ЛИНГВО-КОМБИНАТОРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ
ПЛОХО ФОРМАЛИЗОВАННЫХ СИСТЕМ

М.Б.Игнатьев
Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

Рассматривается лингво-комбинаторное моделирование плохо формализованных систем, для которых существует лишь описание на естественном языке, и которое базируется на использовании ключевых слов, основных понятий, сложившихся в предметной области. Модель состоит из трех групп переменных – характеристик основных понятий, изменения этих характеристик и структурированной неопределенности в эквивалентных уравнениях , которая может быть использована для адаптации и управления. В качестве примеров рассматриваются модели города, организма и атмосферы.

1. Лишь для небольшого числа реальных систем имеются математические модели. Прежде всего системы описываются с помощью естественного языка. Предлагается способ перехода от описания на естественном языке к математическим уравнениям. Например, пусть имеется фраза

$$\mathbf{WORD1 + WORD2 + WORD3} \qquad (1)$$

В этой фразе мы обозначаем слова и только подразумеваем смысл слов. Смысл в сложившейся структуре естественного языка не обозначается. Предлагается ввести понятие смысла в следующей форме

$$\mathbf{(WORD1)*(SENSE1) + (WORD2)*(SENSE2)+(WORD3)*(SENSE3) = 0} \qquad (2)$$

Будем обозначать слова как Ai от английского Appearance, а смыслы – как Ei от английского Essence. Тогда уравнение (2) может быть представлено как

$$\mathbf{A1*E1 + A2*E2 + A\ 3*E3 = 0} \qquad (3)$$

Уравнения (2) и (3) являются моделями фразы (1). Если мы имеем математическое уравнение F(x1, x2, x3) = 0, то можем получить форму (3) посредством дифференцирования этого уравнения, тогда Ai будут частными производными, а Ei – производными по времени от переменных.
Эта модель является алгебраическим кольцом и мы можем разрешить уравнение (3) либо относительно Ai либо относительно Ei путем введения третьей группы переменных – произвольных коэффициентов Us [1, 2, 3]

$$\begin{aligned} \mathbf{A1} &= \mathbf{U1*E2 + U2*E3} \\ \mathbf{A2} &= \mathbf{- U1*E1 + U3*E3} \qquad (4) \\ \mathbf{A3} &= \mathbf{- U2*E1 – U3*E2} \end{aligned}$$

или

$$E1 = U1*A2 + U2*A3$$
$$E2 = - U1*A1 + U3*A3 \qquad (5)$$
$$E3 = - U2*A1 - U3*A2$$

где U1, U2, U3 - произвольные коэффициенты, которые можно использовать для решения различных задач на многоообразии (3). Например, если хотим достигнуть максимум по переменной x3, то можем назначить произвольные коэффициенты U2 = -b*A1, U3 = - b*A2 и тогда получим

$$dx1/dt = U1*A2 - b*A1*A3$$
$$dx2/dt = - U1*A1 - b*A2*A3 \qquad (6)$$
$$dx3/dt = b*(A1*A1 + A2*A2)$$

и если b > 0, тогда переменная x3 устойчиво стремится к максимуму, а для манипуляции траекторией остается коэффициент U1.
В общем случае, если имеем n переменных и m многообразий, ограничений, то число произвольных коэффициентов S будет равно числу сочетаний из n по m+1 [1], см. таблицу 1,

$$S = C_n^{m+1} \qquad n > m \qquad (7)$$

Число произвольных коэффициентов является мерой неопределенности и адаптивности. Лингво-комбинаторное моделирование заключается в том, что в конкретной предметной области выделяются ключевые слова, которые объединяются во фразы типа (1), на основе которых строятся эквивалентные системы уравнений с произвольными коэффициентами. В частном случае они могут быть дифференциальными уравнениями и при их исследовании может быть использован хорошо разработанный математический аппарат. Лингво-комбинаторное моделирование включает все комбинации и все варианты решений и является полезным эвристическим приемом при изучении плохо формализованных систем [3, 4, 5]. Ниже в качестве примеров рассматриваются модели атомов, города, организма и атмосферы.

2. Перейдем к построению лингво-комбинаторных моделей атомов, при этом будем исходить из ключевых базовых понятий, которые уже сложились в науке. Рассмотрим в качестве примера атом водорода и в качестве ключевых слов возьмем слова «атом», «протон», «электрон», тогда фраза (1) будет иметь вид

Atom + Proton + Electron **(8)**

И в эквивалентных уравнениях (3), (4) и (5) A1 – характеристика атома водорода, E1 – изменение этой характеристики, A2 – характеристика протона, E2 – изменение этой характеристики, A3 – характеристика электрона, E3 – изменение этой характеристики. Для моделирования дейтерия используем ключевые слова «атом», «протон», «электрон», «нейтрон»

Atom + proton + electron + neutron **(9)**

и эквивалентные уравнения будут

$$
\begin{aligned}
E1 &= U1*A2 + U2*A3 + U3*A4 \\
E2 &= - U1*A1 + U4*A3 + U5*A4 \\
E3 &= - U2*A1 - U4*A2 + U6*A4 \qquad (10) \\
E4 &= - U3*A1 - U5*A2 - U6*A3
\end{aligned}
$$

где U1, U2, U3, U4, U5, U6 – произвольные коэффициенты, A1 – характеристика атома дейтерия, E1 – изменение этой характеристики, A2 – характеристика протона атома дейтерия, E2 – изменение этой хар актеристики, A3- характеристика электрона атома дейтерия, E3- изменение этой характеристики, A4 – характеристика нейтрона атома дейтерия, E4 – изменение этой характеристики. В случае атомных реакций возможно превращение дейтерия в водород посредством трансформации уравнений (10) в уравнения (4). Аналогичным образом возможно построение лингво-комбинаторных моделей всех известных элементов таблицы Менделеева и их изотопов и возможных новых элементов. Это еще один путь для компьютерного моделирования физико-химических реакций. При этом необходимо решать задачу верификации таких моделей применительно к конкретным системам.

3. Структурная стабильность, совокупность устойчивых связей объекта, обеспечивающих его целостность и тождественность самому себе, т.е. сохранение основных свойств при различных внешних и внутренних воздействиях, обеспечивается адаптационными возможностями атомных и молекулярных систем [6]. В представленных лингво-комбинаторных моделях адаптационные возможности систем определяются числом произвольных коэффициентов в структуре эквивалентных уравнений и наибольшая структурная стабильность достигается в зоне адаптационного максимума, который обнаруживается у различных систем с числом переменных больше шести [1, 2], см таблицу. Для удержания систем в зоне адаптационного максимума можно использовать различные методы – рост числа переменных, наложение и снятие ограничений, объединение систем в коллективы. Действительно, если имеем две системы

$$S1 = C_{n1}^{m1+1} \qquad\qquad S2 = C_{n2}^{m2+1} \qquad (11)$$

то путем наложения общих ограничений mcol получим коллектив

$$Scol = C_{n1+n2}^{m1+m2+mcol+1} \qquad (12)$$

При этом в зависимости от конкретных параметров может быть Scol > S1 + S2, когда объединение в коллектив приводит к росту адаптационных возможностей, а может быть Scol < S1 + S2, когда адаптационные возможности меньше суммы адаптационных возможностей исходных систем. Лингво-комбинаторное моделирование может явиться полезным инструментом при анализе и синтезе атомно-молекулярных систем.

4. В качестве другого примера рассмотрим проблему моделирования города.

Если в качестве ключевых слов взять «население», «пассионарность», «территория», «производство», «экология и безопасность», «финансы», «внешние связи», то в соответствии с вышеизложенной методикой уравнение города будет

$$A1*E1 + A2*E2 + \ldots + A7*E7 = 0 \qquad (13)$$

а эквивалентные уравнения будут иметь вид

$$\begin{aligned}
E1 &= U1*A2 + U2*A3 + U3*A4 + U4*A5 + U5*A6 + U6*A7 \\
E2 &= - U1*A1 + U7*A3 + U8*A4 + U9*A5 + U10*A6 + U11*A7 \\
E3 &= - U2*A1 - U7*A2 + U12*A4 + U13*A5 + U14*A6 + U15*A7 \\
E4 &= - U3*A1 - U8*A2 - U12*A3 + U16*A5 + U17*A6 + U18*A7 \qquad (14) \\
E5 &= - U4*A1 - U9*A2 - U13*A3 - U16*A4 + U19*A6 + U20*A7 \\
E6 &= - U5*A1 - U10*A2 - U14*A3 - U17*A4 - U19*A5 + U21*A7 \\
E7 &= - U6*A1 - U11*A2 - U15*A3 - U18*A4 - U20*A5 - U21*A6
\end{aligned}$$

где А1 – характеристика населения, которая включает в себя характеристики здоровья, образования, занятости; Е1 – изменение этой характеристики; А2 – характеристика пассионарности, устремлений групп населения, люди обладают свободой выбора при принятии решений и этот выбор является важным, что оценивается путем социологического анализа; Е2 – изменение этой характеристики; А3 – характеристика территории, включая наземные и подземные постройки, этот блок может быть геоинформационной системой; Е3 – изменение этой характеристики; А4 – характеристика производства, включая оценку различных видов деятельности – научной, производственной, транспортной, торговой и др.; Е4 – изменение этой характеристики; А5 – характеристика экологии и безопасности; Е5 – изменение этой характеристики; А6 – характеристика финансов, финансовых потоков и запасов в городе; Е6 – изменение этой характеристики; А7 – характеристика внешних связей города, включая оценку входящих и выходящих потоков людей, энергии, материалов, информации, финансов; Е7 – изменение этой характеристики; U1, U2,…,U21 – произвольные коэффициенты, которые могут быть использованы для управления и решения различных задач на многообразии (13). Эта модель используется в системах для поддержки принятия решений городскими властями Л.4.

5. В качестве следующего примера рассмотрим модель ментальных процессов. Обычно ментальные процессы характеризуются ключевыми словами «восприятие», «внимание», «память», «мышление», «язык», «эмоции», «управление движениями» и тогда структура эквивалентных уравнений будет иметь вид (14), где А1 – характеристика восприятия, Е1 – изменение этой характеристики, А2 – характеристика внимания, Е2 – изменение этой характеристики, А3 – характеристика памяти, Е3 – изменение этой характеристики, А4 – характеристика мышления, Е4 – изменение этой характеристики, А5 – характеристика языка, Е5 – изменение этой характеристики, А6 – характеристика эмоций, Е6 – изменение этой характеристики, А7 – характеристика управления движениями, Е7 – изменение этой характеристики. Уравнения (14) определяют взаимодействие между различными составляющими ментальных процессов в рамках нашей модели. Из этой модели вытекает необходимость в блоке управления для манипуляции

произвольными коэффициентами. Этот блок управления можно считать аналогом высшей психической структуры – личности. Ментальные процессы являются частью целостного организма.

6. В качестве следующего примера рассмотрим моделирование организма. Организм человека – очень сложная система, которую можно рассматривать на уровне молекул, клеток, органов. Для лечащего врача важно рассмотрение организма прежде всего на уровне органов и при построении лингво-комбинаторной модели мы будем исходить из общепринятого набора органов - «органы движения», «органы пищеварения», «органы дыхания», «мочеполовые органы», «кроветворная и лимфатическая системы», «центральная нервная система», «периферийная нервная система», «железы внутренней секреции», «кожа и сенсорные системы», уравнение организма будет содержать девять переменных

$$A1*E1 + A2*E2 + \ldots + A9*E9 = 0 \quad (15)$$

а структура эквивалентных уравнений будет иметь вид

$$E1 = U1*A2 + U2*A3 + U3*A4 + U4*A5 + U5*A6 + U6*A7 + U7*A8 + U8*A9$$
$$E2 = -U1*A1+U9*A3+U10*A4+U11*A5+ +U12*A6+U13*A7+U14*A8+U15*A9$$
$$E3 = - U2*A1-U9*A2+U16*A4+U17*A5+ +U18*A6 +U19*A7+U20*A8+U21*A9$$
$$E4 = - U3*A1-U10*A2-U16*A3+U22*A5+U23*A6+U24*A7+U25*A8+U26*A9$$
$$E5 = - U4*A1-U11*A2-U17*A3-U22*A4 +U27*A6+U28*A7+U29*A8+U30*A9$$
$$E6 = - U5*A1-U12*A2-U18*A3-U23*A4-U27*A5+U31*A7+U32*A8+U33*A9$$
$$E7 = - U6*A1-U13*A2-U19*A3-U24*A4-U28*A5-U31*A6+U34*A8+U35*A9$$
$$E8 = - U7*A1-U14*A2-U20*A3-U25*A4-U29*A5-U32*A6-U34*A7+U36*A9$$
$$E9 = - U8*A1-U15*A2-U21*A3-U26*A4-U30*A5-U33*A6-U35*A7-U36*A8$$

где U1, U2, . . . ,U36 – произвольные коэффициенты, которые могут быть использованы для настройки модели; A1 – характеристика органов движения, E1 – изменение этой характеристики, и т.д. Эта модель используется в страховой медицине Л.3.

7. Если обратиться к моделированию атмосферы, то в качестве ключевых слов можно взять метеорологические элементы – «температура», «давление воздуха», «влажность воздуха», «скорость ветра», «направление ветра», «облачность», «осадки», «видимость (прозрачность атмосферы)», «температура почвы», «температура поверхности воды» – 10 переменных, в структуре эквивалентных уравнений этой системы будет содержаться 45 произвольных коэффициентов

$$E1=U1*A2+U2*A3+U3*A4+U4*A5+U5*A6+U6*A7+U7*A8+U8*A9+U9*A10$$
$$E2=-U1*A1+U10*A3+U11*A4+U12*A5+U13*A6+U14*A7+U15*A8+U16*A9+U17*A10$$
$$E3=-U2*A1-U10*A2+U18*A4+U19*A5+U20*A6+U21*A7+U22*A8+U23*A9+U24*A10$$
$$E4=-U3*A1-U11*A2-U18*A3+U25*A5+U26*A6+U27*A7*+U28*A8+U29*A9+U30*A10$$
$$E5=-U4*A1-U12*A2-U19*A3-U25*A4+U31*A6+U32*A7+U33*A8+U34*A9+U35*A10$$
$$E6=-U5*A1-U13*A2-U20*A3-U26*A4-U31*A5+U36*A7+U37*A8+U38*A9+U39*A10$$
$$E7=-U6*A1-U14*A2-U21*A3-U27*A4-U32*A5-U36*A6+U40*A8+U41*A9+U42*A10$$
$$E8=-U7*A1-U15*A2-U22*A3-U28*A4-U33*A5-U37*A6-U40*A7+U43*A9+U44*A10$$
$$E9=-U8*A1-U16*A2-U23*A3-U29*A4-U34*A5-U38*A6-U41*A7-U43*A8+U45*A10$$
$$E10=-U9*A1-U17*A2-U24*A3-U30*A4-U35*A5-U39*A6-U42*A7-U44*A8-U45*A9$$

В этой системе уравнений A1-характеристика температуры воздуха, E1-изменение этой характеристики, A2-характеристика давления, E2-изменение этой характеристики,…, U1,U2…U45 – произвольные коэффициенты, наличие которых определяет возможность управления характеристиками. Выявление возможности управления важна для подстройки модели и для управления погодой.

Лингво-комбинаторное моделирование – это универсальный метод моделирования плохо формализованных систем в самых различных областях науки, техники, в различных областях человеческой деятельности. В каждом конкретном применении этого метода необходимо осуществлять верификацию модели, проверять ее на соответствие поведению реального объекта. Наличие произвольных коэффициентов и возможность расширения модели, возможность включения новых переменных, новых ключевых слов, позволяют настраивать модель для моделирования сложных реальных объектов.

---

1. **Игнатьев М.Б. «Голономные автоматические системы» М - Л, изд. АН СССР, 1963.**
2. **Ignatiev M. B. "Simulation of Adaptational Maximim Phenomenon in Developing Systems" Proceedings of The SIMTEC'93 - 1993 International Simulation Technology Conference, San Francisco, USA, 1993, p.41-42.**
3. **Ignatyev M.B.,D.M.Makina, N.N.Petrischev, I.V.Poliakov, E.V.Ulrich, A.V.Gubin "Global model of organism for decision making support" Proceedings of the High Performance Computing Symposium – HPC 2000, Ed. A. Tentner, 2000 Advanced Simulation Technologies Conference, Washington D.C. USA, 2000, p.66-71.**
4. **Ignatyev M. B. "Linguo-combinatorial method for complex systems simulation" Proceedings of the 6th World Multiconference on Systemics, Cybernetics and Informatics, vol. XI, Computer science II, Orlando, USA, 2002, p.224-227.**
5. **Ignatyev M. B., Pinigin G. I. "Linguo-combinatorial simulation of universe" XXV General Assembly of International Astronomical Union, Sydney, Australia, 2003 www.astronomy2003.com**
6. **Бейдер Р. «Атомы в молекулах» М, изд. Мир, 2001.**

ТАБЛИЦА 1

M n\	1	2	3	4	5	6	7	8
2	1							
3	3	1						
4	6	4	1					
5	10	10	5	1				
6	15	20	15	6	1			
7	21	35	35	21	7	1		
8	28	56	70	56	28	8	1	
9	36	84	126	126	84	36	9	1

Игнатьев Михаил Борисович, доктор технических наук, профессор,
Санкт-Петербургский государственный университет
аэрокосмического приборостроения, 190000, С-Петербург,
ул.Большая Морская 67, раб тел. (812)313-70-44,
дом.тел. (812)113-57-45, факс (812)315-77-78 E-mail: kira@robotek.ru

"Linguo-Combinatorial Simulation of the poorly formalized systems"
Mikhail B. Ignatyev, St-Petersburg State University of Aerospace
Instrumentation, 67 Bolshaja Morskaja uliza, St-Petersburg, 190000,
Russia. Phone (812)313-70-44, Fax (812)315-77-78.