

## ПРИМЕНЕНИЕ АЛГЕБРАИЧЕСКОГО ПОДХОДА К ИМИТАЦИОННОМУ МОДЕЛИРОВАНИЮ СЛОЖНЫХ СОЦИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ\*

Ю. В. Чехович (Москва)

В докладе рассматривается класс сложных социально-технических систем, характерной особенностью которых является наличие некоторого числа субъектов, действующих относительно обособленно и имеющих возможность воздействовать на систему и другие субъекты путем выбора определенных субъективных решений из ограниченного множества. Введем ограничения на описываемые системы. Предполагается, что каждый субъект, число которых может быть достаточно велико (от нескольких десятков до десятков миллионов), может получать и анализировать информацию о некоторой своей окрестности, а также принимать решения из некоторого относительно бедного класса возможных решений. Будем предполагать, что субъекты, принимающие одинаковые решения в сходных ситуациях, принадлежат одному классу субъектов, а субъекты, принимающие различные решения, – разным классам. Разумно также предположить, что количество классов субъектов много меньше общего количества субъектов. Предполагается также заданным некоторое множество прецедентов, состоящих из описания субъекта, окрестности субъекта (ситуации) и типа принятого решения в этой ситуации.

В рамках описанных предположений появляется возможность свести задачу имитационного моделирования поведения каждого субъекта к задаче обучения с теоретико-множественными ограничениями [6].

**Основные конструкции алгебраического подхода к проблеме синтеза корректных алгоритмов классификации.** В самой общей постановке задача синтеза обучаемого по прецедентам алгоритма классификации выглядит следующим образом. Будем рассматривать некоторое множество  $\wp = \{S\}$ , элементы которого называются объектами. Описания объектов  $D(S)$  образуют пространство начальных информаций  $\mathfrak{S}_i = \{D(S) | S \in \wp\}$ , элементы которого обозначаются  $I_i$ , так что  $\mathfrak{S}_i = \{I_i\}$ . Требуется построить  $A$  алгоритмов, реализующих отображения из пространства начальных информаций  $\mathfrak{S}_i$  в пространство финальных информаций  $\mathfrak{S}_f = \{I_f\}$ , удовлетворяющее некоторым заданным ограничениям. Также предполагается заданным множество из некоторого количества  $q$  прецедентов, т. е. пар элементов  $(I_i^i, I_f^i)$  из  $\mathfrak{S}_i \times \mathfrak{S}_f$ ,  $i = 1, \dots, q$  [4]. Вполне разумно при этом требовать, чтобы множество прецедентов было допустимым, то есть при совпадении у какой-либо пары прецедентов начальной информации обязательно бы совпадали для них и точки в пространстве финальных информаций.

Конструкции алгебраического подхода основаны на использовании «промежуточно-го» по отношению к  $\mathfrak{S}_i$  и  $\mathfrak{S}_f$  пространства оценок  $\mathfrak{S}_e = \{I_e\}$ . При этом корректные алгоритмы синтезируются на базе эвристических информационных моделей, т. е. параметрических семейств отображений из  $\mathfrak{S}_i$  в  $\mathfrak{S}_f$ , представляющих собой специальные суперпозиции алгоритмических операторов (отображений из  $\mathfrak{S}_i$  в  $\mathfrak{S}_e$ ) и решающих правил – отображений из  $\mathfrak{S}_e^p$  в  $\mathfrak{S}_f$ ,  $p$  есть арность решающего правила (рисунок).

---

\* Работа выполнена при частичной финансовой поддержке РФФИ (проект № 07-01-00711) и гранта Президента РФ поддержки молодых ученых – кандидатов наук МК-5266.2007.9.

$$\begin{array}{ccc}
 \mathfrak{I}_i & \xrightarrow{\mathfrak{M}} & \mathfrak{I}_f \\
 \downarrow \mathfrak{M}^0 & & \uparrow \mathfrak{M}^1 \\
 \mathfrak{I}_e^p & \xrightarrow{\mathfrak{F}} & \mathfrak{I}_e
 \end{array}$$

**Построение алгоритма как суперпозиции алгоритмических операторов, корректирующей операции и решающего правила**

Модели алгоритмов  $M$  определяются моделями алгоритмических операторов  $M^0$ , где  $M^0 \subseteq M_* \stackrel{df}{=} \{B | B: \mathfrak{I}_i \rightarrow \mathfrak{I}_e\}$ , и решающих правил  $M^1$ , где  $M^1 \subseteq \bigcup_{p=0}^{\infty} \{C | C: \mathfrak{I}_e^p \rightarrow \mathfrak{I}_f\}$ , следующим образом:

$$M = M^1 \circ M^0 = \left\{ C \circ (B_1 \times \dots \times B_p)_{\Delta} \mid C \in M^1, B_1, \dots, B_p \in M^0 \right\}.$$

Для синтеза корректных алгоритмов используются также множества  $F$  корректирующих операций, определенных над множеством отображений  $M_*$ . Корректирующие операции  $F$  индуцируются операциями  $\tilde{F}$  над пространством оценок  $\mathfrak{I}_e$ :

$$F(B_1, \dots, B_p)(I_i) \stackrel{df}{=} \tilde{F}(B_1(I_i), \dots, B_p(I_i)),$$

где  $I_i$  пробегает пространство начальных информации  $\mathfrak{I}_i$ , алгоритмические операторы  $B_1, \dots, B_p$  – произвольные отображения из  $\mathfrak{I}_i$  в  $\mathfrak{I}_e$ ,  $\tilde{F}$  – операция над  $\mathfrak{I}_e$ .

**Задачи классификации с теоретико-множественными ограничениями.** Для некоторых типов задач классификации характерно наличие определенных априорных ограничений на элементы пространства финальных информации  $\mathfrak{I}_f$  для каждого конкретного объекта из  $\mathfrak{I}_i$ .

В соответствии с [5] для формализации понятия теоретико-множественных ограничений введем набор  $\Pi = \{\pi_1, \dots, \pi_k\}$  предикатов  $\pi_j: \mathfrak{I}_i \times \mathfrak{I}_f \rightarrow \{0,1\}$ , при этом для любого  $I_i$  из  $\mathfrak{I}_i$  предполагается заданным  $\Pi(I_i) \subseteq \mathfrak{I}_f$  следующим образом  $\Pi(I_i) = \left\{ I_f \mid I_f \in \mathfrak{I}_f, \forall_{1..k} j: \pi_j(I_i, I_f) = 1 \right\}$ . Т. е.  $\Pi(I_i)$  – множество всех допустимых значений корректных алгоритмов для начальной информации  $I_i$ .

**Подход к имитационному моделированию сложных систем.** Покажем возможность сведения задач, возникающих при построении и инициализации имитационных моделей некоторого класса сложных систем к задачам с теоретико-множественными ограничениями.

Главной характерной чертой рассматриваемого класса сложных социально-технических систем является наличие значительного числа субъектов, действующих относительно обособленно и имеющих возможность воздействовать на систему и другие субъекты путем принятия определенных субъективных решений. К системам такого класса можно отнести различные торговые системы, где субъектами, принимающими

ми решения, являются участники торгов; транспортные автомобильные системы (субъекты – водители транспортных средств) [2], системы ведения боевых действий (субъекты – командиры различных уровней и рядовые солдаты), электоральные системы (субъекты – избиратели) и т. п. Также следует упомянуть и агент – ориентированные компьютерные модели, в частности, искусственные общества [3], обладающие описанными характеристиками.

Предполагается, что каждый субъект имеет возможность получать и анализировать данные о некоторой своей «окрестности» в рамках системы (пространственной, временной, информационной), а также принимать (выбирать) решения из относительно бедного множества возможных решений. Для участников торгов – это, например, возможность купить, продать или воздержаться от каких-либо действий по отношению к определенному инструменту. Для водителя – начать движение, догнать, затормозить, перестроиться в другой ряд, повернуть, обогнать, не предпринимать никаких действий.

Предполагается, что субъект принимает решения, основываясь на анализе локальной ситуации. При этом различные субъекты в одной и той же ситуации (или близких ситуациях) могут принимать различные решения. Будем считать, что субъекты, принимающие одинаковые решения в сходных ситуациях, принадлежат к одному классу субъектов. Разумным также представляется предположение, что количество классов субъектов намного меньше общего количества субъектов.

Построение имитационной модели для таких систем сводится по сути к синтезу одной или нескольких моделей принятия решений субъектами модели и, возможно, некоторой модели среды, которая могла бы реагировать на действия каждого субъекта.

В такой постановке объектом классификации становится описание локальной ситуации субъекта, включающее, как правило, и описание самого субъекта. Пространство финальных информаций состоит из ограниченного числа возможных типов принимаемых решений. Прецедентами при такой постановке оказываются пары вида <описание локальной ситуации, тип принятого решения>.

Обратим внимание на то, что для каждого элемента пространства начальных информаций  $I_i \in \mathfrak{Z}_i$  часто имеет смысл рассматривать только соответствующее подмножество  $\Pi(I_i)$  пространства финальных информаций, оставляя за пределами данного подмножества решения, которые принципиально не могут быть приняты данным субъектом в конкретной ситуации. Таким образом, с помощью теоретико-множественных ограничений можно вводить в модель некоторые «разумные» ограничения на множества принимаемых решений. Например, в экономических моделях можно «запрещать» субъекту принятие заведомо убыточных решений, в моделях транспортных потоков можно вводить предположение о стремлении водителей к безаварийной езде и т. д.

**Различные подходы к моделированию с точки зрения теоретико-множественных ограничений.** Введение предложенной формализации для описания моделируемой системы позволяет в единых терминах соотнести существующие различные подходы в имитационном моделировании. Например, при стохастическом подходе после введения ограничений на множество допустимых решений  $\Pi(I_i)$ , на получившемся подмножестве задается вероятностная мера, и искомое решение выбирается случайным образом. Для детерминированных моделей подмножество  $\Pi(I_i)$  допустимых решений для каждого описания локальной ситуации одноэлементно, что позволяет полностью спрогнозировать развитие системы при заданных начальных условиях. Алгебраический подход к имитационному моделированию допускает существование нескольких возможных решений для каждого описания локальной ситуации и подразумевает синтез алгоритма путем обучения на базе прецедентов.

Следует также отметить, что для моделирования динамических систем, развивающихся во времени, введение  $\mathfrak{S}_i$  как множества всех описаний локальных ситуаций позволяет интерпретировать динамику субъекта как траекторию изменения локальных ситуаций в рамках пространства  $\mathfrak{S}_i$ .

### Литература

1. **Журавлев Ю. И.** Об алгебраическом подходе к решению задач распознавания и классификации//Проблемы кибернетики. Вып. 33 М.: Наука, 1978. С. 5–68.
2. **Иванов Г. Е., Рудаков К. В., Чехович Ю. В.** Об одном подходе к имитационному моделированию транспортных потоков//Интеллектуализация обработки информации: Тезисы докладов Международной научной конференции. Симферополь, 2006. С. 96–97.
3. **Макаров В. Л.** Искусственные общества//Интернет – журнал. Искусственные общества. Том 1, № 1. С. 10–24.
4. **Рудаков К. В.** Об алгебраической теории универсальных и локальных ограничений для задач классификации//Распознавание, классификация, прогноз. М.: Наука, 1989. С. 176–201.
5. **Рудаков К. В., Чехович Ю. В.** Критерии полноты для задач классификации с теоретико-множественными ограничениями//Журнал вычислительной математики и математической физики. 2005. Т. 45, № 2. С. 344–353.
6. **Чехович Ю. В.** Теоретико-множественные ограничения в имитационном моделировании сложных социально-технических систем//Математические методы распознавания образов. 13-я Всероссийская конференция: Сб. докладов. М.: МАКС Пресс, 2007. С. 71–73.