Мягкое прогнозирование и планирование развития сложных систем на основе лингво-комбинаторного подхода

М. Б. Игнатьев
Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения
ignatmb@mail.ru

Т. С. Катермина
Нижневартовский государственный университет
nggu-lib@mail.ru

Аннотация. **На пути прогнозирования и планирования сложных систем имеются большие трудности, связанные с необходимостью принимать решения в условиях неполной информации и неопределенности. Прогнозирование связано с учетом прошлого опыта, а планирование – с непосредственным управлением системой. Рассматриваются возможности решения этих задач на основе лингво-комбинаторного подхода.**

Ключевые слова: сложные системы; адаптация; прогнозирование; планирование; лингво-комбинаторный подход; управление

I. Введение

Представление о сложных системах складывается на основе анализа таких структур как город, который является сложной самоорганизующейся системой, и для которой стоит задача организовать поддержку принимаемых решений для городских властей для ближнесрочной, среднесрочной и долгосрочной перспективы развития города. В качестве примера другой сложной системы можно привести организм человека, для эффективного лечения которого необходимо построить его модель, чтобы уменьшить количество врачебных ошибок. В качестве третьего примера рассматривается движение литосферных плит Земного шара, необходимость моделирования которого определяется задачами прогнозирования литосферной погоды и предсказания землетрясений. Можно рассматривать множество и других сложных систем, и их изучение и моделирование тоже может опираться на лингво-комбинаторный подход.

II. Лингво-комбинаторный подход

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

$$\text{Word1+Word2+Word3.} \qquad (1)$$

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:

$$\begin{aligned} WORD1)*(SENSE1) + (WORD2)*(SENSE2) + \\ + (WORD3)*(SENSE3) = 0. \end{aligned} \qquad (2)$$

Будем обозначать слова как A_i от английского Appearance, а смыслы – как E_i от английского Essence, звездочка * означает операцию умножения. Тогда уравнение (2) может быть представлено как

$$A_1E_1 + A_2E_2 + A_3E_3 = 0. \qquad (3)$$

Уравнения (2) и (3) являются моделями фразы (1). Образование этих уравнений, приравнивание их к нулю есть операция поляризации.

Лингво-комбинаторная модель является алгебраическим кольцом (операторным кольцом), где используются три операции — сложение, вычитание и умножение в соответствии с аксиомами алгебры, и мы можем разрешить уравнение (3) либо относительно Ai, либо относительно Ei путем введения третьей группы переменных – произвольных коэффициентов Us [3]:

$$\begin{aligned} A_1 &= U_1E_2 + U_2E_3 \\ A_2 &= -U_1E_1 + U_3E_3 \\ A_3 &= -U_2E_1 - U_3E_2 \end{aligned} \qquad (4)$$

или

$$\begin{aligned} E_1 &= U_1A_2 + U_2A_3 \\ E_2 &= -U_1A_1 + U_3A_3 \\ E_3 &= -U_2A_1 - U_3A_2 \end{aligned} \qquad (5)$$

где U_1, U_2, U_3 – произвольные коэффициенты, которые можно использовать для решения различных задач на многообразии (3). Если уравнения (4) или (5) подставить в уравнение (3), то оно тождественно обратится в нуль при любых U_S. Впервые неопределенность была конструктивно введена в квантовой механике.

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], [2]

$$S_n^{m+1} = C, n > m$$

Это основной закон кибернетики. 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.

III. Учет прошлого опыта при прогнозировании

В качестве рабочей модели будем рассматривать шестиблочную структуру с произвольными коэффициентами [1]. Учесть прошлый опыт в модели можно с помощью дополнительных ограничений, которые, например, соответствуют при моделировании города статистическим данным за 2017, 2016, 2015 и др. годы

$$\begin{matrix} A_1^1 A_2^1 \dots A_6^1 \\ A_1^2 A_2^2 \dots A_6^2 \\ \vdots \\ A_1^5 A_2^5 \dots A_6^5 \end{matrix} . \tag{6}$$

В этом случае структура эквивалентных уравнений будет содержать 6 произвольных коэффициентов U_1, U_2 ,..., U_6

$$\begin{gathered} dA_1/dt = E_1 = U_1 D_{2345}^1 + U_2 D_{2346}^1 + \ldots + U_5 D_{3456}^1 \\ \cdots \\ dA_1/dt = E_6 = U_2 D_{1324}^6 + U_3 D_{1235}^6 + \ldots + U_6 D_{2345}^6 \end{gathered} ,$$

где D_{2345}^1 – определитель, составленный из столбцов 2,3,4,5,6 матрицы (6).

Пример построения подобной системы приведен на рис. 1. Данная система имеет блоки дискретных входных сигналов, которые могут соответствовать показателям динамики процессов в модели города, организма, движения литосферных плит и других сложных динамических систем. На рис. 2 представлены графики зависимостей переменных динамической системы от времени.

IV. Управление и прогнозирование

Из анализа матрицы произвольных коэффициентов очевидно, что в данном случае мы можем свободно манипулировать лишь двумя любыми коэффициентами и тем самым управлять любыми двумя переменными, например, мы можем положить нулю коэффициенты U_2, U_3, U_4, U_5, а коэффициент $U_1 = D_{2345}$,и переменная A_1 будет возрастать. Если положить коэффициент $U_6 = -D_{2345}$, то переменная A_6 будет убывать и т.д., что важно для управления и соответственно для планирования. Эти случаи показаны на рис. 3 и 4 соответственно.

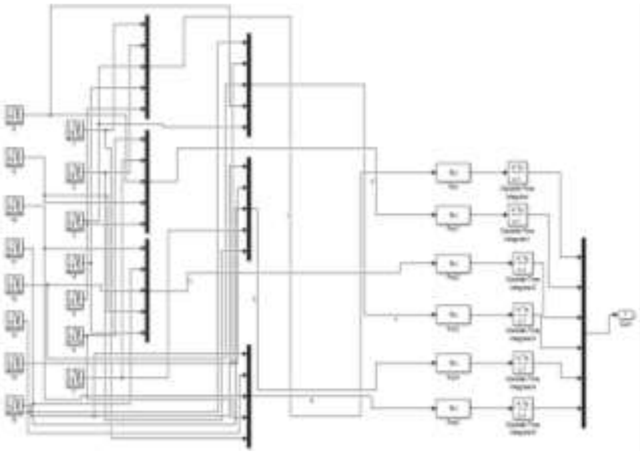

Рис. 1. Схема модели дискретной динамической системы

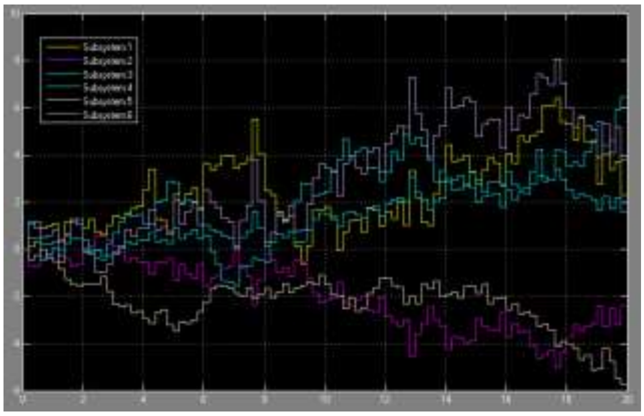

Рис. 2. Зависимости от времени переменых дискретной динамической системы

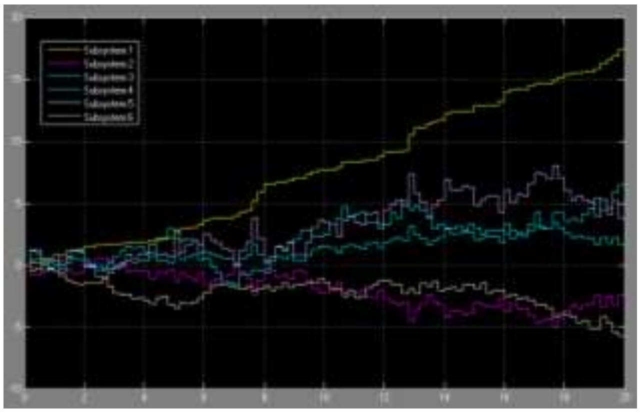

Рис. 3. Управление моделью. Возрастание переменной A_1

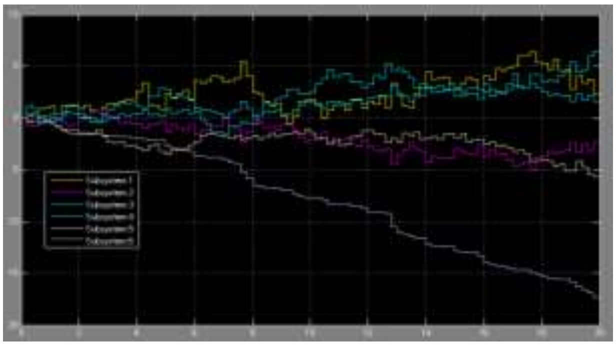

Рис. 4. Управление моделью. Убывание переменной A_6

V. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом был продемонстрирован способ учета прошлого опыта при прогнозировании. Применительно к моделированию это могут быть данные по подсистемам организма в различных режимах, а применительно к моделированию литосферных плит это могут координаты реперных точек плит в различные моменты времени. Для манипуляции с матрицами произвольных коэффициентов разрабатываются пакеты прикладных программ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

[1] Игнатьев М.Б. Кибернетическая картина мира. Сложные киберфизические системы. Санкт-Петербург: изд. ГУАП, 2014. 472 с.

[2] Игнатьев М.Б., Катермина Т.С. Контроль и коррекция вычислительных процессов в реальном времени на основе метода избыточных переменных. Нижневартоск: изд. Нижневартовского государственного университета, 2014. 188 с.

[3] Игнатьев М.Б., Катермина Т.С. Метод избыточных переменных для контроля и коррекции вычислительных процессов в реальном времени // Труды СПИИРАН. 2013. Вып. 3 (26). С. 234-252.