

РОССИЙСКАЯ АССОЦИАЦИЯ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

КИИ–2008

*28 СЕНТЯБРЯ – 3 ОКТЯБРЯ 2008 Г.
Г. ДУБНА, РОССИЯ*

ОДИННАДЦАТАЯ НАЦИОНАЛЬНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ ПО ИСКУССТВЕННОМУ ИНТЕЛЛЕКТУ С МЕЖДУНАРОДНЫМ УЧАСТИЕМ

Труды конференции

Том 1



URSS
МОСКВА

УДК 159.9(075.8)

КОМПОНЕНТЫ СТРУКТУРЫ ЗНАНИЯ: ИХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ И СУБОРГАНИЗАЦИЯ *

И.О. Александров¹, Н.Е. Максимова¹, А.Г. Горкин²

Предложено описание психологической структуры знания, компоненты которой фиксируют модели взаимодействия индивида с предметной областью, а не отображают объекты и их свойства. Компоненты вступают друг с другом во взаимодействия, модели которых фиксируются как суборганизация компонентов. Поэтому компоненты являются носителями моделей взаимодействий двух типов: индивида с предметной областью и компонентов между собой.

Введение

Основа описания и изучения знаний в психологии и искусственном интеллекте (ИИ) – представление о структурах, фиксирующих, сохраняющих и воспроизводящих знания о предметных областях. Такие структуры описываются как множества компонентов, связанных отношениями. Согласно одному из важнейших для психологии положений "итоговые характеристики любого психического процесса в общем случае могут быть описаны только в терминах свойств и отношений внешних объектов" [Веккер, 1998]. Этому положению точно соответствует представление о том, что в качестве компонентов психологических структур выступают репрезентации объектов (и их свойств), а отношения между компонентами представляют "отношения внешних объектов" (см., например, [Солсо, 1996]). При моделировании знаний в рамках ИИ компоненты структур (базовые элементы, фреймы, слоты и т.п.) описывают конкретные объекты из предметной области, события, явления или процессы. Хотя это положение характерно для экстенциональных описаний, заметим, что в интенциональном описании компоненты также

* Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 08-06-00291), РГНФ (07-06-00403, 08-06-00250), НШ-602.2008.6

¹ 129366, Москва, ул. Ярославская, 13, Институт психологии РАН,
almax2000@inbox.ru

² там же, agorkin@yandex.ru

представляют закономерности и связи, которым объекты, события, явления или процессы обязаны в данной предметной области удовлетворять [Поспелов, 1990, с. 10]. Компонентами структуры могут быть и логические суждения, но они также описывают именно состав и/или свойства предметной области.

Динамика структур знания, компоненты которых соответствуют объектам, событиям, явлениям или процессам предметной области, их свойствам и отношениям, может состоять только в отображении изменений в предметной области; такие структуры принципиально не обладают активностью. "Новообразования" структуры знания в этом случае состоят в *дополнении* дефинитивной структуры новыми компонентами и отношениями. Приведенные характеристики моделей структуры знания этого типа находятся в противоречии с фундаментальными принципами системности, развития и активности. Так, для описаний психологических структур, в основе которых лежат компоненты, репрезентирующие объекты внешней среды и их свойства, характерны трудности с разрешением проблемы гомункулюса (см. для обзора [Величковский, 2006]).

Основания для преодоления этих ограничений и противоречий предоставляет системно-эволюционный подход [Швырков, 1988], тесно связанный с концепцией взаимодействия/развития, сформулированной Я.А. Пономаревым [Пономарев, 1983]. Согласно этой концепции психологическая структура формируется в результате фиксации моделей реализованных взаимодействий; таким образом, процессы развития и взаимодействия неразрывно связаны [Александров, 2006]. Структурно-новообразование, с одной стороны, фиксирует модель взаимодействия, а, с другой – является основанием для последующих взаимодействий и, следовательно, развития, т.е. формирования новых структур, фиксирующих модифицированные или вновь сформированные модели взаимодействий.

В рамках этого подхода поведение рассматривается как процесс взаимодействия индивида с предметной областью; оно реализуется как последовательность поведенческих актов, т.е. целостных циклов взаимодействия, необходимыми характеристиками которых являются результаты и способы их достижения, а также обстановка, в которой эти взаимодействия осуществимы. Компоненты психологической структуры знания (СЗ) фиксируют *информационные модели* циклов взаимодействий, а не характеристики собственно объектов предметной области и их отношений. Носителями моделей взаимодействий (субстратом моделей) являются группы нейронов со сходной поведенческой специализацией. Общее происхождение компонентов СЗ является одним из оснований ее

целостности (*системности*). Ранее совершенные взаимодействия могут воспроизводиться в результате актуализации компонентов-носителей моделей этих взаимодействий, т.е. СЗ, компоненты которой фиксируют модели взаимодействий с предметной областью, обладает *активностью* (это положение соответствует принципу активности и обосновывает возможность избежать введения гомункулоза в представления о психологических структурах) [Александров, 2006].

Поскольку компоненты такой структуры связываются отношениями, то можно предположить, что необходимым условием возможности взаимодействия компонентов СЗ является фиксация моделей этих взаимодействий в структуре компонентов, что может проявляться в (1) неоднородности специализаций в группе нейронов, представляющих компонент СЗ, (2) больших временных затратах на формирование более сложных типов отношений между компонентами. Чтобы проверить эти предположения, анализировали организацию активности нейронов, специализированных относительно актов сложного пищедобывательного поведения у животных, и формирование компонентов СЗ и отношений между ними в процессе приобретения компетенции у человека.

Суборганизация компонентов структуры индивидуального опыта (СИО) у животных

Структуру опыта и ее соотношение с организацией активности корковых нейронов анализировали у животных, выполняющих сложное пищедобывательное поведение в клетке, у противоположных стенок которой располагались связанные друг с другом педаля и кормушка. Кролики последовательно выполняли циклы поведенческих актов "нажатие на педаля (P1) – подход к кормушке (P2) – захват пищи (P3) – поворот от кормушки к педали (P4) – подход к педали (P5)", с правой (P1–P5) – цикл Ц, и левой стороны (P1' – P5') – цикл Ц'. У 10 обученных животных регистрировали активность нейронов лимбической коры. См. методику подробно [Горкин и др., 1990]. Рассмотрена активность 483 нейронов. Нейрон считали специализированным относительно акта, в котором активация наблюдалась с вероятностью 100%. Поскольку поведенческие акты – реализация целостных циклов взаимодействия индивида с предметной областью, на основании анализа типов поведенческих специализаций нейронов выделяли *компоненты СИО*, представляющие акты репертуара. Отношения между компонентами оценивали по знаку и величине коэффициентов корреляции между значениями активности нейронов в разных поведенческих актах. Положительные значения коэффициентов корреляции рассматривали как проявление отношений *синергии*, а отрицательные – как отношений

опонентности между компонентами СИО. Для анализа организации групп специализированных нейронов, представляющих компоненты СИО, использовали иерархический кластерный анализ (переменные – отношения частоты спайковой активности в данном акте к максимальной для каждого нейрона). Каждый выделенный кластер характеризовали по связи активаций с различными актами циклов Ц и Ц'. Для построения геометрической модели разнообразия специализаций групп нейронов и субструктуры этих групп применяли многомерное шкалирование (процедура *PROXSCAL*). Шкалировали вектора, представляющие активность нейронов в 10 актах циклов [Александров, 2006].

Кластерный анализ активности нейронов показал, что каждая из выделенных групп точно соответствует специализации относительно одного из 10 поведенческих актов, которым были обучены животные. Поскольку поведенческие акты реализуют циклы взаимодействия индивида с предметной областью, то специализацию нейронов относительно поведенческого акта можно рассматривать как проявление фиксированной в свойствах нейронов этой группы модели определенного взаимодействия. Это означает также, что такая группа нейронов соответствует компоненту СИО.

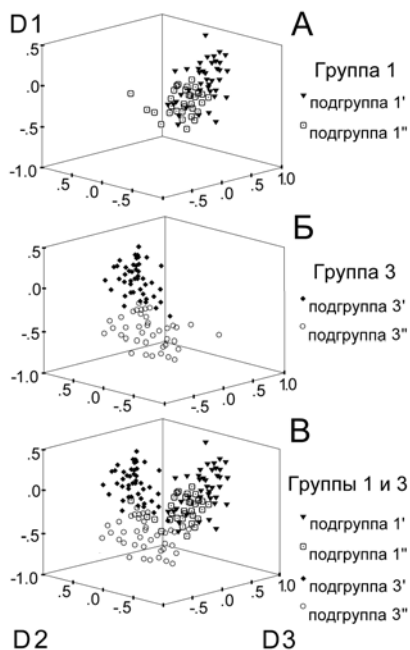


Рис. 1. Суборганизация групп специализированных нейронов. D1, D2, D3 – оси пространства. На А – суборганизация группы 1. Подгруппы нейронов 1' (▼) и 1'' (□) специализированы относительно акта P3 (основная специализация), но подгруппа 1'' (□) также имеет дополнительную специализацию относительно акта P4. На Б – суборганизация группы 3. Основная специализация подгрупп 3' (■) и 3'' – акт P3', у подгруппы 3'' (○) – дополнительная специализация относительно акта P4. На В – взаимное расположение этих групп нейронов.

Установлено, что группы специализированных нейронов имеют сложную структуру. В группе нейронов с общей специализацией (относительно определенного поведенческого акта) выделяются подгруппы, имеющие дополнительные специализации (относительно одного или нескольких других актов). Таким образом, все нейроны каждой группы эквивалентны по их общей специализации, но различаются по дополнительным специализациям. В свою очередь группы нейронов с различными основными специализациями могут содержать сходные по дополнительным специализациям подгруппы. На рис. 1 показана геометрическая модель организации групп специализированных нейронов, построенная при помощи процедуры многомерного шкалирования. Нейроны группы 1 имеют общую специализацию относительно акта подхода к педали, расположенной на левой стороне клетки (P3), а группы 3 – подхода к педали на правой стороне (P3'). Часть нейронов этих групп имеет дополнительную специализацию – относительно акта нажатия на педаль: соответственно, для подгруппы 1" – левую (P4) или, для подгруппы 3" – правую (P4'). Показано, что компоненты, начавшие формироваться на ранних стадиях обучения, обладают более сложной суборганизацией, чем сформированные на поздних стадиях. Это соответствует предположению, что суборганизация фиксирует историю взаимодействий индивида с предметной областью.

При помощи частных корреляций между оценками уровня активности нейронов в различных поведенческих актах, кластерного анализа и результатов многомерного шкалирования описаны отношения между группами специализированных нейронов. Выделено диахроническое отношение следования, определяющее порядок актуализации компонентов (для него характерны несимметричность, нетранзитивность [Осипов, 1997]), синхронические отношения оппонентности, ограничивающее одновременную актуализацию (оно нетранзитивно, антирефлексивно и симметрично) и синергии, задающее одновременную актуализацию (транзитивное, рефлексивное и симметричное). Показана тенденция увеличения количества отношений, связывающих компонент с другими компонентами, при усложнении его суборганизации.

Формирование компонентов структуры индивидуального знания (СИЗ) и их отношений

СИЗ в определенной предметной области – стратегической игре с полной информацией и нулевой суммой реконструировали для 287 игроков 7 возрастных групп (медианы возрастов составили 7.0, 8.8, 10.3, 16.1, 17.4, 19.0, 22.0 лет). Участникам исследования предлагали освоить игру в «крестики и нолики» на поле 15×15 в компьютерном варианте: два партнера играли друг с другом, используя две мышки, при этом ход игры

в графической форме отображался на дисплее. Анализировали 2905 игр 140 пар игроков. Каждая диада сыграла от 7 до 30 игр. Регистрировали протокол игр в терминах координат ходов. Для описания ситуаций на игровом поле использовали оценку количества цепочек, состоящих из 2-х, 3-х, 4-х и 5-ти знаков для двух игроков, которые могут быть построены на следующем шаге игры (см. подробно [Александров, 2006]). В качестве цикла взаимодействия выделяли акт игры, характеризующийся описаниями (1) начальной ситуации после хода оппонента, (2) ситуации, созданной ходом игрока, и (3) ситуации, сложившейся после ответного хода оппонента. Акты с одинаковыми описаниями всех трех ситуаций для двух партнеров относили к определенному типу. Репертуару актов игры, поскольку они являются реализацией циклов взаимодействия игрока с предметной областью, ставили в соответствие каталог компонентов СИЗ, фиксирующих модели совершенных в актах игры взаимодействий.

Обосновано предположение, что компоненты структуры индивидуального знания дифференцируются из протокомпонентов, представленных группами "преспециализированных" нейронов, т.е. не имеющих специализации относительно конкретного поведенческого акта. Из одного протокомпонента может дифференцироваться до семи компонентов СИЗ [Александров, 2006, гл. 12]. Процесс формирования множеств как протокомпонентов, так и компонентов СИЗ хорошо аппроксимируется степенной функцией, начиная с самых ранних этапов приобретения компетенции.

Для того, чтобы построить типологию отношений между компонентами, анализировали структуру ориентированного графа игры, вершины которого – компоненты, а дуги указывают порядок реализации актов игры, соответствующих компонентам; оценивали запреты на одновременную актуализацию компонентов (или ее возможность) в пересечениях различных по составу информационных множеств (полустепенях исхода вершин) (см. [Александров, 2006, гл. 7 и 11]).

Три типа синхронических отношений диагностировали по их принадлежности к различным областям пересекающихся множеств одновременно актуализированных компонентов СИЗ, поэтому они обозначены логическими операторами *AND*, *XOR* и *IOR*. Синхронические отношения связывают в группы одновременно актуализирующиеся компоненты СИЗ независимо от расстояния между ними на графе игры и порядка их реализации при решении игровых задач. Синхронические отношения определяют состав групп компонентов СИЗ, реализующих альтернативные варианты развития поведения, налагая ограничения на их состав.

Диахронические отношения определяют последовательность актуализации компонентов СИЗ. Этот тип отношений обеспечивает преемственность в последовательности актуализированных наборов компонентов СИЗ, а также ограничивает возможности одновременной актуализации компонентов, относящихся к последовательным актам игры. Среди четырех типов диахронических отношений – отношение следования и три типа отношений, связывающих компоненты в группы – стратегии различных видов [Александров, 2006].

Каждый из компонентов СИЗ связан с другими компонентами отношениями нескольких типов. Таким образом, изученная структура может быть охарактеризована как неоднородная семантическая сеть [Осипов, 1997].

Для перечисленных типов отношений определяли их алгебраические свойства (см. [Осипов, 1997]). Показано, что формирование отношений, обладающих свойством симметричности, требует наибольших временных затрат: кривые, описывающие процесс формирования таких отношений, имеют S-образную форму с уплощенным началом. Формирование несимметричных и антисимметричных отношений происходит с достоверно меньшими временными затратами. Кривые, описывающие процесс их формирования – степенные функции, сходные с теми, которые аппроксимируют процесс формирования компонентов СИЗ.

Можно предположить, что отношения между компонентами СИЗ, не обладающие свойством симметрии, формируются с меньшими временными затратами, поскольку для этого не требуется образования гомологичных субструктур в компонентах, между которыми формируются эти отношения. Соответственно, установление симметричных отношений требует существенно больших временных затрат.

Установлено, что потенциал дифференциации протокомпонентов увеличивается с возрастом игроков — количество компонентов, образующихся на основе одного протокомпонента, возрастает в старших группах. Увеличение скорости формирования отношений между компонентами в возрастном ряду указывает на возрастание сложности суборганизации компонентов СИЗ. Заметим, что общим фактором в процессах образования компонентов СИЗ и их суборганизации является процесс приобретения группой нейронов основной специализации (при дифференциации протокомпонента) и дополнительных специализаций (при дифференциации структуры компонента).

Суборганизация компонентов и их отношения

Процесс формирования компонента СИЗ включает несколько последовательных качественно своеобразных стадий. Первая стадия –

дифференциация нового компонента СИЗ из протокомпонента. Содержание этой стадии – инициация процесса специализации группы нейронов относительно складывающегося акта взаимодействия индивида с предметной областью, фиксация в свойствах этой группы модели реализующегося взаимодействия (процесс специализации нейронов, инициированный в данном поведенческом контексте, включая аккомодационную реконсолидацию, по-видимому, может продолжаться десятки часов [Александров, 2005]). Следующая стадия формирования компонента – дифференциация внутренней структуры компонента, образование его суборганизации, фиксирующей множество моделей взаимодействия данного компонента с другими в среде неоднородной семантической сети. Результат этой дифференциации состоит в фиксации моделей взаимодействий компонента с другими компонентами. По-видимому, начало этого процесса – фиксация несимметричного отношения *следования*, связывающего формирующийся компонент СИЗ с компонентом-носителем модели предшествующего акта игры, а также его антисимметричного отношения *AND* с компонентами, дифференцировавшимися из того же протокомпонента (см. [Александров, 2006, гл. 12]). Судя по полученным результатам, образование суборганизации, обеспечивающей другие типы отношений, следует связать с активностью данного компонента в рамках неоднородной сети, его последовательными актуализациями. Можно полагать, что для образования отношений *XOR*, или отношений, связывающих компоненты в циклические стратегии (см. [Александров, 2005]), должно быть реализовано, по крайней мере, несколько актуализаций компонента – переходов его из "покоящегося" состояния в активное.

Таким образом, в структуре знания, которая обладает свойствами неоднородной семантической сети, каждый компонент является носителем модели взаимодействия индивида с предметной областью, и одновременно с этим – носителем нескольких моделей взаимодействия данного компонента с другими компонентами структуры знания.

Можно предположить, что именно в суборганизации компонентов, на множестве моделей отношений между компонентами СИЗ, следует искать «знаково-означенные модели», на возможность существования которых указал Я.А. Пономарев. Этот класс моделей, в которых «моделируются не только элементы внешней и психически регулируемой внутренней среды живой системы, но и сами модели. Образования этого класса обеспечивают, как принято говорить, осознанное отношение к миру, его целенаправленное преобразование» [Пономарев, 1983, с. 100]. Результаты, полученные при анализе активности нейронов показывают, что модели взаимодействия с предметной областью и с другими компонентами СИЗ пересекаются на одном и том же множестве нейронов-носителей,

актуализация этих двух видов моделей должна быть связана. Важное следствие из этого положения состоит в следующем. Компоненты СИЗ, переходя в активное состояние и взаимодействуя друг с другом (в соответствии с содержанием фиксированных в их организации моделей взаимодействия), могут воспроизводить состояния СИЗ, соответствующие событиям в предметной области или не соответствующие им, без реализации актуального взаимодействия индивида с предметной областью, виртуально.

Представляется, что, при условии определения возможности использования принципа фиксации в компонентах структуры знания не отображений объектов предметной области и их свойств, а моделей двух типов (1) взаимодействия с предметной областью и (2) взаимодействий между компонентами структуры, могут быть построены принципиально новые системы ИИ, активные, обладающие свойством целостности и способные к (само)развитию, обеспечивающие приобретение, представление, пополнение и использование знаний. Можно предположить, что системы ИИ, построенные на этих принципах, могут совмещать некоторые свойства логических, сетевых и продукционных моделей знания и при этом обладать свойством активно порождать новое знание.

Список литературы

- [Александров, 2006] Александров И.О. Формирование структуры индивидуального знания. – М.: Изд-во «Институт психологии РАН», 2006.
- [Александров, 2005] Александров Ю.И. Научение и память: традиционный и системный подходы. // Журн. высшей нервной деят. 2005. Т. 55. Вып. 62.
- [Веккер, 1998] Веккер. Л.М. Психика и реальность. Единая теория психических процессов. – М.: Смысл. 1998.
- [Величковский, 2006] Величковский Б.М. Когнитивная наука: Основы психологии познания. Т.1, 2. – М.: Смысл: Издательский центр «Академия», 2006.
- [Горкин и др., 1990] Горкин А.Г., Шевченко Д.Г. Стабильность поведенческой специализации нейронов // Журн. высшей нервной деят. 1990. Т. 40. № 2.
- [Осипов, 1997] Осипов Г.С. Приобретение знаний интеллектуальными системами. – М.: Наука, 1997.
- [Пономарев, 1983] Пономарев Я.А. Методологическое введение в психологию. – М.: Наука, 1983.
- [Поспелов, 1990] Поспелов Д.А. Данные и знания // Искусственный интеллект. – М.: Радио и связь, 1990. Кн. 2. С. 7–13.
- [Солсо, 1996] Солсо Р.Л. Когнитивная психология. – М.: Тривола, 1996.
- [Швырков, 1988] Швырков В.Б. Системно-эволюционный подход к изучению мозга, психики и сознания // Психол. журн. 1988. Т. 9. № 4.