

экспертных систем, баз данных, которые, очевидно, в дальнейшем заменены базами знаний, а также интеллектуальной периферии. Стоит отметить, что функционирование ИС наиболее эффективно при наличии мощной системы сигнализации и Цифровой сети интегрального обслуживания, обеспечивающих передачу служебных сигналов системы управления сервисом с высокой скоростью. Использование концепции ИС в современных сетях в полном объеме существенно ограничено наличием коскоростных аналоговых линий связи. Однако, при определенной модификации концепции ИС, основанной на децентрализации управления сервисом с применением адаптивных методов размещения СЛП не только в ЦУС, но и в УК, возможно начать внедрение элементов ИС и на существующих сетях, где используются УК с программным управлением.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРА

1. Arnbak J. Editor's Foreword. Proceedings of the IFIP TC6/ICCC Joint Conference on Europe. The Hague, The Netherlands. 25-27 April, 1989. — P. V-VI.
2. Bauer H.A., Jacoby J.Z., Sable E.G., Sharpless J.B. Evolution of Intelligence in Switching Systems // Proceedings of III International Switching Symposium. — V. IV.
3. Лазарев В.Г. Цифровые сети интегрального обслуживания. Основы концепции построения // Автоматика и вычислительная техника. — Рига "Матэ", 1991. — № 1.

Десять "горячих точек" в исследованиях по искусственному интеллекту

Д.А. Поспелов

Приводится обзор направлений искусственного интеллекта, на которых, по мнению автора, будут сосредоточены усилия специалистов в последующие 10 лет.

Как самостоятельное научное направление искусственный интеллект существует чуть больше четверти века. За это время отношение общества к исследователям, занимающимся подобными исследованиями, претерпело эволюцию от скепсиса к уважению. Сейчас занятия в области интеллектуальных систем поддерживаются на всех уровнях общества. Бытует устойчивое мнение, что именно эти исследования будут определять характер того информационного общества, которое уже сменяет индустриальное, достигшее своей высшей точки расцвета в XX веке.

За прошедшие годы становления искусственного интеллекта как особой дисциплины сформировались ее концептуальные модели, накопились специфические, принадлежащие только ей методы и приемы, устоялись некоторые фундаментальные парадигмы. Искусственный интеллект стал вполне respectable наукой, ничуть не менее почетной и нужной, чем физика или химия.

Специалистов, работающих в этой области, большинство из старшего поколения которых стояло у колыбели зарождения новой сферы исследований, складывается убеждение, что период бурного развития кончился и наступает эра вполне академических спокойных и целенаправленных исследований, рассчитанных на длительный период.

Поэтому было бы любопытно попытаться увидеть те основные направления исследований в искусственном интеллекте, те "горячие точки", в которых будут сосредоточены основные усилия специалистов в последнее десятилетие уходящего века. Анализ состояний текущих исследований позволит выдвинуть предположение о наличии десяти таких "горячих точек", о них они и будут ниже обсуждены.

Переход к аргументации. В начальный период развития искусственного интеллекта идея использования механизмов логического вывода в аксиоматических (или квазиаксиоматических, использующих в качестве аксиом определенные законы данной предметной области) системах занимала доминирующее положение. Предполагалось, что все или почти все задачи,

претендующие на интеллектуальность, можно решать путем построения которого вывода. Такая парадигма породила многочисленные работы в области автоматического доказательства теорем, построение языков представления знаний логического типа, языков программирования типа широко известного ПРОЛОГ-а. Значительные усилия были затрачены на даче методов вывода в исчислении предикатов, которое различным образом модифицировалось, чтобы адаптировать его для нужд искусственного интеллекта.

Подход, реализующийся под явным давлением логических моделей представлений, породил экспертные системы, основанные на продукции правил, теорию реляционных баз данных, теорию решателей и планировщиков. Несомненным преимуществом, связанным с увлечением логическим выводом, было привлечение в сферу исследований области искусственного интеллекта логиков, принесших в эту молодую науку свои представления о строгости и точности постановок задач и формулировок результатов.

Но к середине 70-х годов постепенно выясняется, что классических моделей и схем вывода явно недостаточно для того, чтобы строить достаточно богатые интеллектуальные системы. Искусственный интеллект явно вырастал из "логических штанишек". Принципы, опирающиеся на классическое понимание формальной системы дедуктивного вывода, были слишком узки для решения задач искусственного интеллекта. Возникло нечто вроде кризиса в физике, проявившегося в начале XX века. В чем состояла основная проблема? Логический подход в его классической форме требовал для каждой предметной области, для которой применялись методы искусственного интеллекта, наличие полного перечня исходных положений, которые можно было бы считать аксиомами этой предметной области (в их число, естественно включаются и априорно задаваемые правила вывода), обеспечивало замкнутость используемых моделей, позволяло ставить и решать проблемы, связанные с полнотой, результативностью и непротиворечивостью используемых моделей и процедур.

Но практические приложения, к которым стремился искусственный интеллект, оправдывая свою практическую значимость, в подавляющем большинстве случаев не давали возможностей построения аксиоматических моделей. Знания о предметных областях, как правило, были неполными, непохожими, что приводило к эффектам немонотонности процессов получения результатов, возникновению фальсификаторов ранее полученных результатов, быстрому снижению достоверности утверждений, получаемых в результате последовательного (даже при так называемых параллельных модификациях) процесса логического вывода.

Так возникла проблема замены формальной системы с присущими ей процедурами дедуктивного вывода иной, столь же мощной моделью, которая отражала бы основные особенности поиска решения в плохо описанных предметных областях, которые описываются как открытые системы, обновляемые знаниями об их строении и функционировании.

С конца 70-х годов парадигма, опирающаяся на идею логического

меняется парадигмой, провозглашающей, что основной операцией при поиске решения должна быть правдоподобная аргументация. Работа с аргументами "за" и "против", взвешенными весами правдоподобия, приводит к итеративным процедурам с этими весами (в противовес мультипликативным процедурам вычисления обобщенных весов при логическом правдоподобном выводе). Это обстоятельство оказалось решающим для перехода к аргументации в системе имеющихся в данный момент в распоряжении интеллектуальной системы знаний.

Однако, в отличие от завершенной структуры логического вывода, пока не существует столь же научно разработанной теории правдоподобной аргументации. Эффекты, связанные с появлением парадоксов при немонотонных рассуждениях, показывают, что переход к более богатой по сравнению с моделью логического вывода модели правдоподобной аргументации неизбежно приводит к большому количеству новых проблем, связанных с обоснованием подобной модели и изучением ее особенностей. Предполагается, что в 90-е годы усилия многих специалистов сосредоточатся именно в этой области исследований.

Проблема оправдания. При заполнении памяти интеллектуальных систем знаниями, полученными от экспертов, хорошо знающих данную предметную область и способы решения возникающих в ней задач, инженеры столкнулись с одной весьма любопытной особенностью. При формировании баз знаний, сформированных различными экспертами, каждая из которых довольно успешно решала тестовые задачи, возникала противоречивая база знаний. Если это были базы, знания которых фиксировались в виде продукционных правил, то возникали правила с одинаковыми левыми частями и противоречивыми друг другу правыми, а если в качестве модели представления знаний использовались фреймы, то начинали несовпадать фреймы-прототипы или возникали конкурирующие значения в слотах.

Это так скоро стало очевидным, явление это объяснилось тем, что эксперты представляли свои профессиональные знания в некоторые концептуальные модели предметных областей, которые могли не совпадать у разных экспертов. Например, речь шла об извлечении знаний из области онкологических заболеваний, то в качестве таких различных моделей могли выступать модель или генетическая модель порождения злокачественных опухолей. Если речь шла о генезисе нефти и поиска наиболее перспективных мест для ее добычи, то альтернативными концептуальными моделями оказывались модель органического и неорганического происхождения нефти. Адепты той или иной концептуальной модели сознательно (а иногда подсознательно) признавали только те знания, которые согласовывались с принятой концептуальной моделью и отвергали (или преуменьшали вес правдоподобия) те знания, которые ей противоречили. Другими словами, использовался своеобразный механизм "психологической защиты" от знаний, разрушающих принятую концептуальную модель, которая оправдывалась принятой системой знаний.

Таким образом, механизмы оправдания, связанные с искажением весов прав-

доподобия, накопленных в данной предметной области знаний (включая крайней своей форме отторжение некоторых знаний), нужно изучать и учитывать при заполнении баз знаний и объединении их. Но как это делать? Вопрос остается открытым и сейчас. В ближайшее десятилетие надо найти конструктивный ответ, иначе интеллектуальные системы в развитии не сделают следующего важного шага.

3. Порождение объяснений. Различие в механизмах поиска решений у человека, специалиста по решению определенного класса задач и у интеллектуальной системы приводит к появлению эффекта непонимания. Видя отличный результат деятельности интеллектуальной системы, специалист не может оценить степень его достоверности (даже если система одновременно с решением выдает вычисленную ею такую оценку). Процесс "верю — не верю" не может привести к какому-либо разумному результату, если нет какой-то дополнительной информации. Эта информация, начавшаяся с первого поколения экспертных систем, выдается специалисту по его требованию в виде объяснения.

Объяснение (более точно было бы говорить об обосновании, но термин "объяснение" прочно прижился в искусственном интеллекте) может быть различным. Наиболее распространены *как-объяснение* и *почему-объяснение*. При *как-объяснении* система выдает пользователю информацию о процедуре получения решения, например, выдает ему всю трассу движения по дереву вывода. При *почему-объяснении* система включает в текст объяснения те основания, которые были использованы ею в процессе поиска решения. Другие типы объяснений (*ли-объяснение*, *зачем-объяснение* и др.) пока в интеллектуальных системах практически не используются.

Проблема объяснения связана с решением задачи о том, как его порождать. В начальный период объяснение порождалось жесткими процедурами, связанными с наличием априорно заданного сценария объяснения, заполненного конкретными сведениями в процессе поиска решения. Такой подход в какой-то мере годится для *как-объяснений* и несколько хуже подходит для *почему-объяснений*. Но он совершенно непригоден при необходимости порождения объяснений иных типов.

Ясно, что проблема порождения объяснений связана с наличием в интеллектуальной системы концептуальных моделей предметных областей, содержащих энциклопедических знаний об особенностях этих областей. Для порождения объяснений нужны базы знаний энциклопедического типа.

Энциклопедические базы знаний отличны по своей структуре и содержанию от проблемно-ориентированных баз знаний, применяемых в современных экспертных и других интеллектуальных системах. Организация и использование энциклопедических баз, механизмы порождения текстов по запросам требуют решения ряда проблем, относящихся к форме представления знаний в таких базах и принципов построения системы отношений между ними в них знаниях.

С середины 80-х годов начали выполняться первые проекты, связанные с созданием энциклопедических баз и развитием их теории. Без накопления

результатов в этом направлении (их предполагается получить в течение ближайших пяти-семи лет) процесс совершенствования интеллектуальных систем и снятия барьера непонимания между ними и пользователями-людьми будет вряд ли возможным.

Поиск релевантных знаний. Базы знаний в интеллектуальных системах используются в самых различных процедурах, связанных с вводом знаний, преобразованием и использованием их для поиска решений. Все эти процедуры требуют наличия механизмов, которые позволяли бы по тексту запроса к базе знаний найти в базе те знания, которые понадобятся для получения ответа.

Отличие от баз данных, для которых механизмы поиска ответов на запросы достаточно хорошо изучены (хотя и тут еще имеется немало нерешенных задач, являющихся для специалистов "твердыми орешками"), для баз знаний соответствующие проблемы пока еще далеки от каких-либо эффективных решений. Известно, что основным механизмом реализации процедур поиска в базах знаний служит поиск по образцу, являющийся своеобразным видом ассоциативного поиска.

Процедуры поиска по образцу имеют высокую сложность с экспоненциальной оценкой. Но с этим приходится мириться, так как пока не найдено никакой либо иной универсальной процедуры, позволяющей отыскивать нужные знания. Но основной проблемой остается поиск ответа на вопрос: "Как аппроксимировать образец по тексту поступившего запроса?"

Актуальность этой проблемы можно проиллюстрировать на следующем (очень простом) примере. Пусть в систему введен текст: "Петя залез на шкаф, отырал дверцу заветного шкафа, достал конфеты и быстро, торопясь, съел несколько штук...". Вечером мать, доставая конфеты для чая, посмотрела на Петю и сказала: "Странно. Конфет стало меньше". Петя густо покраснел. Предположим, что интеллектуальная система должна ответить на вопрос: "Почему Петя покраснел?" На основании какой информации она может это сделать? Как мы сами отвечаем на подобные вопросы?

Проблема поиска релевантной некоторому тексту информации пока остается нерешенной. В этой области больше вопросов, чем ответов. 90-е годы можно внести в решение этой проблемы свою лепту. Возможно, что создание энциклопедических баз знаний облегчит эту задачу.

Понимание текстов. Что значит понять текст? Ответ на этот вопрос, который в равной степени для лингвиста, психолога или философа, остается феноменом понимания во многом еще остается загадочным. В интеллектуальных системах имеется способ уточнить интерпретацию этого текста. Можно, например, считать, что система понимает введенный в нее текст с точки зрения некоторого человека (или группы экспертов) она должна отвечать на все вопросы, связанные с информацией, отраженные

в этом тексте. Такая интерпретация связана с классификацией типов вопросов, которые задаются, определяют уровни понимания текста. На первом уровне

вопросы прямо связаны с введенным текстом и ответы на них в явном виде содержатся в этом тексте. Если использовать текст про Петю, съевший конфеты, который был приведен выше, то вопросами первого уровня могут быть, например, следующие: "На что залез Петя?" или "Что сказала мать?". Вопросы второго уровня требуют специального логического подтекста. Ибо ответы на них в явном виде в тексте отсутствуют. Пример такого вопроса: "Почему конфет стало меньше?". Ответ на такой вопрос опирается на некоторую схему рассуждения. Третий уровень понимания связан с расширением текста за счет привлечения релевантных знаний. Пример такого вопроса был приведен при обсуждении соответствующей проблемы. Но возможны и более высокие уровни понимания. Например, связанные с тем, что текст понимается не буквально, а метафорично.

Особым случаем понимания текста является вычисление из него практической составляющей, некоторого руководства к действию. Такая интерпретация процесса понимания тесно связана с задачей планирования поведения на основе текстового описания условий и целей.

6. Синтез текстов. С проблемами поиска релевантного знания и понимания текстов весьма тесно соприкасается еще одна проблема, привлекающая сейчас внимание специалистов, работающих в искусственном интеллекте.

Она связана с разгадкой механизмов, лежащих в основе процедуры рождения текстов на заданную тему. Без ответов на возникающие тут вопросы нельзя организовать полноценный обмен информацией между людьми и системами искусственного интеллекта. Ибо механизм генерации направленного текста вместе с механизмом анализа и понимания текста образует основу процесса коммуникации — основного процесса в организации человеческого поведения и реализации всех видов его деятельности.

Как и процесс понимания, процесс синтеза текстов имеет многоуровневую структуру. После зарождения мотивов его генерации и осознания целей, которые предполагается достигнуть в акте общения, наступает этап порождения когнитивной структуры текста. Этот этап реализуется на уровне тренированных представлений системы о мире, хранящихся в базе знаний. Знания релевантные целям, направляющим процесс "строительства" текста, выступают некоторым планировщиком на знаниях и собираются во внутреннюю структуру текста. После этого на уровне лингвистической компоновки текста другой планировщик превращает эту структуру в линейный текст естественного языка. Этот текст еще лишен того, что в психолinguistics называют читабельностью. Он еще слишком связан с машинными представлениями. Куски плохо пригнаны друг к другу, отсутствует гладкость переходов и ясность изложений целей. Эти недостатки "глубинного текста" исправляются на третьем уровне генерации, который реализуется стилем человеческого планировщика.

Описанная процедура генерации ставит перед ее создателями ряд проблем, не решенных к настоящему времени. Например, неясно, какие принципы лежат в основе построения когнитивных структур текстов. И хотя такие принципы существуют, убедительно свидетельствуют, напри-

мерименты по генерации текстов волшебных сказок или музыкальных произведений (также текстов, но использующих специальный язык для общения с пользователями). В первом случае когнитивная структура определяется набором глубинных функций Пропфа, задающих достаточно жесткий сценарий будущего текста. Во втором случае имеется конечная система правил, делающих процедуру композиции в нужной мере формальной. Но остаются по крайней мере две проблемы, решение которых пока не найдено: как цели связаны с когнитивной структурой и как описываются когнитивные структуры тех типов текстов, которые нужны, например, в процессе естественно-языкового диалога. Большое внимание к проблемам структуры речевых актов (нового направления в лингвистике) со стороны специалистов по искусственному интеллекту подогревается надеждами найти ответы на поставленные вопросы.

Не меньшей проблемой является переход от нелинейной структуры текста к ее линейному представлению. Этот переход тесно связан с исследованиями по гипертекстам. Определенный бум, возникший в этой области, в том раз и связан с осознанием того факта, что линейный по форме текст, как правило, является внешним кодом нелинейной структуры, на которую "натянута". Гипертекстовые технологии призваны не только обеспечить возможность работы с нелинейным представлением текстов, но и должны решать задачи его линейаризации и перехода от линейного представления к гипертекстовому.

Этот комплекс взаимосвязанных задач сейчас настолько активно изучается, что есть немалые основания считать, что в ближайшие годы проблемы синтеза текстов найдут свое разрешение.

Когнитивная графика. Система технического зрения и машинной графики всегда находилась где-то на окраине области искусственного интеллекта. Как и методы распознавания образов, методы, используемые для решения возникающих здесь задач, по своей сути были мало чем похожи на те, которые использовали специалисты по искусственному интеллекту. В системах, основанных на знаниях, как часто называют экспертные и интеллектуальные системы, уровень сенсорных и перцептивных процессов, играющих фундаментальную роль при зрительном восприятии или понимании речи, оказался слишком "мелким". В базах знаний реализован был более "крупный" уровень ментальных представлений. И пока специалисты по использованию зрительной и акустической информации в интеллектуальных системах занимались "нижними" уровнями восприятия и понимания, остальные специалисты, работающие в области искусственного интеллекта, не находили с ними общего языка.

Настоящее общение между ними началось в 80-е годы, когда стали появляться первые исследования в области ментальной интерпретации перцептивных образов (анализ трехмерных сцен) и в области анимации зрительных картин, связанных с ментальными представлениями. Установление связи между текстами, описывающими сцены, и соответствующими этим сценам изображениями потребовало наличия в базах знаний специальных

представлений для видеобразов и процедур соотнесения их с традиционными формами представления знаний.

Графическая информация стала трактоваться с позиций знаний, содержащихся в ней. Если до этого ее функция сводилась к иллюстрации технических знаний и решений, то теперь она включалась равноправным образом в те когнитивные процессы, которые моделируются в базах знаний на основе их содержимого. Термин "когнитивная графика" отражает принципиальный переход от иллюстрирующих изображений к видеозаписям, способствующим решению задач и активно используемых для этого.

Когнитивная функция изображений использовалась в науке и до появления компьютеров. Образные представления, связанные с понятиями графа, дерево, сеть и т.п., помогли доказать немало новых теорем, круги Эйлера позволили визуализировать абстрактное отношение силлогистики Аристотеля, диаграммы Венна сделали наглядными процедуры минимизации функций алгебры логики.

Систематическое использование когнитивной графики в компьютерном составе человеко-машинных систем сулит многое. Даже весьма робкие попытки в этом направлении, известные как мультимедиа-технологии, привлекающие сейчас пристальное внимание специалистов (особенно тех, кто занимается созданием интеллектуальных обучающих систем), показывают перспективность подобных исследований.

Но пока тут почти terra incognita. Начаты лишь первые большие эксперименты, направленные на создание систем, опирающихся на когнитивную графику. Но в 90-х годах следует ожидать качественного прорыва в области искусственного интеллекта.

8. Многоагентные модели. Топик с таким названием возник на конференциях, посвященных проблемам искусственного интеллекта, где-то в первой половине 80-х годов. Причины для появления такой проблематики несколько. Прежде всего, стало ясно, что эффективная реализация важных для интеллектуальных систем процедур требует параллельной, асинхронной их организации. Подобные процессы интегрируют в себя активности отдельных центров, решающих свои локальные задачи. Но локальные задачи и пути их решения должны быть согласованы в границах некоторых глобальных целей.

Примерами процедур такого рода могут быть процедуры согласования мнений различных экспертов по поиску решения сложной многоцелевой задачи, согласование локальных локомоций при синтезе интегрального движения (например, движение робота, снабженного зрением и манипулятором) или процедура коллективного взаимодействия интеллектуальных агентов при решении в автономном режиме некоторой общей задачи.

Появление специальных архитектур, призванных поддерживать такую организацию процессов (например, параллельные вычислительные системы, в которых используется принцип "доски объявлений"), еще более усилил интерес к многоагентным моделям. Наконец, уверенность в том, что в нервных тканях живых организмов реализуется асинхронный и параллельный

иска решения, также оказала свое влияние на исследования в области многоагентных моделей.

Нужно отметить, что идеология моделей такого рода опирается на методы и результаты, полученные ранее вне сферы интересов собственно искусственного интеллекта. Еще в конце 50-х годов появились первые работы по точных автоматов и моделей коллективного поведения автоматов. Эти работы заложили основу для появления мультиагентных моделей. Новое, что внес в эти исследования специалист по интеллектуальным системам, это повышение "уровня интеллекта" агентов. Они стали способны использовать свои локальные знания для достижения своих целей. И задачи согласования, организации из целесообразного взаимодействия переместилось на более высоком уровне к задаче согласования целей и знаний, то есть на уровень, характерный для задач искусственного интеллекта.

Возникающие тут проблемы тесно связаны с проблемами динамических систем, с необходимостью оценки конфликтности целей, противоречия в знаниях, использование упоминавшихся выше процедур оправдания в системах имеющихся знаний и концептуальных моделей.

Быстрое развитие этого направления в конце 80-х годов показало, что оно останется интересным и в 90-е годы, так как многие возникшие здесь проблемы еще ждут своего решения. Адепты этого направления надеются, что в начале следующего века будет создано новое научное направление — теория асинхронных конфликтующих процессов или что-то подобное с таким названием, которое еще не появилось.

Сетевые модели. Интеллектуальные системы, основанные на правилах (экспертных), принесли не только радость решения ряда задач, но породили сомнения в том, что именно они призваны остаться основными моделями представления знаний в интеллектуальных системах. Многочисленные дискуссии 80-х годов, проводившиеся специалистами в области искусственного интеллекта по этому поводу, привели к укреплению сетевой парадигмы, которая отодвинутой в сторону триумфальным выходом на сцену продуктивных моделей. И хотя исследования в области семантических сетей, экспертных сетей и сетей другого типа продолжались, они были малочисленными и не слишком продуктивными.

В начале 80-х годов сетевые модели стали развиваться быстрыми темпами. Этот процесс совпал с пробуждением интереса к давно забытым нейронным архитектурам, появлением транспьютерных систем и нейрокомпьютеров, с возвращением к работам, опирающимся на эволюционные модели, с активным программированием. Возник определенный бум, который привнес в решение неодолимым.

Ввиду первого этапа развития сетевых моделей (в основном в виде простых многослойных систем типа перцептронов) наступило разочарование в их возможностях и простоте их аппаратной реализации, то в начале 90-х годов эти сомнения были отброшены. Комплекс исследований в этой области, в том числе возник, что произошло практическое отпочкование специалистов, занимающихся в области сетевых моделей, от основного ядра тех, кто

причисляет себя к искусственному интеллекту. У "сетевиков" появились свои журналы, они стали проводить свои симпозиумы и конференции, формировать свою терминологию. Этот разрыв нарастает, что по-видимому, приведет к возникновению двух наук, связанных с построением интеллектуальных систем. Одна из них будет по-прежнему опираться на уровневые (ментальные (информационные) представления), а другая — на уровневую структурную организацию (по типу нервных тканей), порождающей нужные решения. Во всяком случае в 90-е годы вряд ли можно ожидать снижения интереса к сетевым моделям и многочисленным нерешенным проблемам, связанным с их построением и функционированием.

10. Метазнания. Метазнания или знания о знаниях — неперенный атрибут познавательных процессов. В искусственных системах они в том или ином виде присутствовали всегда (например, в виде схем баз данных, баз данных или в виде стратегий управления в производственных системах).

Но только с полным осознанием глобальной цели искусственного интеллекта, которую можно сформулировать, как создание метасистемы, способной порождать все необходимые конкретные программы деятельности, очевидно, что уровень метазнаний сам по себе представляет немалый интерес для изучения. Метазнания тесно связаны с теми основными для человека процедурами, которые позволяют ему учиться новым видам деятельности. Именно поэтому интерес к метазнаниям тесно связан с глубоким вниманием к процессу обучения, которое характерно для начала 90-х годов.

Интеллектуальные обучающие системы, использующие метазнания в организации учебного процесса, ориентированного на конкретного обучающегося, стали первым объектом, в котором метазнания "овеществились", обрели все необходимые качества для конкретного изучения. В 90-х годах, наверняка, станем свидетелями первых впечатляющих результатов этой области.

Заканчивая эту статью, хочу подчеркнуть, что выбор описанных десяти "горячих точек" исследований в области искусственного интеллекта конечно, субъективен. Другие специалисты могли бы назвать и другие важные направления в развитии интеллектуальных систем. Но я тешусь надеждой, что пересечение их с упомянутыми в статье направлениями будут значительными.

Информационные процессы в нейронных сетях

Е.Н. Соколов

1. ВВЕДЕНИЕ

Проблема кодирования информации в нейронных сетях включает сенсорное кодирование стимулов, кодирование стимулов в кратковременной и долговременной памяти и кодирование ответных реакций.

Говоря о кодировании стимулов в нервной системе, следует обратиться к принципу картирования. Суть его заключается в том, что рецепторная поверхность посредством множества параллельных каналов отображается на экране, образованном нервными элементами коры больших полушарий головного мозга. При смещении стимула относительно рецепторной поверхности происходит сдвиг фокуса возбуждения по экрану, образованному нервными элементами. Конкретными примерами такого картирования служат ретинотопическая, соматотопическая и томотопическая проекции. Если томотопическая и соматотопическая проекции прямо указывают на пространственное соответствие стимула и места возбуждения, то при анализе ретинотопической проекции следует учитывать разную избирательную чувствительность к частоте звуковых колебаний волосковых клеток вдоль кортиева органа. Таким образом, томотопическая проекция представляет собой частный случай соматотопической проекции.

Рассмотрим теперь каждый элемент той карты, на которой происходит раздражение стимула. Этот элемент отвечает только тогда, когда сигнал возникает в определенном участке рецепторной поверхности. Можно сказать, что такой элемент является локальным детектором, а экран, на котором возникает отображение пространственного положения стимулов — детекторная карта. При таком подходе принцип картирования объединяется с детекторной теорией, однако применительно только к таким сигналам, которые различаются своим положением на рецепторной поверхности.

Возникает вопрос: как происходит кодирование тех стимулов, которые воздействуют на локальный участок рецепторной поверхности, не меняют своего положения? Применим ли к таким стимулам принцип картирования — отображения их на детекторной карте? Отвечая на этот вопрос утвердительно, следует учитывать, что на локальном участке рецепторной поверхности имеются рецепторы разного типа, образующие ансамбль рецепторов, которому в нервной системе соответствует ансамбль нейронов. При изменении сигнала на данном участке рецепторной поверхности возбуждения разных рецепторов возникают в разной степени, соответственно изменяются и возбуждения