальное состояние  $\hat{x}_i^j(\tau_s + 1)$  определяется как нормированный вектор,  $s$ -ый компонент которого равен сумме всех  $s$ -ых элементов вторых колонок активных матриц предсказания с весами, соответствующими элементам вектора ожиданий  $\hat{x}_i^{j+1}(\tau_s)$  (шаг 19). Т. к. используется представление о будущем входном сигнале (вторая колонка матриц предсказания), то  $\hat{x}_i^j(\tau_s + 1)$  играет роль предсказывающего управляющего вектора для нижних уровней иерархии.

После определения начального состояния начинает выполняться тело основного цикла, в котором до тех пор, пока время не превысит характерное время распознающего блока  $h_i^j$  повторяется вычисление выходного вектора и состояния в следующий момент времени (шаги 22–37). В начале обновляется множество активных матриц предсказания  $Z^*$  за счёт удаления тех матриц, соответствующие столбцы которых достаточно сильно отличаются от текущего входного вектора  $\bar{x}_i^j$  (шаг 25). Далее методом голосования по количеству матриц в множестве активных матриц предсказания, отвечающих за соответствующий выходной признак, вычисляется выходной вектор  $\bar{x}_i^{j*}$  (шаги 29–31).



В завершение тела основного цикла вычисляется состояние в следующий момент времени  $\hat{x}_i^j(\tau_s + t + 1)$ . Как и на этапе определения начального состояния, вектор ожиданий равен нормированному вектору, элементы которого равны сумме элементов столбцов всех активных матриц предсказания, соответствующих текущему моменту времени с учётом весов начального управляющего вектора  $\hat{x}_i^{j+1}(\tau_s)$  (шаги 34–35).

---

**Алгоритм 2.** Алгоритм  $\mathfrak{A}_{th}$  (часть II, основной цикл)

---

```

21:  $t = 1$ ;
22: while  $t \leq h_i^j - 1$  do
23:    $\bar{x}_i^j := \omega(\tau_s + t)$ ;
24:   for all матриц предсказания  $Z_r^k$  из множества  $Z^*$  do
25:     if  $\frac{\|\bar{z}_{t+1}^r - \bar{x}_i^j\|}{\|\bar{z}_{t+1}^r\| + \|\bar{x}_i^j\|} \geq c_2$  then
26:        $Z^* := Z^* \setminus \{Z_r^k\}$ ;
27:     end if
28:   end for
29:    $\bar{N} = (|\{Z_r^1 | Z_r^1 \in Z^*\}|, \dots, |\{Z_r^{l_i^j} | Z_r^{l_i^j} \in Z^*\}|)$ ;
30:    $\bar{x}_i^{*j} := W(\bar{N})$ ;
31:    $\eta(\tau_s + t, \hat{x}_i^j(\tau_s + t)) = \bar{x}_i^{*j}$ ;
32:    $t = t + 1$ ;
33:   if  $t \leq h_i^j - 2$  then
34:      $\hat{x}_i^j := W(\sum_{\hat{f}_k \in \hat{F}^*} \hat{x}_{ik}^{j+1} \sum_{Z_r^k \in Z^*} \bar{z}_t^r)$ ;
35:      $\varphi(\tau_s + t; \tau_s, \hat{x}_i^{j+1}, \omega) = \hat{x}_i^j(\tau_s + t) = \hat{x}_i^j$ ;
36:   end if
37: end while

```

---

## 3.2. Исследование алгоритма $\mathcal{A}_{th}$ работы образной компоненты

Для обоснования корректности сформулированного алгоритма работы образной компоненты знака, в данном параграфе будет поставлен ряд задач распознавания (классификации) и построены множества операторов распознавания. Корректность алгоритма будет продемонстрировано за счёт корректности данных множеств операторов распознавания.

### 3.2.1. Статическая задача классификации

#### Начальный момент времени

В начале рассмотрим статический случай, т. е. зафиксируем момент времени  $t$ , равный началу некоторого  $s$ -го вычислительного цикла  $\tau_s$ . В этом случае, распознающий блок  $R_i^j$  можно рассматривать как *статический оператор распознавания*  $R_i^j(\hat{x}_i^{j+1}, \mathcal{Z}_i^j, \bar{x}_i^j) = \bar{x}_i^{*j}$ . Напомним, что  $\bar{x}_i^{*j}$  — это взвешенный вектор распознаваемых признаков  $f_1^*, \dots, f_l^*$  из множества  $F_i^{*j}$ . Далее кратко будем записывать  $R(\hat{x}, \mathcal{Z}, \bar{x}) = \bar{x}^*$  и везде, где это возможно, будем опускать индексы  $j$  и  $i$ .

Введём совокупность задач  $\{Q\}$  аналогично работе [74, 75]. Задача  $Q(\hat{x}, \bar{x}, \alpha_1, \dots, \alpha_l) \in \{Q\}$  состоит в построении оператора, вычисляющего по поступившему вектору ожиданий  $\hat{x}$  и входному вектору  $\bar{x}$  значения  $\alpha_1, \dots, \alpha_l \in \{0, 1\}$  присутствия признаков  $f_1^*, \dots, f_l^*$ . Другими словами, искомый алгоритм  $\mathcal{A}^*$  переводит набор  $(\hat{x}, \bar{x})$  в вектор  $\bar{\alpha} = (\alpha_1, \dots, \alpha_l)$ , который будем называть *информационным вектором* входного вектора  $\bar{x}$  (рис. 3.5).

Пусть множество  $\{\mathcal{A}\}$  состоит из алгоритмов, переводящих пары  $(\hat{x}, \bar{x})$  в векторы  $\bar{\beta}$ , составленные из элементов  $0, 1, \Delta$  :  $\mathcal{A}(\hat{x}, \bar{x}) = \bar{\beta}$ . Если  $\beta_i \in \{0, 1\}$ ,

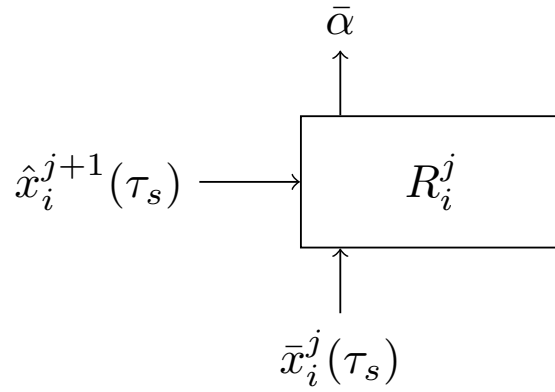


Рисунок 3.5. Статическая схема корректности для момента времени  $\tau_s$ .

то  $\beta_i$  — значение величины  $\alpha_i$ , вычисленное алгоритмом  $\mathcal{A}$ . Если  $\beta_i = \Delta$ , то алгоритм  $\mathcal{A}$  не вычислил значение  $\alpha_i$  информационного вектора  $\bar{\alpha}$ .

**Определение 3.** Алгоритм  $\mathcal{A}$  называется корректным для задачи  $Q$ , если выполнено равенство

$$\mathcal{A}(\hat{x}, \bar{x}) = \bar{\alpha}. \quad (3.3)$$

Алгоритм  $\mathcal{A}$ , не являющийся корректным для  $Q$ , называется некорректным.

Далее будем считать, что множество  $\{\mathcal{A}\}$  является совокупностью, вообще говоря, некорректных алгоритмов.

**Утверждение 4** (аналог теоремы 1 из [74]). Каждый алгоритм  $\mathcal{A} \in \{\mathcal{A}\}$  представим как последовательность выполнения алгоритмов  $R$  и  $C$ , где  $R(\hat{x}, \bar{x}) = \bar{x}^*$ ,  $\bar{x}^*$  — вектор действительных чисел,  $C(\bar{x}^*) = \bar{\beta}$ ,  $\beta_i \in \{0, 1, \Delta\}$ .

**Доказательство.** Пусть  $D$  — алгоритм перехода вектора  $\bar{\beta}$  к числовому вектору  $\bar{y}$ . В качестве  $D$  можно рассмотреть, например,  $y_i = \beta_i$ , если  $\beta_i \in \{0, 1\}$ , и  $y_i = 1/2$ , если  $\beta_i = \Delta$ . Очевидно, что существует обратный алгоритм  $D^{-1}$  перехода от  $\bar{y}$  к  $\bar{\beta}$ . Положим  $R = \mathcal{A} \cdot D$ ,  $C = D^{-1}$ . Тогда очевидно, что  $\mathcal{A} = R \cdot C = (\mathcal{A} \cdot D) \cdot D^{-1} = \mathcal{A}$ . ■

Из утверждения 4 следует, что множество алгоритмов  $\{\mathcal{A}\}$  порождает множества  $\{R\}$  и  $\{C\}$ , которые будем называть *множеством операторов*

распознавания и множеством решающих правил, соответственно. В качестве операторов из множества  $\{R\}$  будем рассматривать операторы  $R(\hat{x}, \mathcal{Z}, \bar{x})$ .

**Определение 4.** Решающее правило  $C^*$  называется корректным на множестве входных векторов  $X$ , если для всякого вектора  $\bar{x}$  из  $X$  существует хотя бы один числовой вектор  $\bar{x}^*$  такой, что  $C^*(\bar{x}^*) = \bar{\alpha}$ , где  $\bar{\alpha}$  — информационный вектор входного вектора  $\bar{x}$ .

В множестве операторов  $\{R\}$  введём операции умножения на скаляр, сложения и умножения. Пусть  $r'$  — скаляр,  $R', R'' \in \{R\}$ . Определим операторы  $r' \cdot R'$ ,  $R' + R''$  и  $R' \cdot R''$  следующим образом:

$$r' \cdot R' = (r' \cdot x_1^{*'}, \dots, r' \cdot x_l^{*'}), \quad (3.4)$$

$$R' + R'' = (x_1^{*'} + x_1^{*''}, \dots, x_l^{*'} + x_l^{*''}), \quad (3.5)$$

$$R' \cdot R'' = (x_1^{*'} \cdot x_1^{*''}, \dots, x_l^{*'} \cdot x_l^{*''}). \quad (3.6)$$

**Утверждение 5.** Замыкание  $L\{R\}$  множества  $\{R\}$  относительно операций (3.4) и (3.5) является векторным пространством.

**Определение 5.** Множество  $L\{A\}$  алгоритмов  $\mathcal{A} = R \cdot C^*$  таких, что  $R \in L\{R\}$ , называются линейным замыканием множества  $\{A\}$ .

Зафиксируем пару  $(\hat{x}, \bar{x})$  вектора ожидания и входного вектора. Аналогично [74] будем рассматривать задачи  $Q(\hat{x}, \bar{x})$ , обладающие следующим свойством относительно множества операторов распознавания  $\mathcal{R}$ .

**Определение 6.** Если множество векторов  $\{R(\hat{x}, \bar{x})\}$ , где  $R$  пробегает некоторое множество операторов распознавания  $\mathcal{R}$ , содержит базис в пространстве числовых векторов длины  $l$ , то задача  $Q(\hat{x}, \bar{x}, \bar{\alpha})$  называется полной относительно  $\mathcal{R}$ .

**Утверждение 6** (аналог теоремы 2 из [74]). Если множество задач  $\{Q\}$  состоит лишь из задач, полных относительно  $\mathcal{R}$ , то линейное замыкание  $L\{R \cdot C^*\}$  ( $C^*$  — произвольное фиксированное корректное решающее правило,  $R$  пробегает множество  $\mathcal{R}$ ) является корректным относительно  $\{Q\}$ .

**Следствие 1.** Пусть  $\{\mathcal{A}\}$  — совокупность некорректных алгоритмов,  $\{R\}$  — соответствующее множество операторов распознавания,  $C^*$  — фиксированное корректное решающее правило. Тогда  $L\{\mathcal{A}\} = L\{R \cdot C^*\}$  является корректным относительно множества задач  $\{Q\}$ , если  $\{Q\}$  состоит из задач, полных относительно  $\{R\}$ .

Будем рассматривать только такие задачи  $Q(\hat{x}, \bar{x}, \bar{\alpha})$ , для которых удовлетворяется следующее условие:  $\exists k$  такое, что  $x_k$  является  $k$ -ым элементом вектора  $\bar{x}$  и  $x_k > 1/2$ . Такое условие является естественным, иначе вектор  $\bar{x}$ , в котором отсутствуют веса большие  $1/2$ , не может рассматриваться как достоверный с точки зрения порогового алгоритма  $\mathcal{A}_{th}$ .

**Теорема 1.** Линейное замыкание  $L\{\mathcal{A}\}$  семейства алгоритмов  $\{\mathcal{A}\} = \{R \cdot C^*\}$  с произвольным корректным решающим правилом  $C^*$  и операторами распознавания  $R$ , определёнными алгоритмом  $\mathcal{A}_{th}$ , является корректным на множестве задач  $\{Q\}$ .

**Доказательство.** В силу утверждения 6 достаточно доказать, что произвольная задача  $Q \in \{Q\}$  является полной относительно  $\{R\}$ . Доказательство полноты  $Q$  состоит в прямом построении операторов  $R_k, k = 1, 2, \dots, l$  из  $L\{R\}$ , переводящих пару  $(\hat{x}, \bar{x}), \hat{x} = (\hat{x}_1, \dots, \hat{x}_l), \bar{x} = (x_1, \dots, x_q)$  в числовой вектор

$$\bar{x}_k^* = (x_{k1}^*, \dots, x_{kl}^*), \quad x_{kk}^* = 1, \quad \forall u \neq k \quad x_{ku}^* = 0. \quad (3.7)$$

Пусть мощность множества  $\mathcal{Z}_k$  признака  $f_k$  равна  $N$ , норма  $\|\bar{x}\|$  равна  $M \leq q$ , максимальная компонента вектора  $\bar{x}$  равна  $x_{max}$ . Зафиксируем величину  $k$  и коэффициенты  $c_1 = \min_v \hat{x}_v, c_2 = \frac{M}{1+M}$ . Рассмотрим матрицы предсказания

из множеств  $\mathcal{Z}_1, \dots, \mathcal{Z}_l$  признаков  $f_1, \dots, f_l$ , удовлетворяющие следующим условиям:

- 1) в каждой матрице предсказаний  $Z_r^k \in \mathcal{Z}_k$  в столбце  $\bar{z}_1^r = (z_{11}^r, \dots, z_{1q}^r)$  компонента  $z_{1v}^r = 1$ , если  $x_v = x_{max}$ , и  $z_{1v}^r = 0$ , если  $x_v < x_{max}$ ;
- 2) в каждой матрице предсказаний  $Z_r^u \in \mathcal{Z}_u, u \neq k$  в столбце  $\bar{z}_1^r = (z_{11}^r, \dots, z_{1q}^r)$  компонента  $z_{1v}^r = 0$  при любых  $v$ .

Вычислим величину  $x_{kk}^*$ . Т. к.  $c_1 = \min_u \hat{x}_u$ , то условие  $\hat{x}_k \geq c_1$  на шаге 4 алгоритма  $\mathcal{A}_{th}$  автоматически выполняется и функция измерения  $\hat{f}_k$  попадает в множество  $\hat{F}^*$ . Из условия 1 следует, что каждая матрица  $Z_r^k \in \mathcal{Z}_k$  попадает в множество  $Z^*$  на шаге 11 алгоритма  $\mathcal{A}_{th}$ :

$$\frac{\|\bar{z}_1^r - \bar{x}\|}{\|\bar{z}_1^r\| + \|\bar{x}\|} < \frac{\sum_v |z_{1v}^r - x_v|}{1 + M} < \frac{M}{1 + M} = c_2, \quad (3.8)$$

так как минимум один компонент в  $\bar{z}_1^r$  равен 1 и существует элемент  $x_v > 1/2$ . В этом случае  $x_{kk}^* = \gamma \cdot N$ , где  $\gamma$  — весовой коэффициент.

Вычислим величины  $x_{ku}^*$ . Т.к.  $c_1 = \min_v \hat{x}_v$ , то условие  $\hat{x}_u \geq c_1$  на шаге 4 алгоритма  $\mathcal{A}_{th}$  автоматически выполняется и все функции измерения  $\hat{f}_u$  попадают в множество  $\hat{F}^*$ . Из условия 2 следует, что каждая матрица  $Z_r^u \in \mathcal{Z}_u$  не попадает в множество  $Z^*$  на шаге 11 алгоритма  $\mathcal{A}_{th}$ :

$$\frac{\|\bar{z}_1^r - \bar{x}\|}{\|\bar{z}_1^r\| + \|\bar{x}\|} = \frac{M}{M} = 1 > \frac{M}{1 + M} = c_2. \quad (3.9)$$

В этом случае  $x_{ku}^* = 0$ .

Рассмотрим оператор распознавания  $\frac{1}{\gamma \cdot N} R_k(\hat{x}, \mathcal{Z}^k, \bar{x})$ , матрицы предсказания которого удовлетворяют условиям 1–2 и который переводит задачу  $Q$  в вектор  $\bar{x}_k^*$ , причём  $\bar{x}_{kk}^* = 1$ , а  $\bar{x}_{ku}^* = 0, u \neq k$ . Данный оператор удовлетворяет критериям (3.7) на вектор  $\bar{x}_k^*$ , а значит, необходимый баз в пространстве выходных векторов построен. Полнота задачи  $Q$  доказана. ■

## Произвольный момент времени

Фиксация момента времени не в начале вычислительного цикла, а на любом другом значении  $\tau_s < t < \tau_s + h_i^j$ , приводит к операторам вида  $R_i^j(\hat{x}_i^j(t), \mathcal{Z}_i^j, \bar{x}_i^j(t))$ , которые кратко будем записывать  $R^t$ . Для этих операторов постановка задачи распознавания выглядит таким же образом как и для операторов  $R$  начального времени: задача  $Q^t(\hat{x}_i^j(t), \bar{x}_i^j(t), \bar{\alpha})$  состоит в построении алгоритма  $\mathcal{A}^{*t}$ , переводящего набор  $(\hat{x}_i^j(t), \bar{x}_i^j(t))$  в информационный вектор  $\bar{\alpha} = (\alpha_1, \dots, \alpha_l)$ . Определения свойств корректности алгоритма и полноты задачи, а также корректного решающего правила  $C^{*t}$ , идентичны случаю с начальным моментом времени (Рисунок 3.6). Аналогично, рассматривая только такие задачи  $Q^t(\hat{x}_i^j(t), \bar{x}_i^j(t), \bar{\alpha})$ , в которых имеется как минимум один значимый компонент входного вектора, можно сформулировать следующую теорему (будем далее опускать индексы  $i, j$ ).

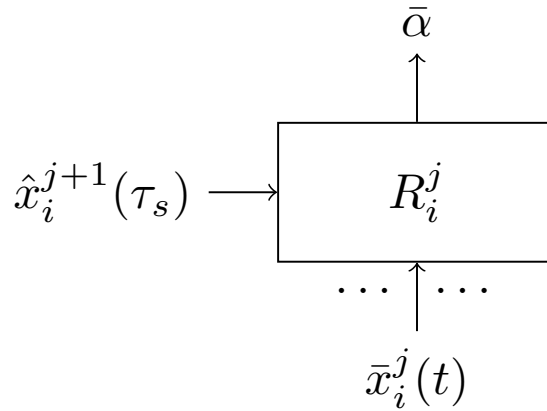


Рисунок 3.6. Статическая схема корректности для момента времени  $\tau_s < t \leq \tau_s + h_i^j$ .

**Теорема 2.** *Линейное замыкание  $L\{\mathcal{A}^t\}$  семейства алгоритмов  $\{\mathcal{A}^t\} = \{R^t \cdot C^{*t}\}$  с произвольным корректным решающим правилом  $C^{*t}$  и операторами распознавания  $R^t$ , определёнными алгоритмом  $\mathcal{A}_{th}$ , является корректным на множестве задач  $\{Q^t\}$ .*

**Доказательство.** Как и в случае доказательства теоремы 1 будем строить операторы  $R_k^t$ ,  $k = 1, 2, \dots, l$  из  $l\{R^t\}$ , переводящие пару  $(\hat{x}(t), \bar{x}(t))$  в числовой вектор

$$\bar{x}_k^*(t) = (x_{t1,k}^*, \dots, x_{tl,k}^*), \quad x_{tk,k}^* = 1, \quad \forall u \neq k \quad x_{tu,k}^* = 0. \quad (3.10)$$

Фиксируя константы  $c_1, c_2$  на основании свойств входного вектора и вектора ожиданий и налагая аналогичные условия на матрицы предсказания, но только для  $t$ -ых столбцов, приходим к построению операторов распознавания  $\frac{1}{\gamma} R_k^t(\hat{x}(t), \mathcal{Z}^{t,k} \bar{x}(t))$  ( $\gamma$  — некоторый весовой коэффициент), выходной вектор которых удовлетворяет критерию (3.10). Необходимый базис в пространстве выходных векторов построен, полнота задачи  $Q^t$  доказана. ■

### 3.2.2. Динамические постановки задачи классификации

#### Случай одного распознающего блока

Теперь рассмотрим динамическую постановку задачи. Зафиксируем не конкретный момент времени  $t$ , а полуинтервал времени  $\Delta t = [\tau_s, \tau_s + h_i^j)$ . В этом случае распознающий блок  $R_i^j$  можно рассматривать как *динамический оператор распознавания*  $\hat{R}_i^j(\hat{x}_i^{j+1}(\tau_s), \mathcal{Z}_i^j, \omega_{i\Delta t}^j) = \gamma_{i\Delta t}^j$ , преобразующий функцию входного воздействия  $\omega_i^j$ , ограниченную на полуинтервале  $\Delta t$ , в функцию выходной величины  $\gamma_i^j$  на том же временном полуинтервале. Так как время полагается дискретным, то действие динамического оператора  $\hat{R}_i^j$  можно заменить последовательным действием статических операторов  $R(\hat{x}_i^{j+1}(\tau_s), \mathcal{Z}_i^j, \bar{x}_i^j(\tau_s)), R^1(\hat{x}_i^j(\tau_s + 1), \mathcal{Z}_i^j, \bar{x}_i^j(\tau_s + 1)), \dots, R^{h_i^j-1}(\hat{x}_i^j(\tau_s + h_i^j - 1), \mathcal{Z}_i^j, \bar{x}_i^j(\tau_s + h_i^j - 1))$ , в результате выдающих последовательность  $\{\bar{x}_i^{*j}(t)\} = \{\bar{x}_i^{*j}(\tau_s), \bar{x}_i^{*j}(\tau_s + 1), \dots, \bar{x}_i^{*j}(\tau_s + h_i^j - 1)\}$ . Так как параметр  $h_i^j$  фиксирован, то конечные последовательности векторов  $\omega_{i\Delta t}^j$  и  $\gamma_{i\Delta t}^j$  можно считать матрицами размерности  $l_i^j \times h_i^j$ . Далее будем опускать индексы  $i$  и  $j$ .



Формулировка задачи в динамическом случае будет выглядеть следующим образом: задача  $\hat{Q}(\hat{x}, \omega_{\Delta t}, \bar{\alpha})$  состоит в построении алгоритма  $\hat{A}^*$ , вычисляющего по поступившему начальному вектору ожиданий  $\hat{x}$  и матрице входных воздействий  $\omega_{\Delta t}$  последовательность векторов  $\beta_{\Delta t}$ , монотонно сходящуюся к информационному вектору  $\bar{\alpha}$ . Т. е. искомый оператор распознавания  $\hat{R}$  должен выдавать матрицу весов присутствия распознаваемых признаков  $\gamma_{\Delta t}$ , столбцы которой должны сходиться (с учётом корректного решающего правила) к информационному вектору:  $\lim_{t \rightarrow \tau_s + h} \bar{x}^*(t) = \bar{\alpha}$  (Рисунок 3.7). Введём соответствующие определения.

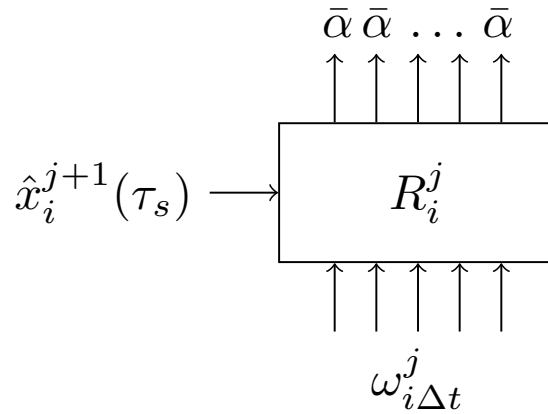


Рисунок 3.7. Динамическая схема корректности для одиночного распознающего блока.

**Определение 7.** Алгоритм  $\hat{A}(\hat{x}, \bar{x}) = \beta_{\Delta t} = (\bar{\beta}_1, \dots, \bar{\beta}_h)$  называется корректным для задачи  $\hat{Q}$ , если выполнено условие

$$\|\bar{\beta}_1 - \bar{\alpha}\| \geq \|\bar{\beta}_2 - \bar{\alpha}\| \geq \dots \geq \|\bar{\beta}_h - \bar{\alpha}\|, \quad (3.11)$$

причём последняя норма  $\|\bar{\beta}_h - \bar{\alpha}\|$  приравнивается нулю.  $\|\bar{\beta}_i - \bar{\alpha}\| = \sum_j (\beta_{ij} - \alpha_j)$ , где  $\beta_{ij} - \alpha_j = 0$ , если  $\beta_{ij} = \alpha_j$ ,  $\beta_{ij} - \alpha_j = \frac{1}{2}$ , если  $\beta_{ij} = \Delta$ , и  $\beta_{ij} - \alpha_j = 1$  иначе. Алгоритм  $\hat{A}$ , не являющийся корректным для  $\hat{Q}$ , называется некорректным.

**Утверждение 7.** Каждый алгоритм  $\hat{A} \in \{\hat{A}\}$  представим как последовательность выполнения алгоритмов  $\hat{R}$  и  $\hat{C}$ , где  $\hat{R}(\hat{x}, \mathcal{Z}, \omega_{\Delta t}) = \gamma_{\Delta t}$ ,

$\gamma_{\Delta t}$  — матрица действительных чисел,  $\hat{C}(\gamma_{\Delta t}) = \beta_{\Delta t}$ ,  $\beta_{\Delta t}$  — матрица значений  $\beta_{ij} \in \{0, 1, \Delta\}$ .

Корректное решающее правило  $\hat{C}^*$  для матрицы  $\gamma_{\Delta t}$  определяется через набор корректных правил для векторов  $(\hat{C}_1^*, \dots, \hat{C}_h^*)$  таких, что  $\|C_1^*(\bar{x}^*(\tau_s)) - \bar{\alpha}\| \geq \|C_2^*(\bar{x}^*(\tau_s + 1)) - \bar{\alpha}\| \geq \dots \geq \|C_h^*(\bar{x}^*(\tau_s + h - 1)) - \bar{\alpha}\|$ , где последнее слагаемое приравнивается нулю. В простейшем случае  $\forall i C_i^*(\bar{x}^*(\tau_s + i)) = \bar{\alpha}$  и такое решающее правило будем называть константным. Аналогично статическому случаю вводится определение линейного  $L\{\hat{R}\}$  замыкания над множеством  $\{\hat{R}\}$ .

**Определение 8.** Если множество матриц  $\{\hat{R}(\hat{x}, \omega_{\Delta t})\}$ , где  $\hat{R}$  пробегает некоторое множество операторов распознавания  $\hat{\mathcal{R}}$ , содержит базис в пространстве числовых матриц размерности  $l \times q$ , то задача  $\hat{Q}(\hat{x}, \omega_{\Delta t}, \bar{\alpha})$  называется полной относительно  $\hat{\mathcal{R}}$ .

**Утверждение 8** (аналог теоремы 2 из [74]). Если множество задач  $\{\hat{Q}\}$  состоит лишь из задач, полных относительно  $\hat{\mathcal{R}}$ , то линейное замыкание  $L\{\hat{R} \cdot \hat{C}^*\}$  ( $\hat{C}^*$  — произвольное фиксированное корректное решающее правило,  $\hat{R}$  пробегает множество  $\hat{\mathcal{R}}$ ) является корректным относительно  $\{\hat{Q}\}$ .

Для того, чтобы воспользоваться результатами, полученными при рассмотрении статических операторов  $R = R^0$  и  $R^t$ , необходимо ввести понятие подзадачи.

**Определение 9.** Если в задаче  $Q^t(\hat{x}(t), \bar{x}(t), \bar{\alpha})$  входной вектор  $\bar{x}(t)$  совпадает с  $t$ -ым столбцом матрицы  $\omega_{\Delta t}$  задачи  $\hat{Q}(\hat{x}, \omega_{\Delta t}, \bar{\alpha})$ , а вектор  $\hat{x}(t)$  вычисляется на основании алгоритма  $\mathfrak{A}_{th}$  с входным воздействием, равным матрице  $\omega_{\Delta t}$ , и начальным вектором ожиданий, равным  $\hat{x}$ , называется подзадачей задачи  $\hat{Q}$ .

Зафиксируем начальный вектор ожиданий  $\hat{x}$  и последовательность входных векторов  $\omega_{\Delta t}$ . Если, как и в статическом случае, мы будем рассматривать только

такие задачи  $\hat{Q}(\hat{x}, \omega_{\Delta t}, \bar{\alpha})$ , для которых в матрице  $\omega_{\Delta t}$  в каждом столбце с номером  $s \exists k$  такое, что  $x_{sk}$  является  $k$ -ым элементом вектора  $\bar{x}(\tau_s + s)$  и  $x_{sk} > 1/2$ , то можно сформулировать следующую теорему.

**Теорема 3.** *Линейное замыкание  $L\{\hat{\mathcal{A}}\}$  семейства алгоритмов  $\{\hat{\mathcal{A}}\} = \{\hat{R} \cdot \hat{C}^*\}$  с константным корректным решающим правилом  $\hat{C}^*$  и операторами распознавания  $\hat{R}$ , определёнными алгоритмом  $\mathfrak{A}_{th}$ , является корректным на множестве задач  $\{\hat{Q}\}$ .*

**Доказательство.** В силу того, что динамический оператор  $\hat{R}$  представим в виде последовательного применения статических операторов  $R^t$  к столбцам матрицы  $\omega_{\Delta t}$ , то для доказательства теоремы необходимо подобрать такие операторы  $R^t$ ,  $t = 0, \dots, h - 1$ , которые выдают последовательность  $\gamma_{\Delta t}$ , сходящуюся (с учётом применения константного корректного решающего правила  $\hat{C}^* = (C_1^*, \dots, C_i^*)$ ) к информационному вектору  $\bar{\alpha}$ .

Рассмотрим алгебраическое замыкание  $L\{R^t\}$  операторов вида  $R^t(\hat{x}(\tau_s + t), \mathcal{Z}, \omega_{\Delta t}(\tau_s + t))$  с фиксированным вектором  $\hat{x}(\tau_s + t)$  и  $\omega(\tau_s + t)$ . Из задачи  $\hat{Q}(\hat{x}, \omega_{\Delta t}, \bar{\alpha})$  выделим подзадачу  $Q_i(\hat{x}(\tau_s + t), \omega_{\Delta t}(\tau_s + t), \bar{\alpha})$ .

В силу теорем 1 и 2 можно построить такой оператор  $R^{*t} \in L\{R^t\}$ , что  $C^{*t} \cdot R^{*t}(\omega(\tau_s + i)) = \bar{\alpha}$ . Формируя таким образом линейные замыкания и выделяя подзадачи для каждого момента времени  $t \in [0, h)$ , получим необходимую последовательность  $\gamma_{\Delta t} = (C^{*1} \cdot R^{*1}(\omega(\tau_s)), \dots, C^{*h} \cdot R^{*h}(\omega(\tau_s + h - 1))) = (\bar{\alpha}, \dots, \bar{\alpha})$ , которая очевидным образом сходится к  $\bar{\alpha}$ . Корректность, таким образом, доказана. ■

### Случай двухуровневой иерархии распознающих блоков

Рассмотрим иерархическую постановку задачи, в которой будет учитываться иерархическая связь между операторами распознавания. Зафиксируем, как и в динамическом случае, промежуток времени  $\Delta t = [\tau_s, \tau_s + h_{i_2}^j]$ . Далее, будем рассматривать не единичный распознающий

блок, а двухуровневую иерархию  $E_j^2$ , на каждом уровне которой будет по одному распознающему блоку  $R_{i_1}^{j+1}$  и  $R_{i_2}^j$ . Данную иерархию можно рассматривать как *иерархический оператор распознавания*  $\hat{R}_{e,j}^2(\hat{x}_{i_1}^{j+1}(\tau_s), \mathcal{Z}_{i_1}^{j+1}, \mathcal{Z}_{i_2}^j, \omega_{i_2\Delta t}^j) = \bar{x}_{i_1}^{*j+1}$ , принимающий функцию входного воздействия  $\omega_{i_2\Delta t}^j$  нижнего уровня, ограниченную на промежутке времени  $\Delta t$ , и выдающий взвешенный вектор распознаваемых признаков  $\bar{x}_{i_1}^{*j+1}$ . Т. к. в иерархии  $E_j^2$  вектор состояния блока  $R_{i_1}^{j+1}$  является одновременно и вектором ожидания для блока  $R_{i_2}^j$ , а конечный выходной вектор  $\bar{x}_{i_2}^{*j}$  — входным вектором  $\bar{x}_{i_1}^{j+1}$ , то действие иерархического оператора  $\hat{R}_{e,j}^2$  можно заменить последовательным действием динамического оператора  $\hat{R}_{i_2}^j(\hat{x}_{i_2}^{j+1}, \mathcal{Z}_{i_2}^j, \omega_{i_2\Delta t}^j)$  нижнего уровня и статического оператора  $R_{i_1}^{j+1,t}(\hat{x}_{i_1}^{j+1}, \mathcal{Z}_{i_1}^{j+1}, \bar{x}_{i_1}^{j+1}(\tau_s))$  верхнего уровня, где  $t$  является моментом времени текущего вычислительного цикла распознающего блока  $R_{i_1}^{j+1}$ , соответствующему моменту времени  $\tau_s$  для распознающего блока  $R_{i_2}^j$ .

Формулировка задачи в иерархическом случае будет выглядеть следующим образом: задача  $\hat{Q}_{e,j}^2(\hat{x}_{i_1}^{j+2}, \omega_{i_2\Delta t}^j, \bar{\alpha}_{i_1}^{j+1})$  состоит в построении алгоритма  $\hat{A}_e$ , вычисляющего по поступившему начальному вектору ожиданий  $\hat{x}_{i_1}^{j+2}$  и матрице входных воздействий  $\omega_{i_2\Delta t}^j$  значения информационного вектора  $\bar{\alpha}_{i_1}^{j+1}$  (рис. 3.8). Определения свойств корректности алгоритма и полноты задачи, а также корректного решающего правила, в данном случае в точности совпадают с аналогичными определениями для статического случая.

Зафиксируем начальный вектор ожиданий  $\hat{x}_{i_1}^{j+2}$  и последовательность входных векторов  $\omega_{i_2\Delta t}^j$ . Если мы будем рассматривать только такие задачи  $\hat{Q}_{e,j}^2(\hat{x}_{i_1}^{j+2}, \omega_{i_2\Delta t}^j, \bar{\alpha}_{i_1}^{j+1})$ , для которых в матрице  $\omega_{i_2\Delta t}^j$  в каждом столбце с номером  $s \exists k$  такое, что  $x_{sk}$  является  $k$ -ым элементом вектора  $\bar{x}_{i_2}^j(\tau_s + s)$  и  $x_{sk} > 1/2$ , то можно сформулировать следующую теорему.

**Теорема 4.** *Линейное замыкание  $L\{\hat{A}_e\}$  семейства алгоритмов  $\{\hat{A}_e\} = \{\hat{R}_{e,j}^2 \cdot \hat{C}_e^*\}$  с произвольным корректным решающим правилом  $\hat{C}_e^*$  и операторами*

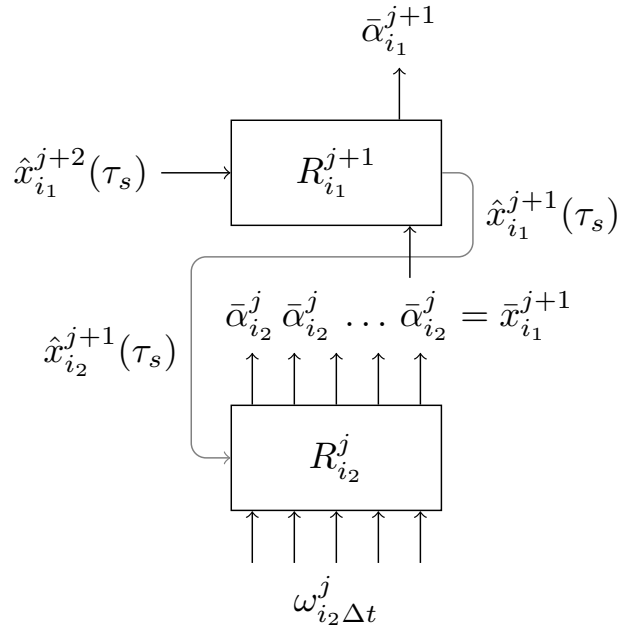


Рисунок 3.8. Динамическая схема корректности для случая двухуровневой иерархии.

распознавания  $\hat{R}_{e,j}^2$ , определёнными алгоритмом  $\mathfrak{A}_{th}$ , является корректным на множестве задач  $\{\hat{Q}_{e,j}^2\}$ .

**Доказательство.** Доказательство корректности в данном случае сводится к формулировке подзадачи нижнего уровня  $\hat{Q}_2(\hat{x}_{i_2}^{j+1}, \omega_{i_2}^j \Delta t, \bar{\alpha}_{i_2}^j)$ . Т. е. необходимо сформировать по задаче  $\hat{Q}_{e,j}^2$  информационный вектор  $\bar{\alpha}_{i_2}^j$  и вектор ожидания  $\hat{x}_{i_2}^{j+1}$ .

Следую определению вычислительного цикла в алгоритме  $\mathfrak{A}_{th}$ , будем считать, что  $\hat{x}_{i_2}^{j+1}$  равен тому состоянию распознающего блока  $R_{i_1}^{j+1}$ , которое было вычислено к моменту времени  $\tau_s$ , т. е. вектору  $\hat{x}_{i_1}^{j+1}$ . Каждый компонент  $\alpha_{i_2 u}^j$  информационного вектора  $\bar{\alpha}_{i_2}^j$  будем вычислять по следующему правилу:

$$\alpha_{i_2 u}^j = \begin{cases} 1, & \text{если } \sum_{v=1}^{l_{i_1}^{j+1}} \frac{\alpha_{i_1 v}^{j+1}}{|\mathcal{Z}_v|} \sum_{w=1}^{|\mathcal{Z}_v|} z_{1v}^w > 0, \\ 0, & \text{иначе.} \end{cases} \quad (3.12)$$

Т. к. входной вектор распознающего блока  $R_{i_1}^j$  равен вектору  $\bar{\alpha}_{i_2}^j$ , то такие значения компонентов информационного вектора позволяют удовлетворить

ограничениям теоремы 2 (существование такого компонента входного вектора, который бы имел значение большее  $1/2$ ). С другой стороны, формулируя задачу  $\hat{Q}_2(\hat{x}_{i_2}^{j+1}, \omega_{i_2 \Delta t}^j, \bar{\alpha}_{i_2}^j)$  мы попадаем в условия теоремы 3. Пользуясь результатами этих теорем, мы приходим к выводу, что среди алгоритмов линейного замыкания  $L\{\hat{\mathcal{A}}_e\}$  имеется оператор, переводящий пару  $(\hat{x}_{i_1}^{j+1}, \omega_{i_2 \Delta t}^j)$  в информационный вектор  $\bar{\alpha}_{i_1}^{j+1}$ . ■

### 3.2.3. Выводы параграфа 3.2

На основании исследуемых в статье математических свойств распознающих блоков, являющихся базовыми структурными элементами компонент знака, можно сделать следующие выводы:

- 1) динамические характеристики образной компоненты описываются в терминах классической теории управления;
- 2) базовые структурные элементы, из которых строятся компоненты знака, представляют собой операторы распознавания, которые можно изучать в рамках классических алгебраических теорий;
- 3) базовые структурные элементы, из которых строятся компоненты знака, обладают свойством корректности относительно входных данных и требуемых результатов классификации, что означает существования такого процесса обучения, в рамках которого будут сформирована иерархия базовых элементов, корректно распознающая (классифицирующая) поступающие сигналы.

## 3.3. Алгоритм образования нового знака

### 3.3.1. Общая схема

В соответствии с тем, что было сказано при описании синтаксического уровня модели картины мира в главе 2, до того, как происходит связывание компонент знака в единую структуру под одним именем, существуют лишь «парные» переходы между компонентами знания агента о том или ином явлении. До моментов именования эти компоненты образуют «протоznak»:

- перцепт — становится образом знака после выполнения процедуры именования,
- функциональное значение — значением знака,
- биологический смысл — личностным смыслом знака.

С введением этой структуры схема алгоритма формирования нового знака будет иметь следующий вид [6].

1. Формирование перцепта.
2. Порождение на основе прошлого опыта или на основе прецедентов — множества пар вида «перцепт — функциональное значение» — функционального значения объекта.
3. Получение субъектом из культурной среды, аккумулированной в системе естественного языка, пары «имя знака — значение» и оценка специальным механизмом степени близости функционального значения, построенного на стадии 1 к значению, полученному из культурной среды; в случае недостаточной близости — переход к стадии 1 и продолжение формирования перцепта.

4. Связывание имени из пары «имя знака — значение» с перцептом, построенным после завершения выполнения стадий 1–3; с этого момента перцепт превращается в образ.
5. Формирование личностных смыслов знака на основе прецедентов действий с предметом.
6. Связывание имени из пары «имя знака — значение» со сформированным личностным смыслом. С этого момента функциональное значение превращается в значение, а биологический смысл — в личностный смысл.
7. Продолжение отображения «биологический смысл — перцепт» включением в область определения отображения личностного смысла, полученного в предыдущем пункте, а в область значений отображения — образа из стадии 4.

Наиболее существенным моментом в приведённом алгоритме является итерационный процесс на стадиях 1–3. Данная глава будет посвящена исследованию этого процесса.

### 3.3.2. Процедурные и объектные признаки

Введём семейство бинарных отношений  $\{\sqsubset, \sqsubset^1, \sqsubset^2, \dots\}$ , определённых на декартовом произведении  $\{f_k\} \times \{f_k\}$ . Будем считать, что «признак  $f_1$  является составляющим признака  $f_2$ » или «признак  $f_2$  измеряется по признаку  $f_1$ »,  $(f_1, f_2) \in \sqsubset$  или  $f_1 \sqsubset f_2$ , в том случае, если  $f_1 \dashv R_1^j, f_2 \dashv R_2^{j+1}$ ,  $R_2^{j+1}$  — родительский блок по отношению к  $R_1^j$  и в множестве матриц предсказания  $Z_2$  признака  $f_2$  существует как минимум одна матрица  $Z_r^2$ , содержащая некоторый столбец  $\bar{z}_u^r$  с элементом  $z_{uv}^r \neq 0$ , где  $v$  — индекс признака  $f_1$  во входном векторе для распознающего блока  $R_2^{j+1}$ .



Пара признаков  $(f_1, f_2) \in \square^t$  или  $f_1 \square^t f_2$ , где  $t \in \{1, 2, \dots\}$ , в том случае, если  $f_1 \dashv R_1^j, f_2 \dashv R_2^{j+1}$ ,  $R_2^{j+1}$  — родительский блок по отношению к  $R_1^j$  и в множестве матриц предсказания  $Z_2$  признака  $f_2$  существует как минимум одна матрица  $Z_r^2$ , содержащая  $t$ -ый столбец  $\bar{z}_t^r$  с элементом  $z_{tv}^r \neq 0$ , где  $v$  — индекс признака  $f_1$  во входном векторе для распознающего блока  $R_2^{j+1}$ .

Каждый элемент векторов—столбцов соотносится с признаком из входного множества признаков распознающего блока, что означает задание типа для каждого элемента вектора—столбца. Будем обозначать тип  $k$ -го элемента вектора-столбца распознающего блока  $R_i^j$  как  $f_i^j(k) \in F_i^j$ ,  $k \in (1, q_i^j)$ .

Введём два выделенных из множества  $\{f_k\}$  признака:  $f_c$  — «условие» и  $f_e$  — «эффект», распознаваемые одним распознающим блоком  $R_0^1$ :  $F_0^{*1} = \{f_c, f_e\}$ .

**Определение 10.** *Те признаки, которые распознаются распознающими блоками, выступающими родительскими по отношению к блоку  $R_0^1$ , будем называть процедурными признаками, остальные — объектными признаками.*

Для любого процедурного признака выполняются следующие естественные условия:

- условие всегда предшествует эффекту,
- условие всегда влечет за собой эффект и
- все условия всегда отделены от своих эффектов.

Иными словами, если  $f_1$  — процедурный признак, то если в столбце  $\bar{z}_u^r$  матрицы предсказания  $Z_r^1$  элемент  $z_{uv}^r$ , соответствующий признаку  $f_c$ , не равен 0, то в этом столбце соответствующий признаку  $f_e$  элемент вектора — нулевой, в столбце  $z_{u+t}^r, t > 0$  наоборот — элемент  $z_{u+t,v}^r$ , соответствующий признаку  $f_c$ , равен 0, а соответствующий признаку  $f_e$  элемент — не нулевой.

**Определение 11.** *Те столбцы матрицы предсказания  $Z$ , в которых соответствующий признаку  $f_e$  элемент вектора не нулевой, будем называть*

столбцами эффектов, а те столбцы матрицы предсказания  $Z$ , в которых не равен нулю элемент вектора, соответствующий признаку  $f_c$  — столбцами условий.

Пополним семейство отношений  $\{\sqsubset, \sqsubset^1, \sqsubset^2, \dots\}$  двумя отношениями:  $\sqsubset^c$  и  $\sqsubset^e$ , принадлежность к которым пары признаков  $(f_1, f_2)$  свидетельствует о том, что признак  $f_1$  присутствует соответственно в столбце условий и эффектов как минимум в одной матрице предсказания процедурного признака  $f_2$ .

### 3.3.3. Определение компонент знака

**Определение 12.** Если  $f_1$  — признак, то подмножество  $\tilde{p}(f_1)$  множества  $\{f_k\}$  таких признаков, что  $\forall f_i \in \tilde{p}(f_1) f_i \sqsubset f_1$ , будем называть перцептом признака  $f_1$ .

На множестве всех перцептов  $\tilde{P}$  введём величину  $\rho_p(\tilde{p}(f_1), \tilde{p}(f_2))$ , вычисляемую по следующему правилу:

- если  $f_1$  и  $f_2$  распознаются разными распознающими блоками, т. е.  $f_1 \dashv R_1^j, f_2 \dashv R_2^i$ , то  $\rho_p(\tilde{p}(f_1), \tilde{p}(f_2)) = \infty$ ,
- если  $f_1$  и  $f_2$  распознаются одним и тем же распознающим блоком  $R_1^j$  со множеством входных признаков  $F_1^j$  мощности  $q$  и характерным временем  $h$ , то

$$\rho_p(\tilde{p}(f_1), \tilde{p}(f_2)) = \min_{\substack{Z_r^1 \in Z_1 \\ Z_s^2 \in Z_2}} \frac{1}{q \cdot h} \sum_{u=1}^h \|\bar{z}_u^r - \bar{z}_u^s\|. \quad (3.13)$$

**Утверждение 9.** Величина  $\rho_p$  является метрикой на множестве перцептов  $\tilde{P}$ .

**Доказательство.** Свойства тождества и симметрии очевидны вследствие свойств введённой нормы. Проверим неравенство треугольника. В том случае, когда признаки, распознаются разными блоками — неравенство следует из

свойств бесконечности. Во втором случае, в следствие того, что  $q$  и  $h$  являются константами, то неравенство следует из неравенства треугольника для введённой нормы. ■

**Определение 13.** Если  $f_1$  — признак,  $f_2$  — процедурный признак,  $f_1 \sqsubset^c f_2$ , то будем называть  $f_2$  функциональным значением признака  $f_1$ . Множество всех функциональных значений признака  $f_1$  будем обозначать  $\tilde{m}(f_1)$ .

На множестве всех функциональных значений  $\tilde{M}$  введём величину  $\rho_m(\tilde{m}(f_1), \tilde{m}(f_2))$ , вычисляемую по следующему правилу:

$$\rho_m(\tilde{m}_1(f_1), \tilde{m}_2(f_2)) = \min_{\substack{f_i \in \tilde{m}(f_1) \\ f_j \in \tilde{m}(f_2)}} \rho_p(\tilde{p}(f_i), \tilde{p}(f_j)). \quad (3.14)$$

**Утверждение 10.** Величина  $\rho_m$  является метрикой на множестве функциональных значений  $\tilde{M}$ .

**Доказательство.** Очевидно вследствие того, что функция  $\rho_p$  является метрикой, а функция минимума не меняет свойств метрики. ■

Матрицу предсказания  $Z_r^p$  процедурного признака  $f_p$  всегда можно представить в следующем виде:

$$Z_r^p = (\bar{z}_1^{r,c}, \dots, \bar{z}_{j_1}^{r,c}, \bar{z}_{j_1+1}^{r,e}, \dots, \bar{z}_{i_1}^{r,e}, \dots, \dots, \bar{z}_{i_{k-1}+1}^{r,c}, \dots, \bar{z}_{j_k}^{r,c}, \bar{z}_{j_k+1}^{r,e}, \dots, \bar{z}_{i_k}^{r,e}), \quad (3.15)$$

где  $\bar{z}_j^{r,c}$  — столбцы причин,  $\bar{z}_i^{r,e}$  — столбцы следствий.

Величину  $k$  будем называть актностью процедурного признака. В дальнейшем будем рассматривать простые матрицы предсказаний  $k$ -актного процедурного признака:

$$Z_r^p = (\bar{z}_1^{r,c}, \bar{z}_2^{r,e}, \dots, \dots, \bar{z}_{2 \cdot k - 1}^{r,c}, \bar{z}_{2 \cdot k}^{r,e}). \quad (3.16)$$

Краткая форма  $k$ -актного процедурного признака  $f_p$  имеет матрицу предсказания, в которой оставлены только первый столбец условий и последний столбец эффектов.

Любой одноактный процедурный признак  $f_p$ , распознаваемый блоком  $R_i^j$ , можно представить в виде правила  $r_p = (F_C(f_p), F_A(f_p), F_D(f_p))$ , в котором:

- $F_C(f_p) \subseteq F_i^j$  — множество признаков — условий правила:  $\forall f \in F_C(f_p) \ f \sqsubset^c f_p$ ;
- $F_A(f_p) \subseteq F_i^j$  — множество добавляемых правилом признаков:  $\forall f \in F_A(f_p) \ f \sqsubset^e f_p, f \notin F_C$ ;
- $F_D(f_p) \subseteq F_i^j$  — множество удаляемых правилом признаков:  $\forall f \in F_D(f_p) \ f \notin F_A, f \in F_C$ .

Очевидно, выполняются следующие соотношения:  $F_A(f_p) \cap F_D(f_p) = \emptyset, F_A(f_p) \cap F_C(f_p) = \emptyset, F_D(f_p) \subseteq F_C(f_p)$ .

### 3.3.4. Свойства на множестве признаков

**Определение 14.** *Процедурный признак  $f_p^1$  с матрицей предсказания  $Z = (\bar{z}_1^c, \bar{z}_2^e)$  выполняется на векторе  $z$  длины  $q$ , если  $z \cdot \bar{z}_1^c = \bar{z}_1^c$ .*

Будем говорить, что процедурный признак  $f_p^1$  выполним в условиях процедурного признака  $f_p^2$ , если

- оба признака распознаются одним и тем же распознающим блоком  $R_i^j$  и признак  $f_p^1$  выполняется на столбце условий матрицы предсказания признака  $f_p^2$ ,
- $f_p^1 \dashv R_1^{j_1}, f_p^2 \dashv R_2^{j_2}$ , множества  $F_C(f_p^1)$  и  $F_C(f_p^2)$  состоят из одних и тех же признаков, образуемый вектор  $\tilde{z}$  (той же мощности, что и множество  $F_1^{j_1}$ ) элементы которого, соответствующие признакам из  $F_C(f_p^2)$  принимаются равными 1, остальные — 0, и признак  $f_p^1$  выполним на векторе  $\tilde{z}$ .

**Определение 15.** *Будем говорить, что два процедурных признака  $f_p^1$  и  $f_p^2$  конфликтуют, если выполнено как минимум одно из следующих условий:*

- $F_D(f_p^1) \cap F_A(f_p^2) \neq \emptyset$ ,
- $F_D(f_p^2) \cap F_A(f_p^1) \neq \emptyset$ ,
- $F_D(f_p^1) \cap F_C(f_p^2) \neq \emptyset$ ,
- $F_D(f_p^2) \cap F_C(f_p^1) \neq \emptyset$ .

**Определение 16.** *Результатом операции сохраняющего приведения вектор—столбца  $\bar{z}_1$  к множеству входных признаков  $F_{i_2}^{j_2}$  будем называть такой вектор  $\bar{z}_3$  длины  $q_{i_2}^{j_2}$ , элемент которого  $z_{3k} = 1$ , если  $f_{i_1}^{j_1}(k) = f_{i_2}^{j_2}(k)$  и  $z_{1k} = 1$ , иначе  $z_{3k} = 0$ , и обозначать  $(\bar{z}_1 \rightarrow F_{i_2}^{j_2}) = \bar{z}_3$ .*

**Определение 17.** *Результатом операции сужающего приведения вектор—столбца  $\bar{z}_1$  к некоторому столбцу  $\bar{z}_2$  распознающего блока  $R_{i_2}^{j_2}$  будем называть такой вектор  $\bar{z}_3$  длины  $q_{i_2}^{j_2}$ , элемент которого  $z_{3k} = 1$ , если  $f_{i_1}^{j_1}(k) = f_{i_2}^{j_2}(k)$ ,  $z_{2k} = 1$  и  $z_{1k} = 1$ , иначе  $z_{3k} = 0$ , и обозначать  $(\bar{z}_1 \Rightarrow \bar{z}_2) = \bar{z}_3$ .*

### 3.3.5. Опыт наблюдения и алгоритм $\mathfrak{A}_{pt}$

Будем считать, что у субъекта имеется опыт наблюдения, который выражается в виде отношения  $\Psi_p^m: \tilde{p}\Psi_p^m\tilde{m}$ , или  $\Psi_p^m(\tilde{p}) = \tilde{m}$ , в том случае, если  $\tilde{p} \in \tilde{P}$  является перцептом некоторого признака  $f$ , а  $\tilde{m} \in \tilde{M}$  — функциональным значением того же признака  $f$ .

На странице 86 представлен алгоритм доопределения функции  $\Psi_p^m$ , который и представляет собой суть итерационного процесса во время образования знака согласно алгоритму на странице 79. Доопределение проводится на новую пару  $(\tilde{p}, \tilde{m})$ , где функциональное значение  $\tilde{m}$  строится в сравнении с эталоном  $\tilde{m}^0$ , а перцепт  $\tilde{p}$  формируется на основе подмножества составляющих признаков  $\hat{F}$ . Доопределение функции  $\Psi_p^m$  означает формирование нового признака  $f^*$ , т. е. его первой матрицы предсказания  $Z^*$  в рамках распознающего блока  $R^*$ .

---

**Алгоритм 3.** Алгоритм  $\mathfrak{A}_{pm}$ 


---

**Вход:**  $\tilde{m}^0 = \{f_p\}$ ,  $\Psi_p^m$ ,  $\hat{F} \subseteq \{f_k\}$ ;

1:  $\tilde{p}^{*(0)} := \emptyset$ ;

2:  $Z^{*(0)} := \emptyset$ ;

3:  $t := 0$ ;

4: **for all**  $f^{(t)} \in \hat{F}$  **do**

5:     **if**  $\exists \tilde{m}^{(t)} \in \tilde{M}$  такое, что  $(\tilde{p}(f^{(t)}), \tilde{m}^{(t)}) \in \Psi_p^m$  **and**  $\tilde{m}^{(t)}$  выполним в условиях признака  $f_p$  **and**  $\nexists f : f \in \tilde{p}^{*(t)}, (\tilde{p}(f), \tilde{m}(f)) \in \Psi_p^m, \tilde{m}^0$  конфликтует с  $\tilde{m}^{(t)}$  **then**

6:          $\tilde{p}^{*(t)} = \tilde{p}^{*(t)} \cup \{f^{(t)}\}$ ;

7:         **if**  $\exists R_i^j$  такой, что  $f^{(t)} \in F_i^j$  **then**

8:              $R_i^{j(t)} := R_i^j$ ;

9:         **else**

10:              $R_i^{j(t)} := \arg \max_{\{R\}} (F_i^j \cap \tilde{p}^{(t)}), F_i^{j(t)} := F_i^j \cup f^{(t)}$ ;

11:         **end if**

12:          $\bar{z}_s := (z_{s1}, z_{s2}, \dots, z_{sq}), z_{sk} = 1$ , если  $k$  – индекс признака  $f^{(t)}$  во входном векторе распознающего блока  $R_i^{j(t)}$  и  $z_{sk} = 0$  иначе;

13:          $Z^{*(t)} := Z^{*(t)} \cup \bar{z}_s$ ;

14:          $Z_p^{(t)} := (\bar{z}_1^{c(t)}, \bar{z}_2^{e(t)}, \dots, \bar{z}_{2 \cdot k-1}^{c(t)}, \bar{z}_{2 \cdot k}^{e(t)})$ , где  $\bar{z}_i^{c(t)} = \bigvee_{\tilde{m}_j^{(t)}} (\bar{z}_j^{c(t)} \rightarrow F_p^j)$ ,

15:          $\bar{z}_i^{e(t)} = \bigvee_{\tilde{m}_j^{(t)}} (\bar{z}_j^{e(t)} \Rightarrow \bar{z}_j^e)$ ;

16:         **end if**

17:          $\tilde{m}^{*(t)} = \{f_p^{(t)}\}$ ;

18:          $Z^{*(t)} = \{Z^{*(t)}\}$ ;

19:          $t = t + 1$ ;

20: **end for**

**Выход:**  $\Psi_p^m$ , определённая на паре  $(\tilde{p}, \tilde{m})$ , где  $\tilde{p} = \lim_{t \rightarrow |\hat{F}|} \tilde{p}^{*(t)}$ ,  $\tilde{m} =$

$\lim_{t \rightarrow |\hat{F}|} \tilde{m}^{*(t)}, f^*, Z^* = \lim_{t \rightarrow |\hat{F}|} Z^{*(t)}, \mathcal{Z}^* = \{Z^*\}$ ;

---

Для обоснования данного алгоритма необходимо доказать сходимостъ функциональных значений, которые строятся в процессе его выполнения.

### 3.3.6. Корректность алгоритма $\mathfrak{A}_{pm}$

**Теорема 5** (о корректности алгоритма  $\mathfrak{A}_{pm}$ ). *Алгоритм  $\mathfrak{A}_{pm}$  корректен, т. е. последовательность функциональных значений  $\langle \tilde{m}^{*(0)}, \tilde{m}^{*(1)}, \dots \rangle$ , которая строится с помощью алгоритма  $\mathfrak{A}_{pm}$  для функционального значения  $\tilde{m}^0$ , сходится к  $\tilde{m}^0$ .*

**Доказательство.** Рассмотрим два элемента последовательности  $\tilde{m}^{*(t)} = \{f_p^{(t)}\}$  и  $\tilde{m}^{*(t+1)} = \{f_p^{(t+1)}\}$ . Соответствующие матрицы предсказания будут иметь следующий вид:

$$Z_p^{(t)} = (\bar{z}_1^{c(t)}, \bar{z}_2^{e(t)}, \dots, \dots, \bar{z}_{2 \cdot k-1}^{c(t)}, \bar{z}_{2 \cdot k}^{e(t)}), \quad (3.17)$$

$$Z_p^{(t+1)} = (\bar{z}_1^{c(t+1)}, \bar{z}_2^{e(t+1)}, \dots, \dots, \bar{z}_{2 \cdot k-1}^{c(t+1)}, \bar{z}_{2 \cdot k}^{e(t+1)}). \quad (3.18)$$

Если на шаге 1 и 2 алгоритма  $\mathfrak{A}_{pm}$  на  $(t+1)$ -й итерации не был найден подходящий признак, то матрицы  $Z_p^{(t)}$  и  $Z_p^{(t+1)}$  равны. Рассмотрим случай, когда был найден подходящий признак  $f_p^{(t+1)}$  с функциональным значением  $\tilde{m}^{(t+1)} = \{\tilde{f}_p^{(t+1)}\}$  с соответствующей матрицей предсказания  $\tilde{Z}_p^{(t+1)} = (\bar{z}^{c(t+1)}, \bar{z}^{e(t+1)})$ .

Т. к. выполнено условие шага 1, то признак  $\tilde{f}_p^{(t+1)}$  выполним на некотором  $(2 \cdot s - 1)$ -м столбце условий матрицы предсказания признака  $f_p$ . Это означает, что матрицы  $Z_p^{(t)}$  и  $Z_p^{(t+1)}$  будут отличаться только в двух вектор-столбцах  $(2 \cdot s - 1)$ -м и  $(2 \cdot s)$ -м:

$$\bar{z}_{2 \cdot s-1}^{c(t+1)} = \bar{z}_{2 \cdot s-1}^{c(t)} \vee (\bar{z}^{c(t+1)} \rightarrow F_p^j), \bar{z}_{2 \cdot s}^{e(t+1)} = \bar{z}_{2 \cdot s}^{e(t)} \vee (\bar{z}^{e(t+1)} \Rightarrow \bar{z}_{2 \cdot s}^e). \quad (3.19)$$

По определению расстояние между функциональными значениями  $\tilde{m}^{(t)}$  и  $\tilde{m}^0$  примет следующее значение:

$$\begin{aligned} \rho_m(\tilde{m}^{(t)}, \tilde{m}^0) &= \min_{\substack{f_i \in \tilde{m}^{(t)} \\ f_j \in \tilde{m}^0}} \rho_p(\tilde{p}(f_i), \tilde{p}(f_j)) = \rho_p(\tilde{p}(f_p^{(t)}), \tilde{p}(f_p)) = \\ &= \frac{1}{q \cdot h} \sum_{\substack{\bar{z}_u^1 \in Z_p^{(t)} \\ \bar{z}_u^2 \in Z_p}} \|\bar{z}_u^1 - \bar{z}_u^2\|. \end{aligned} \quad (3.20)$$

Аналогично для  $\tilde{m}^{(t+1)}$ :

$$\rho_m(\tilde{m}^{(t+1)}, \tilde{m}^0) = \frac{1}{q \cdot h} \sum_{\substack{\bar{z}_u^1 \in Z_p^{(t+1)} \\ \bar{z}_u^2 \in Z_p}} \|\bar{z}_u^1 - \bar{z}_u^2\|. \quad (3.21)$$

Рассмотрим разность

$$\begin{aligned} \rho_m(\tilde{m}^{(t)}, \tilde{m}^0) - \rho_m(\tilde{m}^{(t+1)}, \tilde{m}^0) &= \frac{1}{q \cdot h} (\|\bar{z}_{2 \cdot s-1}^{c(t)} - \bar{z}_{2 \cdot s-1}^c\| + \|\bar{z}_{2 \cdot s}^{e(t)} - \bar{z}_{2 \cdot s}^e\| - \\ &- \|\bar{z}_{2 \cdot s-1}^{c(t+1)} - \bar{z}_{2 \cdot s-1}^c\| - \|\bar{z}_{2 \cdot s}^{e(t+1)} - \bar{z}_{2 \cdot s}^e\|) = \frac{1}{q \cdot h} (\|\bar{z}_{2 \cdot s-1}^{c(t)} - \bar{z}_{2 \cdot s-1}^c\| + \\ &+ \|\bar{z}_{2 \cdot s}^{e(t)} - \bar{z}_{2 \cdot s}^e\| - \|\bar{z}_{2 \cdot s-1}^{c(t)} \vee (\bar{z}^{c(t+1)} \rightarrow F_p^j) - \bar{z}_{2 \cdot s-1}^c\| - \\ &- \|\bar{z}_{2 \cdot s}^{e(t)} \vee (\bar{z}^{e(t+1)} \Rightarrow \bar{z}_{2 \cdot s}^e) - \bar{z}_{2 \cdot s}^e\|), \end{aligned} \quad (3.22)$$

где  $\bar{z}_{2 \cdot s-1}^c, \bar{z}_{2 \cdot s}^e$  — столбцы матрицы предсказания процедурного признака  $f_p$ , соответствующего функциональному значению  $\tilde{m}^0$ .

Так как  $\tilde{f}_p^{(t+1)}$  выполним на  $(2 \cdot s - 1)$ -м столбце условий матрицы предсказания признака  $f_p$ , то после применении операции приведения  $\bar{z}^{c(t+1)} \rightarrow F_p^j$  в результирующем векторе единицы появляются только на тех же местах что и в векторе  $\bar{z}_{2 \cdot s-1}^c$ .

Это означает, что в векторе  $\bar{z}_{2 \cdot s-1}^{c(t)} \vee (\bar{z}^{c(t+1)} \rightarrow F_p^j)$  по сравнению с вектором  $\bar{z}_{2 \cdot s-1}^{c(t)}$  единицы находятся только в тех же местах, что и в векторе  $\bar{z}_{2 \cdot s-1}^c$ , а новых нулей не появляется. В следствие чего разность  $\|\bar{z}_{2 \cdot s-1}^{c(t)} - \bar{z}_{2 \cdot s-1}^c\| - \|\bar{z}_{2 \cdot s-1}^{c(t)} \vee (\bar{z}^{c(t+1)} \rightarrow F_p^j) - \bar{z}_{2 \cdot s-1}^c\|$  всегда больше нуля.

Так как для столбцов эффектов применяется операция сужающего приведения, которая оставляет единицы только на тех местах, на которых



одновременно находятся единицы в приводимом векторе и векторе, к которому осуществляется приведение. В связи с этим разность  $\|\bar{z}_{2.s}^{e(t)} - \bar{z}_{2.s}^e\| - \|\bar{z}_{2.s}^{e(t)} \vee (\bar{z}^{e(t+1)} \Rightarrow \bar{z}_{2.s}^e) - \bar{z}_{2.s}^e\|$  также больше нуля.

Так как обе разности в скобках выражения для  $\rho_m(\tilde{m}^{(t)}, \tilde{m}^0) - \rho_m(\tilde{m}^{(t+1)}, \tilde{m}^0)$  больше нуля, то отсюда следует, что функциональное значение  $\tilde{m}^{(t+1)}$  ближе к  $\tilde{m}^0$ . В виду произвольности выбора итерации  $t$ , это приводит к сходимости всей последовательности  $\langle \tilde{m}^{*(0)}, \tilde{m}^{*(1)}, \dots \rangle$ . ■

# Заключение

В работе были получены следующие основные результаты.

1. Впервые построена модель структурных компонент знака — элемента картины мира субъекта деятельности.
2. Построены операторы распознавания в статическом, динамическом и иерархических случаях в терминах алгебраической теории для образной компоненты знака.
3. Доказаны теоремы корректности линейных замыканий множеств построенных в работе операторов распознавания.
4. Построен алгоритм итерационного процесса формирования и связывания образа и значения образуемого знака.
5. Проведено исследование сходимости итерационного процесса формирования и связывания двух компонент знака.

# Список литературы

1. Моделирование поведения, управляемого сознанием / Ю. М. Кузнецова, Г. С. Осипов, А.И. Панов и др. // Системный анализ и информационные технологии: тр. Четвертой Междунар. конф. (Абзаково, Россия, 17–23 авг. 2011 г.): в 2т. — Т. 1. — Челябинск : Изд-во Челяб. Гос. ун-та, 2011. — С. 6–13.
2. Панов А. И. Моделирование процесса принятия решения агентом со знаковой картиной мира // Теория и практика системного анализа: Труды II Всероссийской научной конференции молодых учёных с международным участием. — Т. 1. — Рыбинск : РГАТУ имени П.А. Соловьёва, 2012. — С. 126–137.
3. Панов А. И. Семейства отношений в знаковой картине мира // Тринадцатая национальная конференция по искусственному интеллекту с международным участием КИИ–2012 (16–20 октября 2012г., г. Белгород, Россия): Труды конференции. — Белгород : Издательство БГТУ, 2012. — С. 301–309.
4. Петров А. В., Панов А. И. Моделирование поведения автономного мобильного робота // Вестник Рыбинского государственного авиационного технического университета имени П.А. Соловьёва. — 2012. — № 2. — С. 179–185.
5. Принципы построения многоуровневых архитектур систем управления беспилотными летательными аппаратами / Д. В. Зубарев, Д. А. Макаров, А. И. Панов, К. С. Яковлев // Авиакосмическое приборостроение. — 2013. — № 4. — С. 10–28.

6. Осипов Г. С., Панов А. И., Чудова Н. В. Управление поведением как функция сознания. I. Картина мира и целеполагание // Известия РАН. Теория и системы управления. — 2014. — № 4. — С. 83–96.
7. Панов А. И., Чудова Н. В. Моделирование процесса образования естественных понятий методами искусственного интеллекта // Четвертая международная конференция по когнитивной науке: Тезисы докладов: В 2 т. Томск, 22-26 июня 2010 г. — Т. 2. — Томск : Томский государственный университет, 2010. — С. 455.
8. Элементы знакового опосредования в интеллектуальном агенте / Ю. М. Кузнецова, А.И. Панов, А. В. Петров, Н. В. Чудова // V съезд Общероссийской общественной организации «Российское психологическое общество». Материалы участников съезда. — Т. 1. — М. : Российское психологическое общество, 2012. — С. 490–491.
9. Панов А. И., Петров А. В. Моделирование потребностей и мотивов интеллектуального агента со знаковой картиной мира // Пятая международная конференция по когнитивной науке: Тезисы докладов: Калининград, 18-24 июня 2012 г. — Калининград : Межрегиональная ассоциация когнитивных исследований (МАКИ), 2012. — С. 813–815.
10. Петров А. В., Панов А. И., Березовский Р. Г. Когнитивные архитектуры и проекты систем управления автономных мобильных роботов // Вестник Рыбинского государственного авиационного технического университета имени П.А. Соловьева. — 2013. — № 1. — С. 111–113.
11. Панов А. И., Петров А. В. Аналитическое и целостное представление образов интеллектуальным агентом со знаковой картиной мира // Шестая международная конференция по когнитивной науке: Тезисы докладов: Калининград, 23-27 июня 2014 г. — Калининград : Межрегиональная ассоциация когнитивных исследований (МАКИ), 2014. — С. 466–468.

12. Osipov G., Panov A., Chudova N. Semiotic foundations of consciousness functions // Book of Abstracts. The First Conference of the International Association for Cognitive Semiotics (IACS-2014). September 25-27, 2014. — Lund : Lund University, 2014. — P. 211.
13. Панов А. И. Алгебраические свойства операторов распознавания в моделях зрительного восприятия // Машинное обучение и анализ данных. — 2014. — № 7. — С. 863–874.
14. Osipov G. S., Panov A. I., Chudova N. V. Behavior control as a function of consciousness. I. world model and goal setting // Journal of Computer and Systems Sciences International. — 2014. — Vol. 53, no. 4. — P. 517–529.
15. Выготский Л. С. Психология развития человека. — М. : Издательство Смысл, 2005. — С. 1136.
16. Зинченко П. И. Вопросы психологии памяти // Психологическая наука в СССР в 2-х тт. Т. 1. — М. : Изд-во АПН РСФСР, 1959.
17. Лурия А. Р. Мозг и психические процессы. Т. 1. — М. : Педагогика, 1963.
18. Лурия А. Р. Мозг и психические процессы. Т. 2. — М. : Педагогика, 1970.
19. Леонтьев А. Н. Деятельность. Сознание. Личность. — М. : Политиздат, 1975.
20. Артемьева Е. Ю. Психология субъективной семантики. — М. : Издательство МГУ, 1980.
21. World Views: From fragmentation to integration / D. Aerts, S. Hellemans, L. Apostel et al. — Brussels : VUB Brussels University Press, 1994.
22. Vidal C. Metaphilosophical criteria for worldview comparison // Metaphilosophy. — 2012. — Vol. 43, no. 3. — P. 306–347.

23. Koltko-Rivera M. E. The psychology of worldviews // Review of General Psychology. — 2004. — Vol. 8, no. 1. — P. 3–58.
24. National Institutes of Health. Brain research through advancing innovative neurotechnologies (BRAIN). — 2014. — URL: <http://www.nih.gov/science/brain> (дата обращения: 15.09.2014).
25. European Commission. Human brain project. — 2014. — URL: <https://www.humanbrainproject.eu> (дата обращения: 15.09.2014).
26. Borji A., Itti L. State-of-the-art in visual attention modeling // IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. — 2013. — Vol. 35, no. 1. — P. 185–207.
27. Иваницкий А. М. Мозговая основа субъективных переживаний: гипотеза информационного синтеза // Журнал высшей нервной деятельности. — 1996. — Т. 46, № 2. — С. 241–282.
28. Ivanitsky A. M. Brain basis of subjective experience: information synthesis hypothesis // Neuroscience and Behavioral Physiology. — 1996. — Vol. 46, no. 2. — P. 251–252.
29. Эделмен Д., Маунткасл В. Разумный мозг. — М. : Мир, 1981.
30. Baars B. J. Global workspace theory of consciousness: toward a cognitive neuroscience of human experience // Progress in Brain Research. — 2005. — Vol. 150. — P. 45–53.
31. Dehaene S., Sergent C., Changeux J. P. A neuronal network model linking subjective reports and objective physiological data during conscious perception // Proceedings of National Academy of Sciences USA. — 2003. — Vol. 100, no. 14. — P. 8520–8525.

32. Соколов Е. Н. Нейроны сознания // Психология. Журнал Высшей школы экономики. — 2004. — Т. 1, № 2. — С. 3–15.
33. George D., Hawkins J. Towards a mathematical theory of cortical micro-circuits // PLoS Computational Biology. — 2009. — Vol. 5, no. 10. — P. 1–26.
34. Болотова Ю. А., Спицын В. Г., Фомин А. Э. Применение иерархической временной памяти в распознавании изображений // Известия Томского политехнического университета. — 2011. — Т. 318, № 5. — С. 60–63.
35. Numenta. Applications. — 2014. — URL: <https://www.numenta.com/> (дата обращения: 15.09.2014).
36. Sergin A. V., Sergin V. Y. Model of perception: The hierarchy of inclusive sensory characteristics and top-down cascade transfer of excitation // Neural Network World. — 2008. — Vol. 18, no. 3. — P. 227–244.
37. Сергин В. Я. Психофизиологические механизмы восприятия: концепция объемлющих сенсорных характеристик // Успехи физиологических наук. — 2009. — Т. 40, № 4. — С. 42–63.
38. Сергин В. Я. Сознание и мышление: нейробиологические механизмы // Психологический журнал Международного университета природы, общества и человека «Дубна». — 2011. — № 2. — С. 7–34.
39. Вартанов А. В. Механизмы семантики: человек — нейрон — модель // Нейрокомпьютеры: разработка, применение. — 2011. — № 12. — С. 54–64.
40. Процесс мышления в контексте динамической теории информации. часть II: понятие «образ» и «символ» как инструменты моделирования процесса мышления средствами нейрокомпьютинга / О. Д. Чернавская, Д. С. Чернавский, В. П. Карп и др. // Нейрокомпьютеры: разработка, применение. — 2012. — № 2. — С. 46–65.

41. Baars B. J. A cognitive theory of consciousness.— New York : Cambridge University Press., 1988.
42. Franklin S., Graesser A. A software agent model of consciousness // *Conscious Cognition*. — 1999. — no. 8. — P. 285–301.
43. Chun M. M., Potter M. C. A two-stage model for multiple target detection in rapid serial visual presentation // *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*. — 1995. — no. 21. — P. 109–127.
44. Lamme V. A., Roelfsema P. R. The distinct modes of vision offered by feedforward and recurrent processing // *Trends Neuroscience*. — 2000. — Vol. 11, no. 23. — P. 571–579.
45. Felleman D. J., van Essen D. C. Distributed hierarchical processing in the primate cerebral cortex // *Cerebral Cortex*. — 1991. — Vol. 1, no. 1. — P. 1–47.
46. The neuronal basis for consciousness / R. Llinas, U. Ribary, D. Contreras, C. Pedroarena // *Philosophical transactions of the Royal Society of London. Series B. Biological sciences*. — 1998. — no. 353. — P. 1841–1849.
47. Raymond J. E., Shapiro K. L. Temporary suppression of visual processing in an RSVP task: an attentional blink? // *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*. — 1992. — no. 18. — P. 849–860.
48. George D., Hawkins J. A hierarchical bayesian model of invariant pattern recognition in the visual cortex // *Proceedings of the International Joint Conference on Neural Networks*. — Vol. 3. — 2005. — P. 1812–1817.
49. Osipov G. S. Semiotic modeling: An overview // *Proceedings of Workshop on Russian Situation Control and Cybernetic/Semiotic Modeling*. — Columbus, USA : Battelle, 1995. — P. 51–72.



50. Пospelов Д. А. Прикладная семиотика и искусственный интеллект // Программные продукты и системы. — 1996. — № 3. — С. 10–13.
51. Эрлих А. И. Прикладная семиотика и управление сложными объектами // Программные продукты и системы. — 1997. — № 3.
52. Осипов Г. С., Пospelов Д. А. Прикладная семиотика // Новости искусственного интеллекта. — 1999. — № 1. — С. 9–35.
53. Osipov G. S. Origines of applied semiotics // Proceedings of the Workshop “Applied Semiotics: Control Problems (ASC 2000)”. 14th European Conference of Artificial Intelligence (ECAI2000). — Berlin : IOS Press, 2000. — P. 1–4.
54. Осипов Г. С. От ситуационного управления к прикладной семиотике // Новости искусственного интеллекта. — 2002. — № 6. — С. 3–7.
55. Пospelов Д. А., Осипов Г. С. Введение в прикладную семиотику. Глава 5. Операции в семиотических базах знаний // Новости искусственного интеллекта. — 2002. — № 6. — С. 28–35.
56. Пospelов Д. А. Семиотические модели: успехи и перспективы // Кибернетика. — 1976. — № 6. — С. 114–123.
57. Фреге Г. Логика и логическая семантика. — М. : Аспект Пресс, 2000.
58. Пирс Ч. С. Начала прагматизма. Т. 2. Логические основания теории знаков. — СПб. : Алетейя, 2000.
59. Дулин С. К. Введение в теорию структурной согласованности. — М. : Вычислительный центр им. А.А. Дородницына РАН, 2005. — С. 136.
60. Чудова Н. В. Концептуальное описание картины мира для задачи моделирования поведения, основанного на сознании // Искусственный интеллект и принятие решений. — 2012. — № 2. — С. 51–62.

61. Чудова Н. В. Переработка опыта как функция образа мира // Искусственный интеллект и принятие решений. — 2014. — № 3. — С. 40–45.
62. Леонтьев А. Н. Избранные психологические произведения. Том II. — М. : Педагогика, 1983. — С. 251–261.
63. Фестинег Л. Теория когнитивного диссонанса. — СПб. : Ювента, 1999.
64. Осипов Г. С. Построение моделей предметных областей. Ч. I. Неоднородные семантические сети // Известия АН СССР. Техническая кибернетика. — 1990. — № 5. — С. 32–45.
65. Осипов Г. С., Лебедева Т. Г. Архитектура и управляемость дискретных динамических систем, основанных на знаниях // Известия РАН. Теория и системы управления. — 2000. — № 5. — С. 703–709.
66. Kelly G. A. The psychology of personal constructs. V. I. A theory of personality. — London : Routledge, 1991.
67. Schank R. C. Conceptual dependency: A theory of natural language understanding // Cognitive Psychology. — 1972. — Vol. 3, no. 4. — P. 552–631.
68. Triesman A. M., Gelade G. A feature integration theory of attention // Cognitive Psychology. — 1980. — Vol. 12. — P. 97–136.
69. Rensink R. The dynamic representation of scenes // Visual Cognition. — 2000. — no. 7. — P. 17–42.
70. Величковский Б. М. Когнитивная наука: основы психологии познания. Т. 1. — М. : Смысл, 2006.
71. Вапник В. Н., Червоненкис А. Я. Теория распознавания образов. — М. : Наука, 1974.

72. Kalman R. E., Falb P. L., Arbib M. A. Topics In Mathematical System Theory. — New York : MC Graw-Hill Book Company, 1969.
73. Калман Р., Фалб П., Арбиб М. Очерки по математической теории систем. — М. : Мир, 1971.
74. Журавлев Ю. И. Корректные алгебры над множеством некорректных (эвристических) алгоритмов. Часть I // Кибернетика. — 1977. — № 4. — С. 5–17.
75. Zhuravlev Yu. I. Correct algebras over sets of incorrect (Heuristic) algorithms. I // Cybernetics. — 1977. — Vol. 13, no. 4. — P. 489–497.
76. Осипов Г. С., Виноградов А. Н., Жиликова Л. Ю. Динамические интеллектуальные системы. Ч. I. Представление знаний и основные алгоритмы // Известия АН. Теория и системы управления. — 2002. — № 6. — С. 119–127.
77. Осипов Г. С., Виноградов А. Н., Жиликова Л. Ю. Динамические интеллектуальные системы. Ч. II. Моделирование целенаправленного поведения // Известия АН. Теория и системы управления. — 2003. — № 1. — С. 87–94.
78. Осипов Г. С. Динамические интеллектуальные системы // Искусственный интеллект и принятие решений. — 2008. — № 1. — С. 47–54.

# Список иллюстративного материала

1.1	Круг ощущений по А. М. Иваницкому (источник [27]). . . . .	19
1.2	Реализация теорий глобального рабочего пространства в работе Дехане (источник [31]). . . . .	22
1.3	Порождающая модель ИВП. Приведена простая двухуровневая порождающая модель ИВП, состоящая из трёх узлов (источник [33]). . . . .	25
1.4	Структура узла ИВП, входные и выходные данные узла (источник [33]). . . . .	27
1.5	Треугольник Фреге. . . . .	31
1.6	Квадрат Пospелова. . . . .	33
2.1	Знак и его структура. . . . .	40
2.2	Процедуры связывания компонент знака и функция именования. .	45
2.3	Пример обобщения по признакам. В результате работы операции обобщения $\Theta$ пары знаков $s_1$ и $s_2$ , принадлежащих отношению сходства $R_3$ , формируется образ $p_3$ нового знака $s_3$ так, что пары $(p_3, p_1)$ и $(p_3, p_2)$ пополняют отношение включения $R_2$ . . . . .	49
2.4	Пример структуры значения $m$ знака $s$ , которое включает в себя два экземпляра $\mu_1(I_1, i_3)$ и $\mu_2(I_2, j_2)$ , где $I_1 = \{i_1, i_2, i_3\}$ и $I_2 =$ $\{j_1, j_2, j_3, j_4\}$ — наборы семантических валентностей. . . . .	52

2.5	Пример элементарного сценария $M_{est}(s_1) = \{\mu_1, \mu_2, \mu_3, \mu_4\}$ , порождённого значениями знака $s_1$ . Так как в приведённом примере пары экземпляров значений $(\mu_1, \mu_2)$ и $(\mu_3, \mu_4)$ принадлежат отношению $R_6$ , а пара $(\mu_1, \mu_3)$ — отношению $R_7$ , то по определению эти экземпляры принадлежат элементарному сценарию $M_{est}(s_1)$ . . . . .	54
3.1	Знак и его компоненты. . . . .	58
3.2	Пример иерархии распознающих блоков. Узлу $u$ сопоставлен родительский распознающий блок $R_{i_2}^{j_2}$ , а узлу $v$ — дочерний блок $R_{i_1}^{j_1}$ . . . . .	60
3.3	Вычислительные циклы распознающего блока. Символом «И» обозначен этап задания начального состояния в начале каждого цикла. . . . .	61
3.4	Схема входных и выходных отображений распознающего блока. . .	62
3.5	Статическая схема корректности для момента времени $\tau_s$ . . . . .	67
3.6	Статическая схема корректности для момента времени $\tau_s < t \leq \tau_s + h_i^j$ . . . . .	71
3.7	Динамическая схема корректности для одиночного распознающего блока. . . . .	73
3.8	Динамическая схема корректности для случая двухуровневой иерархии. . . . .	77

# Приложение А

## Типы картин мира

В соответствие с предыдущим параграфом в результате работы механизмов самоорганизации на множестве знаков формируются три основных типа структур. Каждую из них в соответствии с [64] будем называть неоднородной семантической сетью или, поскольку это не приводит к недоразумениям, семантической сетью. Рассмотрим три таких сети.

1. Семантическую сеть  $H_P = \langle 2^P, \mathfrak{R}_P \rangle$  на множестве образов, где  $\mathfrak{R}_P = \{R_1, R_2, R_3, R_4\}$  — семейство отношений на образах.
2. Семантическую сеть  $H_A = \langle 2^A, \mathfrak{R}_A \rangle$  на множестве личностных смыслов, где  $\mathfrak{R}_A = \{R_5\}$  — семейство отношений на личностных смыслах.
3. Семантическую сеть  $H_M = \langle 2^M, \mathfrak{R}_M \rangle$  на множестве значений знаков, где  $\mathfrak{R}_M = \{R'_1, R'_3, R_6, R_7\}$  — семейство отношений на значениях.

Тройку объектов  $H = \langle H_P, H_A, H_M \rangle$  будем называть семиотической сетью. Переходы между сетями  $H_P, H_A, H_M$  реализуются, как следует из предыдущего, посредством процедур  $\Psi_m^a$ ,  $\Psi_a^p$  и  $\Psi_p^m$ .

Уровень имён знаков может наследовать каждую из описанных выше семантических сетей. Благодаря такому наследованию можно говорить о формировании той или иной семантической сети на уровне знаков (не только на уровне их компонент).

Предлагается выделять три типа картины мира: рациональную, житейскую и мифологическую [60]. Мы видели, что на сети  $H_P$  можно определить операции обобщения (и классификации) по признакам (раздел 2.3.1). Именно

эти операции характерны для рациональной картины мира. На основании этих соображений и ряда психологических экспериментов (описание которых остаётся за пределами настоящего доклада) можно полагать, что именно сеть на множестве образов (и ее наследование на уровень имён знаков) лежит в основе рациональной картины мира. Здесь надо подчеркнуть важность слов «в основе». Все типы картин мира используют сети на образах, на смыслах и сценариях, но есть некоторая «управляющая» сеть, которая служит для формулирования цели, поиска подходящих действий, вызова сценариев и изменения личностных смыслов. Например, в рациональной картине мира в сети на образах выполняется выработка цели, затем в сети на значениях находятся подходящие роли в сценарии как условия выполнения действий для достижения цели, далее учитываются смыслы объектов, которые могут быть мотивами или препятствиями, или средствами для достижения цели [61]. Отметим, что могут быть описаны и вырожденные картины мира, в которых используются не три, а только две сети (например, только  $H_A$  и  $H_M$  для нигилистической картины мира [60]).

Житейская картина мира характеризуется следованием некоторым стереотипам или сценариям поведения. Таким образом, наследование на уровень имён знаков сети на значениях приводит к формированию житейской картины мира. Здесь также следует отметить, что сеть на значениях является лишь ведущей: моделирование, например, картины мира чиновников реализуется на двух сетях — сценариев и личностных смыслов. Поэтому при возникновении нового предмета потребности (например, выделение бюджета на науку и культуру) находится сценарий, в котором смысл цели из амбивалентного превращается в смысл препятствия. Поскольку в этом процессе не присутствуют образы, то речь идёт о вырожденной картине мира. В общем случае в житейской картине мира выбранный сценарий (на сети значений) пополняется образами тех объектов (в том числе партнёров), которые наилучшим образом (в соответствии с оценкой на сети смыслов) могут исполнять записанные в сценарии роли

(например, начальник подбирает исполнителей в новую группу для «хорошего» выполнения нового вида работ или жених и невеста составляют список гостей на свадьбу в соответствии со своими представлениями о том, как должна выглядеть «хорошая» свадьба).

В мифологической картине мира каждая роль имеет неизменный смысл и заданный образ, т.е. ведущей в этом случае является сеть на смыслах. Иначе говоря, наследование сети  $H_A$  на уровень имён знаков приводит к формированию мифологической картины мира.



# Приложение Б

## Модель функции целеполагания на синтаксическом уровне

Задача управления поведением субъекта деятельности включает в себя фазы планирования и исполнения плана [76–78]. Первая задача планирования заключается в выдвижении цели — целеполагании. Применим развитый выше аппарат к решению этой задачи. Синтез плана и его исполнение будут рассмотрены во второй части статьи. Целеполагание — сложный процесс, который включает в себя не только выдвижение цели, но и определение условий и конкретного способа ее достижения. Как уже было сказано, характер процесса целеполагания определяется типом картины мира (КМ) субъекта. В случае житейской КМ ведущим компонентом является значение, т.е. субъект отталкивается от сюжетно—ролевой структуры и использует уже существующие знаки, чтобы выбрать подходящую ситуацию, которая и будет целевой. Для обозначения операции переходов на сети значений, образов и личностных смыслов введём недетерминированный оператор переходов  $Tr$ , действующий на булеанах  $2^P$ ,  $2^A$  и  $2^M$ :  $Tr(x) = x'$ , где  $x, x' \in 2^A$  или  $x, x' \in 2^P$ , или  $x, x' \in 2^M$ . Левая композиция оператора  $\Psi_x^y$ , где  $x \in \{m, a, p\}$ ,  $y \in \{m, a, p\}$  (т.е. любого из операторов  $\Psi_p^m$ ,  $\Psi_m^a$  или  $\Psi_a^p$ ), с оператором переходов по сети  $y$  обозначим как  $\underline{\Psi}_x^y$ :  $\underline{\Psi}_x^y = \Psi_x^y \circ Tr(x)$ , где  $Tr(x) = x'$ ,  $x \in 2^A$  или  $x \in 2^P$ , или  $x \in 2^M$  и  $x' \in 2^A$ , или  $x' \in 2^P$ , или  $x' \in 2^M$ . Под композицией операторов

будем понимать применение левого оператора к результату применения правого оператора. Правая композиция оператора  $\Psi_x^y$ , где  $x \in \{m, a, p\}$ ,  $y \in \{m, a, p\}$ , с оператором переходов по сети  $y$  обозначим как  $\overline{\Psi}_x^y : \overline{\Psi}_x^y = Tr(y) \circ \Psi_x^y$ , где  $Tr(y) = y'$ ,  $y \in 2^A$  или  $y \in 2^P$ , или  $y \in 2^M$  и  $y' \in 2^A$ , или  $y' \in 2^P$ , или  $y' \in 2^M$ . Например, левая композиция оператора с оператором перехода по сети образов запишется как  $\underline{\Psi}_p^m = \Psi_p^m \circ Tr(y)$ .

Процесс целеполагания осуществляется в рамках какой-либо деятельности. Будем рассматривать случай, когда мотив деятельности осознан, т.е. знак предмета потребности включён в картину мира субъекта деятельности. Тогда мотивом деятельности (в житейской картине мира) является значение ( $m$ ) этого знака. Мотив удовлетворяется, когда существует знак, такой, что результатом применения правой композиции оператора с оператором переходов ( $Tr(p) \circ \Psi_a^p$ ) к личностному смыслу этого знака является образ знака предмета потребности. (Или на семантическом уровне: существует знак, такой, что результатом некоторого действия, интерпретирующего личностный смысл этого знака, выступает образ знака предмета потребности.)

Тогда знак, результатом применения к которому правой композиции оператора  $\Psi_a^p$  с оператором переходов является образ знака предмета потребности, будем называть целевым знаком. Или на семантическом уровне: целевым будем называть такой знак, в структуре личностного смысла которого существует действие, применение которого приводит к формированию признаков образа предмета потребности (удовлетворению потребности). Процесс целеполагания, таким образом, заключается в построении такой последовательности знаков, которая заканчивается знаком, из которого достигим мотив, т.е. удовлетворяется потребность.

В соответствии с разд. 3.4 значение знака будем представлять в виде множества пар «действие — роль предмета в этом действии», образ ( $p$ ) такого знака — в виде набора свойств, т. е. пар «признак — значение признака», личностный смысл ( $a$ ) — в виде правила, соответствующего действию субъекта

с предметом; условие и эффект действия такого правила задаются в виде множества свойств.

Далее,  $s^*$  — знак, экземпляр значения которого  $\mu^*$  является мотивом деятельности. В приведённом ниже алгоритме целеполагания будем использовать как синтаксические, так и семантические соображения, особенно не подчёркивая этого обстоятельства.

### Алгоритм GS.

**Вход:** знак предмета потребности  $s^*$ , мотив  $\mu^*$ .

**Шаг 1:** переход  $\mu^* \rightarrow a_1$  (применяется оператор  $\underline{\Psi}_m^a$ ). На подсети значений (в сценарии с порождающим знаком  $s^*$ ) применяем к  $\mu^*$  оператор переходов  $Tr$  до тех пор, пока не будет получено такое значение  $m_1$ , знак  $s_1$  которого обладает личностным смыслом  $a_1$  таким, что интерпретирующее его действие в множестве добавляемых признаков  $p_{add}$  содержит множество признаков  $p^*$  знака  $s^*$ :  $\underline{\Psi}_m^a : \mu^* \rightarrow a_1$ , где  $a_1$  такое, что  $p^* \subseteq p_{add}(a_1)$  (применение операторов  $Tr(\mu^*)$  и  $\underline{\Psi}_m^a$  на рис. Б.1). Если знак  $s_1$  не совпадает со знаком  $s^*$ , то найденный целевой знак со своим личностным смыслом является целью и алгоритм завершает работу, иначе переходим к шагу 2.

**Шаг 2:** переход  $a_1 \rightarrow \bar{p}_2$  (применяется оператор  $\bar{\Psi}_a^p$ ). На подсети образов применяем оператор переходов  $Tr$  к образу, содержащему один или несколько признаков условия  $p_{cond}$  правила, интерпретирующего личностный смысл  $a_1$  знака  $s_1$  до тех пор, пока не будет получено максимального по мощности множества признаков  $p_2$  знака  $s_2$ , являющегося подмножеством  $p_{cond}$ . Объединение признаков образа  $p_2$  знака  $s_2$  с каким-либо признаком (одним или несколькими) из множества  $p_{cond}$

$p_2$  будем называть расширенным образом  $\bar{p}_2$ :  $\bar{\Psi}_a^p : a_1 \rightarrow \bar{p}_2$ , где  $\bar{p}_2$  такое, что  $p_2 \subseteq \bar{p}_2$  и  $\bar{p}_2 \subseteq p_{cond}$  (применение операторов  $\bar{\Psi}_a^p$  и  $Tr(p_1)$  на рис. Б.1).

**Шаг 3:** переход  $\bar{p}_2 \rightarrow \mu_3$  (применяется оператор  $\bar{\Psi}_p^m$ ). На подсети значений применяем оператор  $Tr$  к какому-либо значению знака  $s_3$ , образ которого

совпадает с множеством признаков  $\bar{p}_2$

$p_2$  до тех пор, пока не будет получено такого экземпляра  $\mu_3$ , что:

- порождаемый знаком  $s_3$  (с первым по порядку  $\geq$  экземпляром значения  $\mu_3$  в  $M_{scen}$ ) элементарный сценарий  $M_{est}(s_3)$  совпадает с каким-либо элементарным сценарием (с первым по порядку  $\geq$  экземпляром значения  $\mu'_2$  в  $M_{scen}$ ), порождаемым знаком  $s_2$ , найденным на шаге 2 с точностью до знаков  $s_2$  и  $s_3$  (т.е. без их учёта);
- соответствующий экземпляру значения  $\mu_3$  личностный смысл  $a_3$  интерпретируется таким действием, что в множество признаков его эффекта включено множество признаков образа  $p_3$  самого знака  $s_3$ :  $\bar{\Psi}_p^m : \bar{p}_2 \rightarrow \mu_3$ , где  $\mu_3$  — первый по порядку экземпляр значения в множестве  $M_{scen}$  сценария  $M_{est}(s_3)$ , причём такой, что  $M_{est}(s_2) = M_{est}(s_3)$  без учёта знаков  $s_2$  и  $s_3$  (применение операторов  $Tr(p_2)$ ,  $\Psi_p^m$  и  $Tr(\mu_3)$  на рис. Б.1).

**Шаг 4:** переход  $\mu'_2 \rightarrow a_2$  (применяется оператор  $\Psi_m^a$ ). Нахождение личностного смысла  $a_2$ , соответствующего значению  $\mu'_2$  знака  $s_2$ . Завершение работы алгоритма.

**Выход:** либо знак  $s_1$  и его личностный смысл  $a_1$ , либо знак  $s_2$  и его личностный смысл  $a_2$ .

В результате работы алгоритма найден знак  $s_2$ , не совпадающий со знаком предмета потребности  $s^*$ , личностный смысл  $a_2$  которого интерпретируется действием, приводящим к удовлетворению потребности. Целью, таким образом, становится знак  $s_2$  с личностным смыслом  $a_2$  (рис. Б.1).

**Пример.** Опишем в качестве простого примера процедуру целеполагания руководителя команды разработчиков программного обеспечения (рис. Б.2).

Руководитель команды использует в данном случае житейскую картину мира, мотивом его деятельности является значение знака «средства», один из экземпляров значения которого — «получение», обладающее семантической валентностью «объект». Иначе говоря, один из экземпляров значений знака

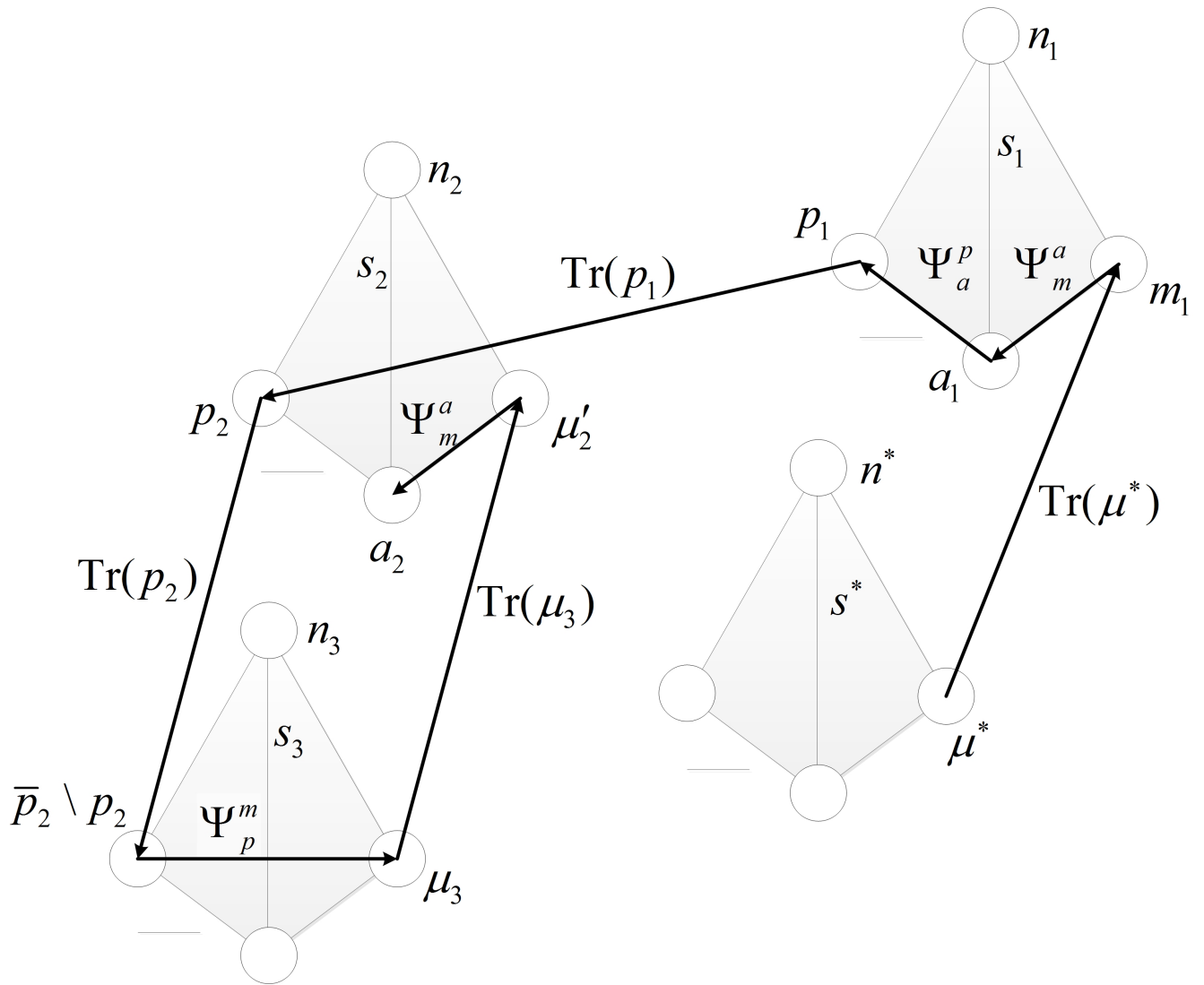


Рис. Б.1. Иллюстрация к алгоритму целеполагания:  $s^*$  — знак предмета потребности,  $\mu^*$  — экземпляр его значения, иначе говоря, мотив деятельности. Стрелками обозначены операторы  $\Psi_p^m$ ,  $\Psi_m^a$ ,  $\Psi_a^p$  и  $Tr$ .

средства есть пара («получение», «объект»). Предположим, образ этого знака содержит признаки: «высокая ценность», «востребованность рынком», «новое».

### Алгоритм GS.

**Вход:** знак «средства» и мотив («получение», «объект»).

**Шаг 1:** переход значение — личностный смысл. Сценарий образуется семантическими валентностями предикатного слова, (в данном случае — «получение»). Субъект ищет знак, при этом его личностный смысл интерпретируется действиями, которые он будет осуществлять, чтобы

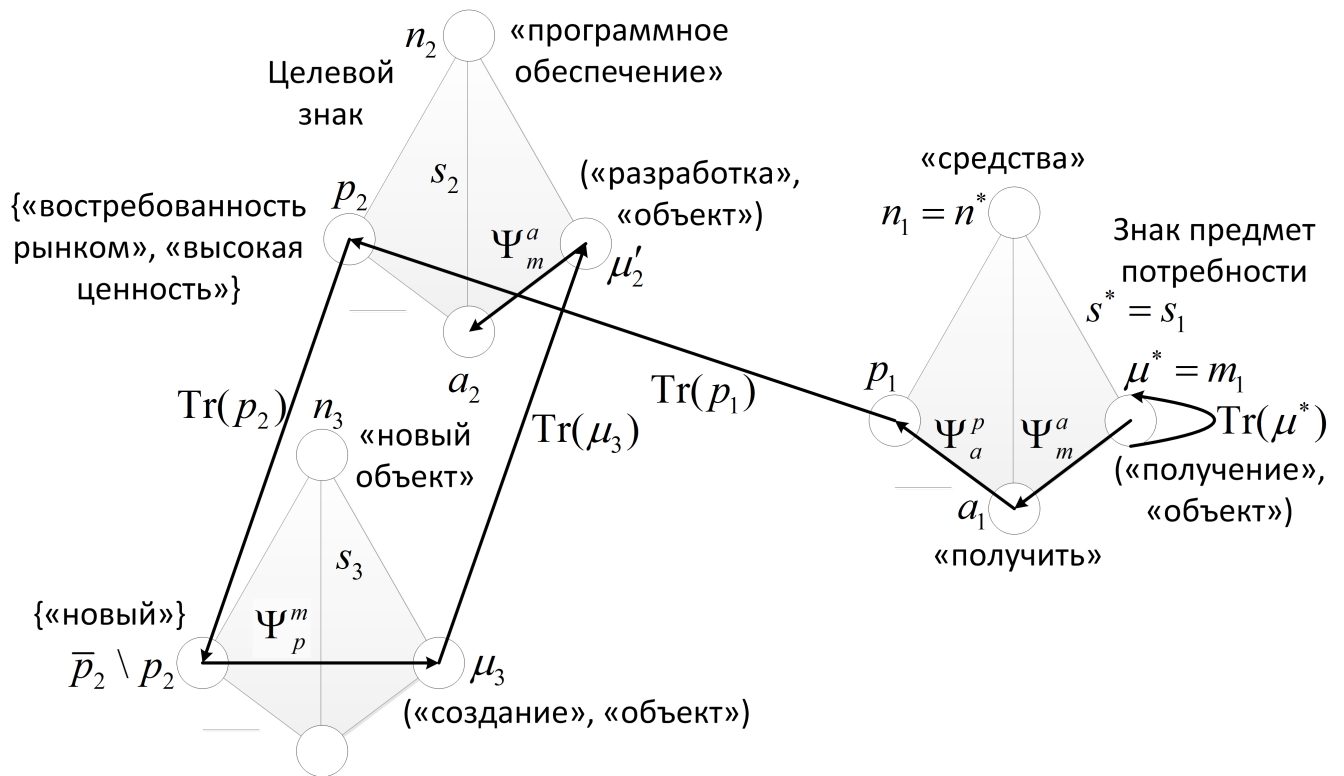


Рис. Б.2. Пример процесса целеполагания руководителя команды разработчиков с житейской картиной мира. Знаком предмета потребности руководителя является знак с именем «средства». Стрелками обозначены операторы  $\Psi_p^m$ ,  $\Psi_m^a$ ,  $\Psi_a^p$  и  $Tr$ .

удовлетворить мотив. Иначе говоря, в множестве добавлений правила, интерпретирующего личностный смысл, должны содержаться необходимые признаки предмета, за который происходит получение средств, например «высокая ценность», «востребованность рынком», «новое» и т.д. Предположим, что будет найден личностный смысл «получить» знака «средства».

**Шаг 2:** переход личностный смысл — образ. Выполнение действия, соответствующего найденному личностному смыслу, требует удовлетворения признаков из условия действия. Происходит поиск такого знака, образ которого содержит необходимые признаки. Так как руководитель команды разработчиков имеет дело с программным обеспечением, то рано или поздно им будет найден знак «программное обеспечение», так как его образ содержит признаки «высокая ценность», «востребованность рынком». Неудовлетворённые признаки

из условия правила вместе с удовлетворёнными образуют расширенный образ, например «новое программное обеспечение».

**Шаг 3:** переход образ — значение. Ищется знак, содержащий в образе признак «новый», например знак «новый объект». Выбираем экземпляр значения этого знака. Экземпляр значения должен быть первым в каком-либо сценарии, совпадающим с каким-либо сценарием знака «программное обеспечение». Таким экземпляром может служить «создание», так как в картине мира руководителя команды имеется необходимый сценарий. Для соответствующего сценария, порождённого знаком «программное обеспечение», первым экземпляром в таком случае выступает «разработать».

**Шаг 4:** переход значение — личностный смысл. Выбирается личностный смысл знака «программное обеспечение», соответствующий экземпляру значения «разработать». Действие, интерпретирующее этот личностный смысл, в множестве добавляемых признаков будет включать признаки «высокая ценность», «востребованность рынком», «новое», содержащиеся в образе знака «средства» и удовлетворяющие мотив. Таким образом, текущий знак является целевым, а целью — пара «разработать» — «программное обеспечение».

**Выход:** знак «программное обеспечение» и его личностный смысл «разработать».