ЭМПИРИЧЕСКОЕ ПРЕДСКАЗАНИЕ И РАСПОЗНАВАНИЕ ОБРАЗОВ
(Вычислительные системы)
1980 год Выпуск 83

УДК 517.11.518.5

ЛОГИКО-СЕМИОТИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ИСКУССТВЕННОМУ ИНТЕЛЛЕКТУ

Н.В.Белякин, Е.А.Жевлакова

Предметом рассмотрения являются системы произвольной природы, состоящие из взаимосвязанных элементов, каждый из которых представляет собой приближенную модель всей системы. Такого рода объекты естественно возникают в исследованиях по семиотике культуры, например, при изучении взаимоотношений между культурной парадигмой - официальным языком культуры - и моделью индивидуального поведения или сознания, ориентированного на эту парадигму (см. [1]). На наш взгляд, математизация теории таких систем в принципе возможна и представляет интерес в связи с проблемами искусственного интеллекта и, в частности, в связи с теорией проектирования сложных систем. В статье даются некоторые общие соображения, указывающие направление искомой математизации.

§1. Отдельные аспекты понятия сложности

Когда мы произносим слова "сложная система" (или "сложная программа"), то представляем себе программу не просто большую по объему, но и такую, в которой связи между командами не являются тривиальными. Такая программа может содержать большое количество подпрограмм, которые, с одной стороны, независимы друг от друга, а с другой - взаимосвязаны столь тесным образом, что даже незначительное изменение одной из них может привести к существенному изменению всей программы. В принципе, интуитивно мыслимое понятие сложности поддается математическому уточнению, идея которого восходит к фон Нейману (см. [2, с.56-57]). Критерий сложности, предложенный фон Нейманом в нестрогих терминах, можно сформулировать следующим образом: о б ъ е к т (с и с т е м а) с ч и т а е т -

ся сложным, если не существует адекватного описания этого объекта, более простого по объему, чем сам объект.

Конечно, подразумевается, что не происходит перенесения всей интуитивно мыслимой сложности на процедуру декодирования описания, т.е. не должно быть такого кодирования, при котором достаточно сложные объекты получали бы (по определению) простое описание, потому что процедура декодирования в этом случае была бы не менее сложной, чем описание самого объекта. Можно привести пример одной из возможных формализаций идеи фон Неймана - колмогоровскую сложность (см. [3]), но там рассматриваются "статические объекты" - двоичные слова, - нас же интересует сложная программа не просто как запись команд, но и как "динамический" объект, т.е. программа вместе с процессом ее функционирования, который, в свою очередь, может быть весьма сложным.

Не ставя перед собой задачу дать хотя бы частичное определение сложной системы, попробуем объяснить, как это определение соотносится с интуитивным представлением о сложности. Так, мы не считаем программу сложной, если она содержит большое число команд, но может быть просто описана, не считаем программу сложной и в том случае, если она удовлетворяет критерию сложности, но объем ее небольшой. Если же в программе очень много команд и она удовлетворяет критерию сложности, то мы считаем ее сложной. Заметим, что в интуитивное понятие сложной системы включаем еще и тот факт, что она не может быть создана одним человеком, пусть даже гениальным. Конечно, мы признаем, что могут быть достаточно большие по объему и удовлетворяющие критерию сложности программы, созданные, в принципе, одним человеком, но мы их здесь не рассматриваем. Для нас существенно именно то, что сложную программу создает коллектив разработчиков, и отсюда следуют новые трудности - стыковка подпрограмм, обмен информацией между разработчиками, согласование смыслов нечетких понятий, которые практически никогда не понимаются одинаково. (Отсюда, в частности, вытекает, что если бы мы хотели математизировать такое понятие, как коллективное сознание или коллективная логика, то было бы нецелесообразно представить его в виде некоторого фантастического супермозга, которому, например, ничего не стоит перебрать миллион команд.)

Как правило, сложная программа сопровождается комментариями, поясняющими ее функционирование. До сих пор приходится сталкиваться с представлением, что комментарии - нечто факультативное, вводимое для удобства, но совсем не обязательное. В последнее время, в связи с изучением сложных систем, все более проясняется, что комментарии представляют собой неотъемлемую часть самой сложной системы.

Обычно комментарии связаны с манипулированием нечеткими понятиями, это обусловлено тем, что сама программа - сложная, поэтому описание ее в четких терминах несообразно с критерием сложности. Ниже дадим некоторые пояснения, что представляет собой нечеткое понятие.

Термин "четкость" совсем не обязательно понимать в привычном смысле как формализуемость в духе программы Гильберта (см.[4, §14]). Мы предлагаем понимать этот термин как синоним равномерности, внешней характеристики того, что в логике принято называть объемом понятия и что математически представляется как множество. Противопоставить этому можно "нечеткость" (синоним неисчерпаемости объема); поэтому если хотим формализовать нечеткое понятие, то это лучше делать не в терминах множества, что по своей сути является статичным, а в терминах процессов развертывания содержания, т.е. желательно, чтобы такое описание, если оно сделано, являлось динамичным (даже если мыслить его как объект "формальный, по Гильберту"). Конечно, такая позиция является методологическим принципом, и можно было бы придерживаться другого принципа, в силу которого нечеткое понятие описывается равномерно (например, см. [5]), но тогда оно приобретает незаконную претензию на некое подобие четкости, оставаясь, по существу, нечетким, и уже одно это кажется нам некорректным. (Именно по этой причине, как нам кажется, нецелесообразно аксиоматизировать гуманитарные науки - а создание сложной системы предполагает человеческое общение и уже поэтому близко к области изучения гуманитарных наук.) Итак, мы придерживаемся следующего методологического принципа:

Относительно четкое понятие - такое, которое может быть описано равномерно. Относительно нечеткое понятие не может быть так описано - оно снабжено "динамикой".

Можно предположить, что первоначальное интуитивное представление о содержании нечеткого понятия частично характеризуется посредством указания либо конечной, либо регулярно порож - даемой системы прецедентов. Сами прецеденты являются относительно более четкими в данном контексте (или в данной ситуации их даже можно считать четкими) - принцип равномерности нарушается при рассмотрении всей совокупности прецедентов. Таким образом, прецеденты представляют собой описание того,как данная программа должна функционировать (или функционирует) в некоторых частных ситуациях, т.е. каждый прецедент представляет собой неполное описание всей системы,причем каждое такое описание проводится в достаточно гибком и сильном фиксированном языке - обозначим его $\mathcal{F}$.Этот язык должен быть избыточным,потому что его задание придает статус равномерности всем выражениям, записанным в $\mathcal{F}$, и мы не вправе ожидать, что приемлемые прецеденты выделяются при помощи тоже равномерного критерия (это вступало бы в противоречие с методологическим принципом (см. стр.36)). В результате возникает дополнительная проблема - выделение интуитивно неисчерпаемого множества приемлемых прецедентов из некоторого относительно четкого множества правильно построенных выражений данного языка $\mathcal{F}$.Вообще говоря, каждый прецедент при конкретном рассмотрении может наделяться соответствующей "динамикой" - ведь любую программу можно воспринимать двояко: с одной стороны, как нечто четкое относительно языка, в котором она записана, с другой стороны, программа приобретает статус нечеткости, если мы захотим понять, как она работает - за счет манипулирования нечеткими понятиями. Иными словами, прецеденты являются логически равноправными относительно формального языка, в котором они записаны, но не являются таковыми относительно соответствующей неформальной задачи.

Как правило, прецеденты бывают двух типов: заведомо подходящие под смысл рассматриваемого нечеткого понятия и заведомо не подходящие под этот смысл. Так как отрицание нечеткого понятия - понятие снова нечеткое (закон исключенного третьего здесь неприменим),то следовало бы мыслить одновременный процесс развертывания самого понятия и его отрицания. Но как показывает математическая практика (индуктивное определение, одновременная индукция и т.п.), ничего нового в аппарат исследования это не привносит; поэтому весьма разумно предположить, что аппарат моделирования существенно не изменится от того, моделируем ли мы два различных понятия (или, что то же самое, просто одно понятие) или понятие и его отрицание. Будем считать, что нечеткое понятие P как-то задается своими прецедентами R, описывающими частные случаи P; при этом естественно потребовать, чтобы интуитивно мыслимая система прецедентов была некоторым образом структурирована. Структурированность можно представить как множество опорных прецедентов (т.е. то, что заведомо должно включать в себя P) плюс некий механизм (или интуитивная идея) для порождения новых прецедентов. Для определения последнего момента напрашивается понятие диагонализации; сам этот термин восходит к Кантору, но по смыслу, подразумеваемому здесь, ближе к термину "диагонализация", используемому при доказательстве теоремы Геделя о неполноте (см. [4, § 42]) или при построении различных универсальных функций в теории алгоритмов. Например, рассмотрим понятие рекурсивности (см. [6]), в качестве естественной системы опорных прецедентов можно взять примитивно-рекурсивные описания. Когда методом диагонализации примитивно-рекурсивных функций была получена универсальная функция, она была признана тоже рекурсивной.

Попытка систематической реализации идеи применения метода диагонализации к исследованию нечетких понятий требует критического пересмотра некоторых привычных концепций, относящихся к логике и основаниям математики.

§2. Автопродуктивность

Интересующую нас ситуацию можно формализовать, используя хорошо известное в математике понятие продуктивности, несколько модифицированное. Как известно (см. [7, с. 115]), произвольное множество B называется продуктивным, если для в с е х его рекурсивно-перечислимых подмножеств C выполняется следующее условие:

$\exists x(x\in B \,\&\, x \notin C)$, причем x эффективно находится по описанию C. (I)

Это определение для традиционных постановок задач в теории алгоритмов вполне приемлемо и с успехом используется, но в ситуации, интересующей нас, оно уязвимо для критики именно потому, что речь идет о в с е х подмножествах в теоретико-множественном понимании - ведь даже в исследованиях по основаниям теории множеств аксиома степени вызывает определенные математические трудности и философские возражения, в нашем же случае эти возражения выходят на специфику самой задачи. Когда речь идет о прецедентах, нас интересуют на самом деле не в с е прецеденты, а "всевозможные допустимые", т.е. те, которые могут возникнуть в процессе диалога. Заменим термин "все" на близкий, но все же отличающийся по смыслу термин "всевозможные". В результате замены появляется надежда на конструктивность – термин "всевозможные" указывает на запас имеющихся возможностей, т.е. появляется новый параметр, благодаря которому смысл понятия продуктивности несколько уточняется.

Назовем произвольную систему B автопродуктивной, если ее всевозможные (т.е. порождаемые ею или допустимые) подсистемы C удовлетворяют условию I).

Заметим, что здесь произошла еще одна замена – термина "множество" на термин "система". В принципе, в интуитивное понятие множества обычно включается его описание – процесс его формирования – но об этом часто забывают, сознательно или нет. И хотя мы признаем, что во многих случаях мыслить множество без его описания бывает даже полезным, все же игнорировать этот момент не следует, потому что для некоторых ситуаций он является весьма существенным. Правомерно ли, например, говорить о "множестве" всевозможных осмысленных инструкций для ведения эмпирических наблюдений или о "множестве" всех мыслей, которые могут прийти нам в голову? Такие или подобные им вопросы непременно возникают при рассмотрении проблем искусственного интеллекта и, в частности, теории сложных систем.

В [8], например, рассматривается проблема существования приемлемых методов эмпирического обобщения. Условия, которым должен удовлетворять искомый метод, могут быть признаны естественными или оправданными в том случае, если упомянутое выше множество осмысленных и осуществимых инструкций наблюдения является законным объектом рассмотрения, с которым можно обращаться традиционным образом. Полученный в [8] отрицательный результат (о несуществовании невырожденного алгоритма эмпирического обобщения) представляет, как нам кажется, существенный интерес именно потому, что упомянутое множество инструкций выявляет свою принципиальную нечеткость (неисчерпаемость) и тем самым выявляется важная проблема адекватного математического обращения с этим объектом. Теперь остановимся на втором приведенном примере. Допустим, мы сформулировали некоторые приемлемые для нас аксиомы, описывающие "множество" мыслей, которые могут прийти в голову. Тогда, в силу неполноты практически любой аксиоматизации, первоначально мыслимое интуитивное множество M подменяется множеством M_1 всех тех мыслей, которые могут прийти в голову в соответствии с принятыми аксиомами. Мы утверждаем, что изучение множества M_1 не может рассматриваться как сколько-нибудь приемлемое приближение к исходному множеству M. Этот пример, конечно, является гротескным, но можно с уверенностью предположить, что указанное обстоятельство может быть неявно задействовано всякий раз, когда мы имеем дело с нечеткими терминами (см. с. 36).

В классической математике, основанной на теории множеств Цермелло-Френкеля, такие вопросы до сих пор не возникали, и их постановка вызывает известные трудности. Рассмотрим такой пример. Попытаемся понимать континуум как совокупность всевозможных бесконечных дробей, допускающих осмысленное описание в неформальном русском языке. Если мы согласимся принять "множество" таких дробей как законный объект (обозначим его X), то методом канторовской диагонализации можно показать, что X несчетно (так как соответствующая "диагональная" дробь получает тоже осмысленное описание). С другой стороны, X является частью заведомо счетного множества всевозможных цепочек символов русского языка. Можно надеяться, что ничего абсурдного здесь нет - аналогичные ситуации в математике имеют место. Например, формализация понятий "мало"-"много" не в связи со счетным и несчетным множествами, а в связи с понятиями множества и класса приводит к теории полумножеств, допускающей случаи, когда часть множества является классом, но не множеством. Пример двух подходов к одному понятию (много), двух формализаций его (несчетное множество и класс) дает основания надеяться, что возможны и другие формализации этого понятия, среди которых найдется и такая формализация, учитывающая динамический характер множеств (вернее, систем), которая будет нас удовлетворять. Идея автопродуктивности в этом смысле кажется нам интересной. Формализация таких соображений представляется нам в терминах алгоритмических моделей описанных здесь систем. Конкретная формализация применительно к задаче построения сложных систем содержится в [9].

Литература

1. ЛОТМАН Ю.М. Место киноискусства в механизме культуры.-Труды по знаковым системам, Тарту, 1977, вып. 13, с.138-150.

2. НЕЙМАН Дж. Теория самовоспроизводящихся автоматов. - М.: Мир, 1971. -382 с.

3. ЯКОБС К. Машины Тьюринга и случайные 0-1 последовательности.-В кн.: Машины Тьюринга и рекурсивные функции. М., 1972, с. 183-215.

4. КЛИНИ С.К. Введение в метаматематику. -М.: Изд-во иностр. лит., 1957. -526 с.

5. ЗАДЕ Лотфи А. Основы нового подхода к анализу сложных систем и процессов принятия решений. -В кн.: Математика сегодня. М. 1974, с.4-49.

6. БЕЛЯКИН Н.В. Что такое рекурсия? -В кн.: Методологические проблемы математики. Новосибирск, 1979, с.54-65.

7. РОДЖЕРС Х. Теория рекурсивных функций и эффективная вычислимость. -М.: Мир, 1972. -624 с.

8. ЗАГОРУЙКО Н.Г., САМОХВАЛОВ К.Ф., СВИРИДЕНКО Д.И. Логика эмпирических исследований.-Новосибирск: НГУ, 1978.-66 с.

9. ЖЕВЛАКОВА Е.А. Об одном подходе к теории проектирования сложных систем. -Настоящий сборник, с. 123-133.

Поступила в ред.-изд.отд.
17 октября 1980 года