

МОДЕЛИРОВАНИЕ СЛОЖНЫХ СИСТЕМ С УСЛОВИЕМ ПЕРЕМЕННОЙ СТРУКТУРЫ МОДЕЛИ

Куракин П. В.

*Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН,
Россия, г. Москва, ул. Профсоюзная д.65
pvkurakin@yandex.ru*

Аннотация: Рассматривается необходимость варьирования структуры математической модели сложного взаимодействия факторов в экономике и возможности разработки соответствующего программного обеспечения.

Ключевые слова: математическое моделирование, автоматизация моделирования, варьирование структуры математической модели.

Введение

Часто потребителя математической модели (им может быть как сам исследователь, так и его заказчик) интересует не только и не столько одиночное решение, сколько семейство решений в некоторой области значения переменных. Так, если речь идет о наиболее популярном классе эволюционных моделей – дифференциальных уравнениях, то такое семейство решений представляет собой «пучок» или «трубку» траекторий. Такая трубка траекторий возникает, когда мы рассматриваем некоторое компактное множество начальных или граничных условий дифференциального уравнения. Можно сказать, что для получения трубки решений мы варьируем начальные условия, но сама модель остается при этом неизменной.

Тем не менее, для некоторого класса моделей такой подход может оказаться недостаточным, и потребителю модели необходимо варьировать саму модель. Такими моделями оказались Модели сложного взаимодействия факторов в экономике, в особенности, так называемые рефлексивные модели [1 - 3]. В моделях такого типа грань между модификацией начальных данных и модификацией самой модели становится заметно более размытой. В рефлексивных моделях многофакторного взаимодействия рассматривается система из некоторого количества *факторов* социально – экономической природы (как правило, применительно к некоторой территории), которые характеризуются некоторым взаимно – перекрестным влиянием друг на друга. Это влияние количественно описывается экспертными оценками влияния одних факторов на другие.

Анализ показал, что для полноты понимания роли тех или иных факторов недостаточно варьировать величину связей между ними – необходимо допустить переменную структуру самих

моделей. В данном случае это означает наряду с варьированием численных величин воздействия факторов друг на друга необходимо полностью «выключать» одни факторы и добавлять другие.

1 Общая постановка задачи

В работах [1-3] развит математический аппарат описания многофакторного взаимодействия с точки зрения подхода, основанного на экспертных оценках. Пусть состояние системы описывается действительным вектором показателей \mathbf{X} . Начальные приращения показателей Δx_i приводят к первичной реакции $\Delta y = \mathbf{A}\Delta x$ (1), где коэффициенты a_{ij} матрицы \mathbf{A} заданы экспертами, они означают оценку сверху прироста фактора i , вызываемого приращением фактора j .

Рефлексивный подход ставит задачу дальше: матрица \mathbf{A} рассматривается как выразитель лишь первичных возмущений факторов. В реальной жизни мы имеем дело с ситуацией, когда несколько факторов одновременно действуют на другой фактор, а также имеет место развитие процесса во времени и последовательное воздействие факторов друг на друга. В совокупности это означает, что эффективно имеет место некое «полное» воздействие факторов друг на друга, а также, при наличии замкнутых цепочек взаимодействия, воздействие факторов на самих себя. Полное (или «системное») воздействие факторов друг на друга описывается матрицей транзитивных замыканий \mathbf{B} , которая описывается условием $\Delta \mathbf{s} = \mathbf{B}\Delta \mathbf{x}$, где $\Delta \mathbf{s} = \mathbf{A}(\Delta \mathbf{s} + \Delta \mathbf{x})$ для любого $\Delta \mathbf{x}$, то есть $\Delta \mathbf{s}$ обладает устойчивостью по отношению к первичному приращению $\Delta \mathbf{x}$ - это «системная реакция».

Далее, линейная модель заменяется на нелинейную, которая использует правила дискретного типа, которые можно отнести к правилам многозначной логики. Взаимодействия факторов предлагается оценивать положительными и отрицательными числами, в балльной системе на некотором интервале $[a_{\min}, a_{\max}]$. Будем считать, что в этом же диапазоне находятся допустимые значения самих показателей (факторов). Результат независимого примитивного воздействия фактора i на фактор j описывается формулой специфического логического умножения:

$$y_{ij} = a_{ij} \otimes x_j = \min(|a_{ij}|, |x_j|) \text{ sign}(a_{ij} x_j)$$

Однако в реальности мы всегда имеем ситуацию, когда несколько факторов влияют на данный. В этом случае необходимо различать ситуации взаимно дополнительного и взаимно компенсирующего действия факторов.

При взаимно дополнительном воздействии группы факторов g на фактор i для результата требуется воздействие всех факторов группы. Тогда результат определяется как минимальный из возможных от одиночного воздействия:

$$y_{ig} = \min_j \{y_{ij}\} \text{ sign}(\prod_j y_{ij}), j \in g.$$

При взаимно компенсирующем воздействии факторов j и k на i , когда для результата достаточно любого из действующих факторов, представляется формулой логической суммы

$$y_{ij} \oplus y_{ik} = \max(|y_{ij}|, |y_{ik}|) \text{ sign}(y_{ij} + y_{ik} \pm \varepsilon),$$

где $0 < \varepsilon < 1$ – добавка, позволяющая оценить разброс результатов в результате вычислительной неоднозначности операции sign .

В случае нелинейной (дискретной) арифметики так же, как и в линейном случае, ставится задача нахождения полных (системных) связей между факторами, т.е. вычисления матрицы транзитивных замыканий \mathbf{B} . Алгоритмические процедуры для этого разработаны в [1 - 3].

Однако, с нахождением матрицы транзитивных замыканий работа с моделями описываемого типа не заканчивается. Далее требуется проведение процедур верификации модели, которые включают:

- анализ чувствительности оценки конкретной системной связи к задаваемым вариациям оценок примитивных связей;
- поиск системной связи, зависящих от конкретной примитивной связи для заданного числа рефлексий;
- поиск примитивных связей, влияющих на данную системную связь за заданное число рефлексий.

Технически, перечисленные методы верификации требуют вариации заданных оценок взаимного первичного влияния факторов. Однако, в каждом случае эти вариации желательно проводить не бессистемно. Исследователь, скорей всего, будет придерживаться некоторой стратегии, и при этом ему необходимо как-то фиксировать результаты своих вычислительных экспериментов, чтобы

впоследствии иметь возможность удобно работать со всей совокупностью получаемых результатов, в частности - получить некоторый инструмент навигации между экземплярами этих результатов.

Автор предпочитает ставить задачу шире. Представляется крайне полезным проведение экспериментов, связанных не только с вариацией исходных первичных оценок влияния, но и с изменением самой *структуры модели* – о чем было заявлено выше. Изменение структуры в нашем случае означает добавление или удаление той или иной (одной, реже – нескольких) примитивной связи. Дело в том, что смысл и роль вариации того или иного показателя становится максимально ясным и исчерпывающим как раз при «шевелении» модели, то есть – при добавлении и\или удалении связей. Иными словами, роль каждого фактора проявляется лишь в силу наличия других факторов, существуют не отдельные факторы, а «экосистемы» из факторов.

2 «Графический редактор»: возможности, наработки и перспективы

Автор считает, что на данный момент уже имеются наработки, представляющие собой программную платформу для практической реализации указанных задач. Речь идет о так называемом «специализированном графическом редакторе». Этот редактор изначально был частью более сложного программно-технического комплекса, разработанного с целью автоматизировать оценочные расчеты при планировании пилотируемых космических миссий. Архитектура, организация и функционирование комплекса описаны в [4 – 6].

Основная идея указанного комплекса – реализовать его в виде достаточно стандартной и давно известной архитектуры «клиент - сервер». Основное отличие, или просто особенность – состоит в том, что в качестве так называемого *back – end* (серверное приложение, выполняющее вычисления, обеспечивающие основные функции всего комплекса) выступает не СУБД (система управления базами данных), как в обычных коммерческих приложениях, а профессиональный пакет математических вычислений. В нашем случае это были MATLAB или Octave [7, 8].

Пользовательский интерфейс представляет собой специализированный *графический редактор*, реализованный в среде веб – браузера и написанный на языке программирования JavaScript.

На данный момент имеются все технические возможности реализовать в браузере программное обеспечение, функционально позволяющее работать с рефлексивными моделями многофакторного взаимодействия в экономике, в частности: вести и сохранять некоторый протокол вычислительных экспериментов при варьировании структуры модели. Разумеется, этот протокол сам по себе еще подлежит разработке и отладке в сериях таких вычислительных экспериментов.

Отличие новой системы от ранее разработанной должно состоять в том, что не потребуется многоуровневой архитектуры – математические вычисления в описываемом классе моделей представляется возможным проводить непосредственно в программной среде веб – браузера средствами языка программирования JavaScript а также специализированных математических расширений этого языка, имеющих в открытом доступе [9].

Литература

1. Гусев В.Б., Исаева Н.А. Рефлексивные процедуры анализа экспертных данных // Информационные технологии и вычислительные системы. 2016. № 2. С. 31-35.
2. Гусев В.Б., Павельев В.В. Использование непрерывных шкал при оценивании и принятии решений в сложных проблемных ситуациях: научное издание / В.Б. Гусев, В.В. Павельев. – М.: ИПУ РАН, 2013.–118с.
3. Гусев В.Б., Исаева Н.А. Анализ моделей управления на основе экспертных данных. Москва: ИПУ РАН, 2017. – 116 с.
4. Зухба Р.Д., Куракин П.В., Малинецкий Г. Г., Махов С. А., Мутин Н. А., Торопыгина С.А. Система моделирования «КОСКОН» как инструмент поддержки принятия решений в космической отрасли. Препринты ИПМ им. М. В. Келдыша. — 2015. — № 113. — 36 с. — URL: <http://library.keldysh.ru/preprint.asp?id=2015-113>.
5. Куракин П. В.. «Новая программная архитектура для специализированных систем математических расчетов». Информационные технологии и вычислительные системы, 2016 г, № 2 стр. 66 – 74.
6. Куракин П. В. «Специализированные системы математических расчетов нового поколения». Программные системы и вычислительные методы – 2016 г, №1(14), стр. 80 – 94. DOI: 10.7256/2305-6061.2016.1.17997.
7. Octave (статья в Wikipedia), URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/GNU_Octave.
8. Octave (официальная страница проекта) , URL: <https://www.gnu.org/software/octave/>.
9. John Mueller, Four Serious Math Libraries for JavaScript (<https://blog.smartbear.com/testing/four-serious-math-libraries-for-javascript/>).