

УДК 519.08

К.Э. Петров

## ПРОБЛЕМЫ ФОРМАЛИЗАЦИИ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ЧЕЛОВЕКА

### Введение

Вычислительная техника (ВТ) возникла и развивается как инструмент автоматизации интеллектуальной деятельности человека. Однако необходимым условием ее конструктивного применения является наличие алгоритмического описания реализуемой интеллектуальной деятельности. Для этого, в свою очередь, необходимо формальное описание (построение математической модели) интеллектуального процесса. Таким образом, прогресс в автоматизации интеллектуальной деятельности определяется следующими факторами:

- уровнем развития ВТ и ее функциональных характеристик (объема памяти, быстродействия, средств визуализации, сервисных функций и т. д.);
- наличием машинно-ориентированных алгоритмов, которые описывают эти интеллектуальные процессы.

В ходе развития процесса автоматизации интеллектуальной деятельности можно выделить два этапа. Первый из них связан с бурным распространением вычислительной техники «вширь», проникновением ее в различные сферы человеческой деятельности на основе реализации, в основном, простейших рутинных интеллектуальных функций: запоминания, хранения, поиска данных, арифметической обработки цифровой информации. На этом этапе практически отсутствовали затруднения с алгоритмическим обеспечением, так как человечество в процессе своего развития к моменту возникновения ВТ накопило большой объем моделей и алгоритмов решения рутинных процедур обработки данных ориентированных на передачу знаний (обучение). При этом главным сдерживающим фактором являлись ограниченные функциональные характеристики универсальных ЭВМ. Однако в середине 90-х годов это ограничение было практически снято, что открыло перспективы перехода ко второму этапу, ориентированному на автоматизацию более сложных интеллектуальных процессов и процедур. Успехи в этом направлении оказались значительно скромнее, чем предполагалось вначале. Прилагательные «интеллектуальные», «знаниеориентированные» и т. п. применительно к компьютерным информационным системам отражают скорее намерения разработчиков, чем конкретные результаты. Не вдаваясь в подробности, можно констатировать, что обещания середины 90-х годов относительно экспертных и других систем,

основанных на интеллектуальных процедурах принятия решений, не оправдались. Это обусловлено тем, что в настоящее время не решены проблемы синтеза и идентификации формальных (математических) моделей интеллектуальной деятельности человека и получения знаний от их носителя. Дальнейшие перспективы использования ВТ в определенной степени зависят от прогресса в этой области.

### 1. Постановка задачи

Рассмотрим проблему более подробно. Под целенаправленным осознанным поведением, в отличие от рефлекторного, будем понимать интеллектуально аргументированные действия, направленные на достижение некоторой цели. Тогда любая целенаправленная осознанная человеческая деятельность может быть интерпретирована как последовательность актов принятия и реализации решений. В свою очередь общий процесс принятия решений может быть структурирован следующим образом:

$$Q \rightarrow I(Q) \rightarrow C \rightarrow X \rightarrow P(x) \rightarrow x^0, \quad (1)$$

где  $Q$  – некоторая исходная ситуация в контексте окружающей среды;  $I(Q)$  – индивидуальный информационный портрет ситуации  $Q$ ;  $C$  и  $X$  – соответственно цель и множество путей ее достижения (множество решений), которые формируются на основе интеллектуального анализа  $I(Q)$ ;  $P(x)$  – некоторая, в общем случае многофакторная оценка качества решений  $x \in X$ , известная как функция полезности [1];  $x^0$  – выбранное индивидуумом решение. Формальная модель выбора  $x^0$  основана на гипотезе рационального поведения, постулирующей, что индивидуум стремится экстремизировать полезность поведения:

$$x^0 = \arg \operatorname{extr}_{x \in X} P(x). \quad (2)$$

Структура (1) инвариантна предметной области деятельности, то есть одинакова, например, при постановке медицинского диагноза, решении технических, социальных и тому подобных проблем. Таким образом, прогресс в создании и развитии интеллектуальных компьютерных систем связан с математической формализацией и алгоритмизацией указанных процессов, то есть с синтезом и идентификацией математических моделей интеллектуальной деятельности. Не умаляя важности и слож-

ности формализации всех перечисленных выше этапов интеллектуальной деятельности подчеркнем концептуальную важность этапа оценивания, то есть процедуры формирования конструктивной многофакторной оценки полезности допустимых альтернатив.

В самом общем виде любую математическую модель можно представить в виде

$$Y = F(\Lambda, X), \quad (3)$$

где  $Y$  — реакция (поведение системы);  $X$  — входные воздействия;  $F$  — оператор, устанавливающий связь между входом и выходом;  $\Lambda$  — параметры (количественные характеристики) этого оператора. Тогда проблема синтеза модели в общем случае заключается в ее структурно-параметрической идентификации, то есть в определении вида оператора  $F$  (структурная идентификация) и количественных значений параметров  $\Lambda$  (параметрическая идентификация). В частном случае исследователь может располагать некоторой априорной информацией о характеристиках модели и тогда общая задача несколько упрощается.

Рассмотрим проблемы реализации структурно-параметрической идентификации в общей постановке.

Традиционный путь решения этой задачи заключается в проведении с реальной системой, модель которой строится, пассивных или активных экспериментов с целью получения количественной информации о реакции системы ( $Y$ ) на входные воздействия ( $X$ ). На основе анализа этой информации выдвигается гипотеза о характере связи между  $Y$  и  $X$ , и в рамках некоторого абстрактного языка описывается эта связь (формируется оператор  $F$ ). Затем определяются параметры модели  $\Lambda$  и далее проверяются ее адекватность и точность путем сравнения реакции (откликов  $Y$ ) модели и реальной системы на экспериментально измеренные входные сигналы  $X$ . На основе анализа результатов принимается решение о справедливости принятой гипотезы, и тогда производится эволюционное совершенствование модели путем изменения структуры (как правило, в сторону усложнения), а также уточнение параметров модели. В противном случае принимается новая гипотеза и процесс итерационно повторяется.

Существует два принципиальных подхода построения абстрактных моделей: синтез моделей прямой и непрямо аналогии. Первый подход ориентирован на как можно более точное описание реальных процессов, происходящих в исследуемой системе. Примером такой модели является модель генома человека, построение которого связано со скрупулезным восстановлением всех генных структур ответственных за формирование и жизнедея-

тельность человека. Другой подход ориентирован на создание моделей, адекватных с точки зрения выходных данных, то есть моделей, достаточно точно аппроксимирующих зависимость между входом и выходом некоторым полиномом. Оба подхода дополняют друг друга и ориентированы соответственно на микро и макро описание процесса.

Принципиальной особенностью проблемы идентификации моделей интеллектуальной деятельности является невозможность количественного измерения результатов мозговой деятельности. Это означает, что если рассмотреть последовательность этапов (1), то можно зарегистрировать только принятые индивидуумом решения  $x^0$ , но невозможно непосредственно измерить количественные значения оценки их полезности (качества)  $P(x^0)$ . Это обстоятельство делает принципиально невозможным использование описанного выше традиционного подхода к решению задачи идентификации и требует создания новых методов.

## 2. Структурная и параметрическая идентификация моделей интеллектуальной деятельности

В настоящее время для решения проблемы используется интроспективный подход известный как методология экспертного оценивания. Он основан на том обстоятельстве, что предметом исследования является осознанная интеллектуальная деятельность. Это означает, что индивидуум располагает знаниями, то есть является носителем знаний о том, как он реализует ту или иную интеллектуальную процедуру. Необходимо извлечь эти знания. Для этого индивидуум (эксперт) побуждается тем или иным способом (анкетирование, интервьюирование, различные процедуры экспертного оценивания) к осознанию, структуризации и количественному оцениванию модели собственной интеллектуальной деятельности. Это означает, что с ним проводятся активные эксперименты по извлечению знаний.

Индивидуум достаточно уверенно принимает на эвристическом уровне рациональные профессиональные или бытовые решения, но при структуризации этого процесса на большое количество этапов (процедур) с необходимостью их формализации, в большинстве случаев на количественном уровне, происходит последовательное накопление погрешностей, что делает синтезированную модель зачастую неадекватной. В частности, нарушается условие транзитивности решений или модельный выбор не соответствует действительному.

Это обусловлено тем, что интеллектуальный анализ ситуации производится чаще всего на основе качественных оценок предпочтений, то есть выполняется в качественных шкалах [1]. Оценка силы предпочтения требует перехода к количественным

шкалам. На этом этапе и возникают указанные выше погрешности.

Таким образом, необходимы альтернативные, более объективные методы идентификации моделей интеллектуальной деятельности (извлечения знаний).

Одним из таких возможных подходов является метод компараторной идентификации [2, 3], который позволяет построить достаточно широкий класс проблемно-ориентированных идентификационных процедур.

Рассмотрим особенности реализации метода компараторной идентификации применительно к задаче синтеза модели многофакторного оценивания.

Постановка задачи имеет следующий вид.

Задано множество допустимых альтернативных решений  $X = \{x_j\}$ ,  $j = \overline{1, m}$ . Каждое решение характеризуется одинаковым по структуре кортежем частных разнородных характеристик (критериев)  $K = \langle k_i(x_j) \rangle$ ,  $i = \overline{1, n}$ ,  $j = \overline{1, m}$ . Из множества  $X$  индивидуум (ЛПР) выбирает некоторую альтернативу  $x^0 \in X$ . Это решение фиксируется. И затем на основе этой информации необходимо идентифицировать модель выбора индивидуума (ЛПР).

Теоретической основой являются следующие гипотезы.

1. Существует скалярная количественная оценка полезности альтернатив  $p[k_i(x_j)]$  [4].

2. Индивидуум реализует некоторое рациональное поведение в процессе выбора, которое описывается уравнением (2).

3. Возможно установление отношения порядка для любой пары альтернатив  $x_1, x_2 \in X$  (предпочтения  $x_1 \succ x_2$  или эквивалентности  $x_1 \sim x_2$ ).

4. Невозможно непосредственно измерить численное значение индивидуальной функции полезности выбранной альтернативы.

Исходя из вышесказанного, если индивидуум в качестве наилучшего решения выбрал альтернативу  $x^0 \in X$ , то можно записать:

$$p[k_i(x^0)] \geq p[k_i(x_j)], \quad \forall j = \overline{1, m}, i = \overline{1, n} \quad (4)$$

или

$$p[k_i(x^0)] - p[k_i(x_j)] \geq 0, \quad \forall j = \overline{1, m}, i = \overline{1, n}. \quad (5)$$

Таким образом получаем систему  $(m-1)$  неравенств, которая определяет некоторую область возможных значений искомых переменных. Поэтому в общем случае задача компараторной идентификации является некорректной по Адамару, что порождает ряд дополнительных трудностей, связанных с необходимостью ее регуляризации.

Рассмотрим эту проблему подробнее.

На основе системы неравенств (5) необходимо решить задачу структурно-параметрической идентификации функции оценивания  $p[k_i(x_j)]$ .

Возможны два подхода к решению этой задачи:

- решение задачи структурной идентификации на основе аксиоматического постулирования и последующего определения параметров модели;
- решение задачи в общей постановке без априорной информации о структуре модели.

Рассмотрим перечисленные выше подходы более подробно.

В настоящее время наиболее распространенными являются аддитивная

$$P_1(x_j) = \sum_{i=1}^n a_i p[k_i(x_j)], \quad \sum_{i=1}^n a_i = 1, a_i \geq 0 \quad (6)$$

и мультипликативная

$$P_2(x_j) = \prod_{i=1}^n p[k_i(x_j)] \quad (7)$$

функции полезности.

Мультипликативная функция (7) не позволяет учитывать различную важность частных характеристик (весовые коэффициенты  $a_i$ ) [1], и потому более универсальной и чаще используемой является аддитивная функция (6). Тогда для функции (6) система неравенств (5) примет вид

$$\sum_{i=1}^n a_i (p[k_i(x^0)] - p[k_i(x_j)]) \geq 0, \quad \sum_{i=1}^n a_i = 1, a_i \geq 0, \\ \forall j = \overline{1, m}, i = \overline{1, n}, \quad (8)$$

где неизвестными являются численные значения весовых коэффициентов  $a_i$ . Все неравенства системы (8) являются линейными и, следовательно, образуют в положительном ортанте выпуклый

многогранник на гиперплоскости  $\sum_{i=1}^n a_i = 1$ , любая точка которого удовлетворяет (8). В качестве точечных значений весовых коэффициентов  $a_i$  можно принять Чебышевскую точку [1], центр тяжести многогранника, а также определить эти значения, используя теорию генетических алгоритмов [5] или метод случайного поиска.

Задача структурно-параметрической идентификации функции оценивания в общей постановке связана с определением модели оптимальной сложности в классе полинома Колмогорова-Габор. Ее решение можно осуществить, используя метод группового учета аргументов, теорию генетических алгоритмов и, возможно, с помощью искусственных нейронных сетей. При этом критерием селекции промежуточных моделей является степень совпадения отношения порядка альтернатив на обучающей эталонной последовательности [5, 6].

Проблема заключается в исследовании трудоемкости, точности и адекватности всех перечисленных методов на тестовых примерах и выработки рекомендаций по области их применения.

### Заключение

Принципиальной особенностью проблемы идентификации математических моделей интеллектуальной деятельности человека является невозможность количественного измерения результатов мозговой деятельности. Это обстоятельство делает принципиально невозможным использование традиционных подходов к идентификации и требует создания новых методов.

В связи с этим в статье предложены подходы к структурной и параметрической идентификации моделей интеллектуальной деятельности, основанные на теории компараторной идентификации. Рассмотрены основные трудности, возникающие в ходе решения этой проблемы. Показано, что решение данной задачи связано с определением модели оптимальной сложности в классе полинома Колмогорова-Габора, которое можно осуществить, используя метод группового учета аргументов, теорию генетических алгоритмов или искусственных нейронных сетей.

Список литературы: 1. Овезгельдыев А.О., Петров Э.Г., Петров К.Э. Синтез и идентификация моделей многофакторного оценивания и ранжирования. К.: Наукова думка, 2002. 164 с. 2. Шабанов-Кушнаренко Ю.П. Теория интеллекта. Проблемы и перспективы. Харьков: Изд. ХГУ, 1987. 160 с. 3. Овезгельдыев А.О., Петров К.Э. Компараторная идентификация моделей интеллектуальной деятельности// Кибернетика и системный анализ. 1996. № 5. С. 48 – 58. 4. Нейман Дж., Моргенштерн О. Теория игр и экономическое поведение. М.: Наука, 1970. 124 с. 5. Петров Э.Г., Булавин Д.А. Петров К.Э. Использование генетических алгоритмов для решения задачи структурно-параметрической идентификации модели индивидуального многофакторного оценивания// Проблемы бионики. 2004. № 60. С. 17 – 27. 6. Петров Э.Г., Булавин Д.А. Петров К.Э. Решение задачи структурно-параметрической идентификации модели индивидуального многофакторного оценивания методом группового учета аргументов// Проблемы бионики. 2003. № 58. С. 36 – 45.

Поступила в редколлегию 28.10.2004