

ПОДДЕРЖКА ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ. СЕМИОТИЧЕСКИЙ ПОДХОД¹

А.А. Кулинич

Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН
Россия, 117997, Москва, Профсоюзная ул., 65
E-mail: kulinich@ipu.ru

Ключевые слова: принятие решений, плохо определенная ситуация, прикладная семиотика, семиотическая модель, обратная задача.

Аннотация: Разработана математическая модель представления знаний эксперта в условиях неопределенности в терминах единого семиотического базиса, которая основана на формальном описании сложной ситуации в синтаксическом, семантическом и прагматическом аспектах. Разработана математическая модель поддержки принятия решений в сложных семиотических системах, позволяющая определить синтаксическое и семантическое описание сложной ситуации такое, что их оценка в прагматическом аспекте лучше существующей. Предложено два метода для определения имен классов решений: метод искусственных имен и метод на основе прецедента, основанные на исследованиях психологов процессов классификации и категоризации понятий.

1. Введение

Поддержка принятия решений в плохо определенной ситуации основывается на субъективной модели, включающей субъективно измеренные значения параметров ситуации и модель ее функциональной структуры, качественно описывающей законы ее развития. Качество субъективной модели зависит от интеллектуальных способностей субъекта, от его знаний и опыта. Решения, получаемые с помощью субъективных моделей, допускают множественные интерпретации и часто бывают бесполезными.

Методы поддержки принятия решений в таких случаях нужно искать в работах психологов. Например, в теории компетентности субъекта [1], основанной на особенностях организации базы знаний субъекта считается, что переструктуризация семантических структур в интеллекте человека может привести к качественным изменениям в понимании проблемной ситуации, что считается решением («инсайтом»). Если опираться на эту теорию организации экспертных знаний, то система поддержки принятия решений должна ориентироваться на стимулирование знаний аналитиков, направленное на их переструктуризацию для нахождения новых альтернатив и решений.

Знания субъекта в таком случае можно представлять в виде системы знаков, которые связывают ментальные процессы, в которых принимает участие имя, смысл и значение знака, определяемые субъектом с объектами реального мира – денотатами [2]. Между реальным миром и знаками существуют отношения моделирования, позволяющее осуществлять процесс мышления не с реальными объектами, а с их знаками. Основатель семиотики (науки о знаках и знаковых системах) Ч. Пирс считает, что: «У нас нет способности мыслить без помощи знаков» [3].

¹ Работа выполнена при частичной финансовой поддержке РФФИ (проект № 18-07-01044А).

Семиотический подход применяется при проектировании информационных [4] и компьютерных систем (*computer semiotics*) [5]. В работе [6] разрабатывается подход алгебраической семиотики (*algebraic semiotic*), в котором вводится понятие семиотический морфизм (*semiotic morphism*) для представления интерфейсов систем в разных, но эквивалентных знаковых системах. В работе [7] рассмотрен семиотический подход к концептуальному моделированию в информационных системах, основанный на расширении модели «сущность-связь». В базах данных были определены семиотические отношения, которые позволили авторам предложить алгебру фреймов и образов баз данных, расширяющую реляционную алгебру Кодда. Предложенные семиотические отношения имеют отношение к синтаксису языковых конструкций, а не к отношениям, существующим в реальном мире. В работе [8] знак – это четверка: имя, образ (перцепт), значение и личностный смысл. Определена математическая модель знака, операторы попарного связывания всех его элементов, операции на множествах элементов знака. Структурный аспект знаковой картины мира представляется в виде иерархии конечных распознающих автоматов, на вход которых поступает перцептивная информация. Задача автоматов распознать признаки и образы. Имя образу присваивается из культурно-исторической среды, которая представляется, как экспертная процедура. Распознанные образы и представление их в виде знаковой картины мира определяют поведение субъекта, основанное на прошлом опыте (личностном смысле). Такие модели не подходят для поддержки принятия решений в условиях неопределенности и генерации решений в уникальных ситуациях, в которых личный опыт принятия решений отсутствует.

Эта работа основана на представлениях о месте и роли семиотики в информационных системах и технологиях, изложенных в работах [9] и прикладной семиотики [10]. Построенные семиотические модели основаны на модели знака Г. Фреге [2], и строятся на методологическом базисе Ч. Морриса [11] и Ч. Пирса [3].

2. Формальная семиотическая модель сложной системы

В семиотических системах знания эксперта о сложной системе представляются с помощью знаков-символов, которые определяются тройкой [2]: имя, смысл и значение знака. Имя знака и смысл знака – отражают ментальные представления эксперта – его знания о реальном объекте (денотате), а значение – это объект реального мира. Формально знак можно представить как понятие, определенное тройкой:

$$Sg_i = \langle d_i, F(d_i), V(d_i) \rangle,$$

где d_i – имя понятия (знака), $F(d_i) = (z_{1j}, \dots, z_{nj})$ – содержание понятия – это вектор значений признаков (параметров), $z_{ij} \in Z_i$, $\forall j$, заданных на множестве возможных значений Z_i , $V(d_i)$ – объем понятия включает в себя множество объектов, удовлетворяющих содержанию понятия $F(d_i)$.

В работе [12] предложено описывать сложную систему как знаковую систему в трех аспектах: синтаксическом, семантическом и прагматическом [6].

Синтаксическая модель представляется кортежем:

$$Synt = \langle (\{d_i\}, Pof); Z(t); V; W \rangle,$$

где $(\{d_i\}, Pof)$ – $\{d_i\}$ – множество имен подсистем, Pof – отношение «часть-целое», заданное на этом множестве, $Z(t)$ – вектор значений параметров всех подсистем, W – закономерности, связывающие эти параметры, V – множество денотатов подсистем.

Семантическая модель формально представлена как онтология предметной области и задается как частично упорядоченное множество понятий (знаков-символов) пред-

метной области $Ont = (\{Sg_i\}, \leq)$. Отношение «род-вид» для двух любых понятий (знаков-символов) - $Sg_{ik}, Sg_{iq} \in Ont$ с именами d_{ik} и d_{iq} считаются определенными, если для их содержаний и объемов выполнены условия: $F(d_{ik}) \subset F(d_{iq})$ и $V(d_{ik}) \supset V(d_{iq})$. В работе [13] было предложено в качестве онтологии в условиях неопределенности использовать качественные онтологии, представленные в виде концептуальных каркасов, определенных в пространстве состояний системы $FS = \times_{ij} Z_{ij}$, где Z_{ij} – возможные значения параметров всех подсистем. Концептуальный каркас – это частично упорядоченное множество вложенных подпространств, которые определяют классы состояний и определяются именами d_i^H , содержанием – подпространствами $SS(d_i^H) \subset FS$ и объемом $V(d_i^H)$. Вложенные подпространства $SS(d_i^0) \subset SS(d_i^H)$ позволяет получить структуру, которая удовлетворяет условию существования в каркасе отношения «род-вид».

Описание сложной системы в семантической модели представляется кортежем:

$$Sem = \langle Z^*(t), Sem_i, Pof \rangle,$$

где $Sem_i = (\{d_i^H\}, \leq)$, $\forall d_i^H \Leftrightarrow SS(d_i^H)$, $\forall d_i^H \Leftrightarrow V(d_i^H)$ - концептуальный каркас, $Z^*(t) = (d_1^{H1}, \dots, d_n^{Hn})$, где $d_i^H \in (\{d_1^{H1}\}, \leq), \dots, (\{d_n^{Hn}\}, \leq)$ - вектор имен классов состояний, характеризующий состояние семантической модели.

Прагматический аспект семиотической системы определяет отношение знаковой системы и теми, кто ее использует. Под прагматическим аспектом в контексте принятия решений будем понимать полезность состояния знаковой системы для принятия решений для достижения цели, которую будем представлять как отображение состояния системы в синтаксическом аспекте $Z(t)$ на отрезок числовой оси:

$$O : Z(t) \rightarrow [0,1].$$

Оператор отображения O – это линейная свертка параметров подсистем:

$$O = \sum_{ij} \beta_{ij} x_{ij}(t)$$

где $x_{ij} \in [0,1]$ – определяется как отображение лингвистических значений параметров подсистем Z_i на отрезок числовой оси, т.е. $\varphi: z_{ij} \rightarrow x_{ij}$, $z_{ij} \in Z_i$; β_{ij} – коэффициенты предпочтений экспертов относительно параметров системы для достижения цели.

Формальная семиотическая модель объекта, включающего синтаксическую, семантическую и прагматическую аспекты представляется в виде следующей системы:

$$(1) \quad \begin{aligned} Synt &= \langle (\{d_i\}, Pof); Z(t); V; W \rangle \\ Sem &= \langle Z^*(t), Sem_i, Pof \rangle \\ O &= \sum_{ij} \beta_{ij} x_{ij}(t) \end{aligned}$$

Отметим, что в синтаксическом аспекте определены отношения «часть-целое» (Pof) и причинно-следственные отношения (W); в семантическом аспекте – отношения «род-вид» ($\{d_i^H\}, \leq$); в прагматическом аспекте отношения предпочтения экспертов (β_{ij}).

3. Принятие решений в семиотической системе

Между описаниями (1) объекта в синтаксическом, семантическом и прагматических аспектах существуют зависимости. То есть, изменения в описаниях любого из приведенных аспектов в семиотической модели объекта приведут к изменениям в описаниях в других аспектах. Общая постановка задачи принятия решения в семиотиче-

ской системе следующая. Дано семиотическое описание сложной системы (1). Необходимо найти новое описание системы в синтаксическом и семантическом аспектах, такое, чтобы его прагматическая оценка O^* была бы лучше существующей O , т.е. $O^* \succ O$.

В такой постановке задачи существует множество решений, $x_{ij}^* > x_{ij}$, для которых прагматическая оценка O^* будет лучше уже существующей. Сократить множество вариантов решений можно, если учитывать зависимости синтаксического, семантического и прагматического аспектов описания сложной системы.

3.1. Решение обратной задачи в семиотической системе

Методы решение обратных задач для динамических систем параметры, которых определены качественно или нечетко разработаны и описаны в литературе [14].

Пусть начальный вектор параметров $Z(0)$, прагматическая оценка которого O . Пусть существует вектор параметров $Z^*(t)$ прагматическая оценка которого $O^* \succ O$. Изменить начальный вектор параметров $Z(0)$ на вектор $Z^*(t)$, имеющий лучшую прагматическую оценку можно с учетом причинно-следственных отношений W , заданных при описании системы в синтаксическом аспекте. Для учета этих зависимостей будем считать вектор $Z^*(t)$ целевым и решать относительно него обратную задачу.

$$U = W^{-1} \circ Z^*(t).$$

Решение обратной задачи дает множество решений $U = \{u_i\}$. Прагматическая оценка любого полученного решения $u_i \in U$ должна быть лучше существующей, т.е. $O^* \succ O$.

Если представить множество векторов решений U в концептуальном каркасе Sem , то многие из векторов окажутся в подпространствах $SS(d^H)$ с одним и тем же именем d^H . Такие вектора $U(d^H)$ считаются эквивалентными в семантическом смысле, и они определяют класс решений, обозначаемый одним именем d^H . Таким образом, решения U в семантической модели системы обозначены именами классов решений, образуют частично упорядоченное множество, называемое концептуальным каркасом решений.

При формальном решении обратной задачи в синтаксической модели ситуации получается концептуальный каркас решений, имена классов в котором определены в виде математических символов. Однако, в поддержке принятия решений необходимы общепринятые имена, обозначающие реальные ситуации или объекты (денотаты). Такие имена будут решением обратной задачи в семиотической системе. Для того, чтобы получить такие имена рассматривались два метода, основанные на исследованиях процессов классификации и категоризации когнитивными психологами.

3.1.1. Метод искусственных имен. Вопросы определения имен понятий исследовались когнитивными психологами при изучении способностей человека решения задач классификации [15] и др. Испытуемому предлагалось классифицировать множество объектов имеющих разные свойства, например, цвет, размер, и т.д. Испытуемый классифицировал объекты и присваивал классу имя, которое включало отличительный признак этого класса.

В методе искусственных имен предлагается присваивать имя новому обобщенному классу на основе имени базового класса (d^0), названия признака (f_i), обобщенных значений признака. Для обобщения значений признаков представленных в порядковых шкалах используются прилагательные «Большой (ие)» (z^+), «Маленький (ие)» (z^-), а для значений признаков в номинальной шкале сами значения признаков ($z_{iq} \in Z_i$). Тогда, составное искусственное имя будет иметь следующий вид: $d^H = d^0 \& f_i \& z^+ \vee z^- \vee z_{iq}$.

3.1.2. Метод прецедентов (прототипов). Метод прецедентов (прототипов) основан на исследованиях процессов категоризации психологом Э. Рош [16]. Ее теория прототипов заключается в том, что категории в интеллекте человека представлены наиболее «яркими» экземплярами этой категории – базовыми понятиями или прототипами. Категория имеет имя этого прототипа. В этом методе возможны два варианта определения имени прототипа по составному искусственному имени класса решений. Первый метод – экспертный – предполагает, что искусственное имя d^H используется как стимул – подсказка для поиска прототипа в собственной памяти субъекта. Второй метод предполагает, что искусственное имя d^H используется как запрос к поисковым машинам хранилищ неструктурированной информации сети Internet. В этом случае результат запроса содержит возможные прототипы, а эксперту остается выбрать подходящий.

4. Заключение

Рассмотрена общая постановка задачи поддержки принятия решений в плохо определенных сложных ситуациях, определенных математической моделью семиотической системы. Предложен подход решения обратной задачи в семиотической системе.

Список литературы

1. Glaser R. Education and Thinking: The role of knowledge // Amer. Psychologist. 1984. Vol. 39, No. 2. P. 93-104.
2. Бирюков Б.В. Теория смысла Готлоба Фреге // В кн.: Применение логики в науке и технике. М.: Изд-во АН СССР, 1960. С. 502-555.
3. Пирс Ч.С. Что такое знак? // Вестник Томского Государственного Университета. Философия. Социология. Политология. 2009. № 3 (7). С. 88-95.
4. Barron T.M., Chiang Roger H.L., Storey V.C. A semiotics framework for information systems classification and development // Decision Support Systems. 1999. No. 25. P. 1-17.
5. Andersen P.B. A Theory of Computer Semiotics: Semiotic Approaches to Construction and Assessment of Computer Systems. Cambridge: Cambridge University Press, 2006. 460 p.
6. Goguen J. An Introduction to Algebraic Semiotics, with Applications to User Interface Design // Computation for Metaphor, Analogy and Agents, ed. by Ch. Nehaniv, Springer Lecture Notes in Artificial Intelligence. 1999. Vol. 1562. P. 242-291.
7. Furtado A.L., Casanova M.A., Barbosa S.D.J. A Semiotic Approach to Conceptual Modelling. Conceptual Modeling. ER 2014. Lecture Notes in Computer Science. Vol. 8824. Springer, 2014. P. 1-12.
8. Осипов Г.С., Чудова Н.В., Панов А.И., Кузнецова Ю.М. Знаковая картина мира субъекта поведения. М.: Физматлит, 2018. 264 с.
9. Stamper R.K. A semiotic theory of information and information systems // In: B. Randell (Ed.), Proceedings of the Joint ICL/University of Newcastle Seminar on the Teaching of Computer Science, Part IX: Information Newcastle: University of Newcastle, 1993. P. 1-33.
10. Поспелов Д.А., Осипов Г.С. Прикладная семиотика // Новости искусственного интеллекта. 1999. № 1. С. 9-35.
11. Моррис Ч.У. Основания теории знаков // Семиотика: антология. Изд. 2-е, перераб. и доп. М.-Екатеринбург, 2001. С. 45–97.
12. Kulinich A.A. Semiotic Approach in Modeling and Decision-making in Ill-defined Complex Situations // Proceedings of the 11-th International Conference "Management of Large-Scale System Development" (MLSD). Moscow: IEEE, 2018. P. 1-5. <https://ieeexplore.ieee.org/document/8551835>
13. Kulinich A.A. Conceptual Frameworks of Ontologies for Ill-Structured Problem Domains // Scientific and Technical Information Processing, 2015. Vol. 42, No. 6. P. 411-419.
14. Pappis C.P., Sugeno M. Fuzzy relational equations and the Inverse Problem // Fuzzy Sets and Systems. 1985. No. 15. P. 79-90.
15. Выготский Л.С. Мышление и речь // Собр. соч.: В 6 т. Т. 2. М.: Педагогика, 1982. С. 5-361.

16. Rosch E. Principles of categorization // In: Rosch E., Lloyd B.D. Cognition and categorization. N.Y.: Lawrence Erlbaum Association, 1978.