

АНАЛИЗ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ЭЛЕМЕНТОВ СИСТЕМЫ С УЧЕТОМ ФАКТОРА ВРЕМЕНИ

В.Б. Гусев

Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН
Россия, 117997, Москва, Профсоюзная ул., 65
E-mail: gusvbr@ipu.ru

Н.А. Исаева

Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН
Россия, 117997, Москва, Профсоюзная ул., 65
E-mail: nat_i@ipu.ru

Ключевые слова: цели, полезность, оперирующая сторона, модельное время, оценки влияния факторов, транзитивное замыкание, примитивные связи.

Аннотация: Рассматриваются аспекты целесообразной деятельности, связанные с фактором времени. Предлагается формализация модельного времени как эталонного процесса, обладающего в общем случае случайными характеристиками. Построена модель и оптимизационная процедура расчета оценки важности целей для различных этапов многоэтапной целенаправленной деятельности. Рассматривается метод расчета оценок взаимных влияний факторов целеполагания, получаемых в процессе их транзитивного замыкания.

1. Введение

Осознанная деятельность, связанная с принятием решений, как правило, сопряжена с постановкой и достижением определенных целей (является целесообразной). Она опирается на оценку и прогноз полезности рассматриваемых факторов, учет предпочтений и интересов сторон, принимающих решения. Целесообразная деятельность может сопровождаться использованием множества целей, находящихся между собой в различных отношениях и объединенных общей совокупностью интересов оперирующей стороны.

Цели, используемые оперирующей стороной, могут находиться друг с другом в определенной причинно-следственной зависимости, образуя графовые, в частности, древовидные структуры [1, 2]. Цели могут различаться по степени их достижимости (в частности, быть недостижимыми), а также по принадлежности определенным интервалам времени. Так, насущная потребность, осознаваемая как цель и удовлетворенная в ближайшее время, может не представлять интереса в отдаленном будущем. Цель, относимая к удаленному времени, обычно носит более системный характер и может подчинять краткосрочные цели.

Формализация целей предполагает установление максимального соответствия с предпочтениями оперирующей стороны. Она может представлять собой многоэтапный итеративный процесс, поскольку результаты, полученные при реализации очередного варианта цели, могут быть отвергнуты по параметрам несоответствия с определенными

предпочтениями и оценками полезности оперирующей стороны, после чего формируется новый вариант цели. Решения, принимаемые в ходе реализации формализованных целей, могут быть получены методами исследования операций [3].

Мера соответствия предпочтений оперирующей стороны и формализованного варианта цели может быть представлена с помощью метрики в пространстве целей и отображения из пространства предпочтений в пространство целей или метрики в пространстве предпочтений и отображения из пространства целей в пространство предпочтений.

2. Фактор времени в целеполагании: модель потока времени

Фактор времени является важным обстоятельством целеполагания. Цели, ориентированные на краткосрочный период, как и результаты соответствующих действий, могут существенно отличаться от целей и результатов долгосрочной деятельности и даже находиться с ними в противоречии. С одной стороны, долгосрочные цели должны иметь больший приоритет, с другой стороны, игнорируя краткосрочные цели, можно помешать достижению долгосрочных.

Для того, чтобы согласовывать разнопериодные цели можно использовать модель времени как «эталонного» случайного процесса вида

$$\frac{d}{dt} \tau = \xi(t)$$

со случайной правой частью, обладающей средней m и дисперсией d , где τ – модельное время, t – абсолютное время. В случае, когда $m = 1$, $d = 0$, модельное время совпадает с абсолютным временем.

Для оценки параметров шкалы времени можно использовать представление рассматриваемого процесса $f(t)$ с помощью стохастического дифференциального уравнения со случайной правой частью $\chi(t)$

$$\frac{d}{dt} f(t) = \chi(t),$$

откуда

$$\frac{d}{d\tau} f(t(\tau)) = \frac{\chi(t(\tau))}{\xi(t(\tau))}.$$

Параметры функции $\xi(t)$ подбираются таким образом, чтобы уменьшить влияние случайной компоненты для процесса в модельном времени. Например, положив $\xi(t) = \chi(t)$, получим детерминированный процесс $f(t)$, а параметры процесса модельного времени на интервале $[0, T]$ будут

$$m = \frac{1}{T} \int_{t \in [0, T]} \chi(t) dt,$$

$$d = \frac{1}{T} \int_{\tau \in [0, T]} (\chi(\tau) - m)^2 d\tau.$$

Для любого реального процесса отклонение от эталонной траектории времени, вообще говоря, создает «эффект неопределенности» тем больший, чем больше длительность рассматриваемого периода. Поэтому задача согласования долговременных и краткосрочных целей для оперирующей стороны может быть связана с разрешением

компромисса между долгосрочными интересами и неопределенностью результатов их достижения.

2.1. Шкалы времени

Каждой локальной цели может быть поставлена в соответствие модель управляемого процесса и локальная модель потока времени. Модель потока времени определяет шкалу времени, характеристиками которой являются масштаб, определяемый средней m , интервалом $[0, T]$, дисперсией d .

Также как и цели, шкалы времени могут находиться в сложных отношениях: быть соединены в последовательность, быть подчинены одна другой (вложены одна в другую). Однако, поскольку шкалы времени определяются моделями потока времени, на их отношения должны быть наложены соответствующие ограничения ацикличности графа связей для шкал времени.

3. Факторы, связанные с целями

Наличие множества целей в составе целевого комплекса, формирование которого может идти как путем декомпозиции от общего к частному, так и в обратном порядке путем синтеза, предполагает их взаимодействие, проявляющееся в конфликтах, синергетике, пороговых эффектах.

Формирование целевого комплекса предполагает применение определенного набора операций над целями как на этапе их формирования, так и на этапе согласования при их объединении в единый комплекс.

Будем исходить из того, что цель – это предпочитаемое состояние объекта управления в обозримом будущем. Формирование целей происходит в контексте понятий, связанных с текущим и прогнозируемым состоянием факторов, характеризующих объект целенаправленной деятельности. Расчет прогноза состояния факторов, вообще говоря, представляет собой некорректную операцию, существенно опирающуюся на предполагаемый характер поведения объекта в будущем (сценарии, допущения). Это порождает неединственность и существенный разброс результатов прогнозирования. Альтернативой прогнозу состояний может быть прогноз оценок взаимодействия отдельных факторов, когда неизвестность может быть представлена отдельной группой факторов.

3.1. Оценки факторов

Рассматриваемым факторам могут быть приписаны численные значения показателей состояния X_i . Кроме того, для этих факторов может быть построена система непосредственных взаимных влияний. Последние в результате суммирования всех косвенных воздействий формируют систему полных влияний как транзитивное замыкание исходной системы непосредственных влияний.

Рассматриваемая система взаимных влияний факторов может быть представлена экспертной матрицей A . Коэффициенты t_{ij} этой матрицы означают первичный прирост оценки фактора i , вызванного единичным приращением оценки фактора j . Этот прирост определяется непосредственным действием. Знаки коэффициентов t_{ij} определяются характером влияния – положительным или отрицательным.

3.2. Рефлексия

Для расчета оценки системного эффекта можно воспользоваться линейной аппроксимацией результата приращений Δx_i показателей, характеризующих состояние рассматриваемого набора факторов \mathbf{X} . Первичная реакция Δy на приращение Δx вектора показателей может быть представлена с помощью экспертно заданной матрицы \mathbf{A} в виде

$$\Delta y = \mathbf{A} \Delta x .$$

Если первичное приращение Δx вектора показателей приводит к состоянию, характеризующему устойчивой системной реакцией Δs , величина Δs может быть рассчитана исходя из следующих соображений. Системная реакция Δs обладает устойчивостью по отношению к первичному приращению Δx , когда первичная реакция на приращение Δx не вызывает изменения этой системной реакции. То есть, в этом случае справедливо уравнение

$$\Delta s = \mathbf{A}(\Delta s + \Delta x) ,$$

определяющее системную реакцию Δs в ответ на приращение Δx вектора показателей. Отсюда

$$\Delta s = (\mathbf{E} - \mathbf{A})^{-1} \mathbf{A} \Delta x = \mathbf{B} \Delta x ,$$

где

$$\mathbf{B} = (\mathbf{E} - \mathbf{A})^{-1} - \mathbf{E} . \quad (1)$$

Этот же результат может быть получен путем последовательного суммирования преобразований \mathbf{A}^k , $k = 1, 2, \dots$

$$(2) \quad \mathbf{B} = \mathbf{A} + \mathbf{A}^2 + \mathbf{A}^3 + \dots$$

Формулы (1), (2) получены в предположении линейного ответа системы на первичные приращения показателей состояния факторов и представляют результат транзитивного замыкания для исходной системы взаимодействий факторов.

Если диагональные элементы полученной матрицы \mathbf{B} по абсолютной величине меньше 1, то рассматриваемая система взаимодействий устойчива, поскольку ее реакция на любые приращения вектора состояния при многократном воспроизведении взаимодействий демпфирует эти приращения. Отрицательное значение диагонального элемента говорит о колебательном характере изменения соответствующего показателя. Значение больше 1 говорит о неустойчивости по отношению к изменениям соответствующего показателя.

Если показатели результатов взаимодействия факторов измеряются экспертным путем (например, путем определения рейтинга или балльной оценки), то предположение о линейности операций над этими показателями не имеет оснований. В этом случае последовательность операций (2) остается такой же, как в линейной модели, но необходимо использовать правила операций дискретного типа, напоминающие логику операций с потоками информации.

3.3. Операции оценивания временных задержек

Взаимодействия факторов помимо степени влияния могут характеризоваться оценками временных задержек на их реализацию. Способ времяподобного пересчета суммарных затрат (их рефлексивного замыкания) является двойственным к способу пересчета оценок для рефлексивного замыкания степени взаимного влияния факторов.

Обозначим t_{ji} затраты времени на операцию над парой факторов i, j . Выполнение двух последовательных операций над парами факторов i, j и j, k требует по крайней мере суммы затрат времени для каждой из них $t_{ji} + t_{kj}$

$$t_{ji} \otimes t_{kj} = \min(t_{\max}, t_{ji} + t_{kj}).$$

где t_{\max} – предельное время выполнения операций, превышение которого означает невыполнимость данной пары операций.

При одновременном выполнении двух операций выбирается наименее затратная из них

$$t_{ki} \oplus t_{kj} = \min(t_{ki}, t_{kj}).$$

Для организации времяподобных расчетов используется процесс (2). При этом в качестве служебной матрицы используется матрица, заполненная значениями t_{\max} , а ее диагональные элементы равны 0.

3.4. Проблемы реализации вычислений

Для реализации вычислений и анализа получаемых результатов разработан вычислительный комплекс с широким набором дополнительных функций.

Неопределенность, присущая экспертному подходу, может иметь различное происхождение. Первое – это отсутствие точных данных, которое частично компенсируется знаниями эксперта, также неточно отображающими действительность. Этот вид неопределенности учитывается на этапе верификации в диалоге с экспертом. Второе – это инструментальная погрешность при обработке экспертных данных, возникающая как результат неадекватности гипотез, лежащих в основе операций над экспертными данными. Оценить инструментальную погрешность можно по разбросу результатов, полученных процедурами, использующими разные гипотезы.

При выполнении алгоритмов с рассмотренными наборами операций над оценками взаимодействия исходный набор оценок может распространиться на взаимодействия всех пар факторов. Кроме того, может произойти замена части исходных показателей на значения, большие по абсолютной величине. Анализируя результат алгоритма, можно определить противоречивость исходных оценок. Исходная оценка является противоречивой (избыточной), если в результате рефлексий она замещается другой оценкой.

В результате расчета транзитивного замыкания для исходной системы оценок взаимодействий с помощью дискретных преобразований можно получить дополнительную информацию об уровне рефлексии (числе итераций), на котором получена каждая оценка. Чем больше уровень рефлексии для полученной оценки, тем длиннее временной диапазон, соответствующий данной оценке и меньше степень ее достоверности.

Варьируя исходные оценки, можно определить степень их участия в формировании полной картины влияний факторов.

Процедуры верификации играют существенную роль при назначении оценок влияния. Они сопровождаются анализом влияния оценок примитивных связей на системные оценки. Цель такого анализа – получить качественное соответствие комплекса оценок системного взаимодействия факторов с ожидаемыми экспертом оценками влияния. Полного совпадения может не оказаться, что может свидетельствовать как о дефекте схемы, так и о недостаточной адекватности ожиданий эксперта, проявляющейся в объективной невозможности добиться требуемой конфигурации оценок системного взаимодействия.

Верификация модели (выбор или уточнение значений коэффициентов матрицы, проводимое с участием эксперта) проводится исходя из требования, чтобы эффект воздействия факторов на контролируемые факторы в целом соответствовал зависимостям, основанным на статистических данных, а также ожиданиям эксперта. Например, чтобы управляющие воздействия давали положительный результат – приводили к повышению показателей контролируемых факторов (соответствующие коэффициенты влияния имели нужное значение или знак).

Для верификации модели могут использоваться следующие процедуры.

- Анализ чувствительности оценки конкретной системной связи к задаваемым вариациям оценок примитивных связей
- Поиск связей, зависящих от конкретной примитивной связи для заданного числа рефлексий
- Поиск примитивных связей, влияющих на данную системную связь за заданное число рефлексий
- Трассировка активных связей, реализующих полученную в расчете оценку влияния одного заданного фактора на другой.

Верификацию можно рассматривать как решение обратной задачи, когда по оценкам наблюдаемых зависимостей восстанавливаются оценки примитивных зависимостей, которые затем могут использоваться для расчета изменения равновесных оценок состояния системы в ответ на управляющие воздействия.

3.5. Трассировка

В результате выполнения алгоритма транзитивного замыкания для исходной системы оценок взаимодействий с помощью дискретных преобразований можно получить дополнительную информацию об уровне рефлексии, на котором получена каждая оценка. Чем больше уровень рефлексии для полученной оценки, тем меньше степень ее достоверности.

Варьируя исходные оценки, можно определить степень их участия в формировании полной картины взаимных влияний факторов. На этом принципе основан метод трассировки, позволяющий отслеживать вершины графа связности, влияющие на выделенную вершину и степень их влияния. Такая трассировка может быть применена при синтезе графа связности путем корректировки оценок влияния с целью получения желаемых свойств системы взаимных влияний в долгосрочном плане.

Анализируя результат алгоритма, можно определить противоречивость исходных оценок. Исходная оценка является противоречивой (доминируемой), если в результате рефлексий она замещается другой оценкой.

4. Заключение

Целесообразная деятельность в той или иной степени опирается на результаты прогнозирования. Прогнозы результатов человеческой деятельности неизбежно содержат элемент неопределенности, который меняет качество полученного результата. Численные оценки точности прогноза, как правило, малодостоверны [4]. Для такой ситуации более уместны качественные характеристики прогноза. Именно этим объясняется выбор метода оценок взаимодействий факторов [5, 6]. Построенный на этом принципе метод рефлексий не дает численного прогноза состояния сложной системы, предсказывая возможный результат системного взаимодействия факторов в виде транзитивного замыкания их оценок в достаточно отдаленном будущем. Пошаговый расчет рефлексии оценок взаимодействий также позволяет отслеживать переходные процессы. Кроме того, метод рефлексий позволяет рассчитывать начальные оценки взаимодействий для получения требуемых свойств финитной системы оценок путем решения обратной задачи.

Включение модельного времени как случайного процесса в операции с целями позволяет вводить упорядочение целей в соответствии с оценками их важности с учетом фактора неопределенности. Степень неопределенности прогнозируемого состояния системы и связанных с ним целей учитывается в параметрах процесса модельного вре-

мени. Различие в параметрах неопределенности элементов системы или подсистем может быть учтено использованием различных локальных процессов модельного времени с соответствующими параметрами.

Список литературы

1. Глотов В.А., Павельев В.В. Векторная стратификация. М.: Наука, 1984.
2. Гусев В.Б., Павельев В.В. Использование непрерывных шкал при оценивании и принятии решений в сложных проблемных ситуациях / Научное издание. М.: Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, 2013. 118 с.
3. Хэмди А. Таха. Введение в исследование операций / 6-е издание: Пер. с англ. М.: Вильямс, 2001. 912 с.
4. Модели и методы анализа и синтеза сценариев развития социально-экономических систем: в 2-х кн. / Под ред. В.Л. Шульца, В.В. Кульбы. М.: Наука, 2012.
5. Саати Т.Л. Принятие решений при зависимостях и обратных связях: Аналитические сети / Пер. с англ. Науч. ред. А.В. Андрейчиков, О.Н. Андрейчикова. Изд. 2-е. М.: ЛИБРОКОМ, 2009. 360 с.
6. Гусев В.Б., Исаева Н.А. Method of the Reflexive Analysis of Expert Data // Proceedings of the 11th IEEE International Conference on Application of Information and Communication Technologies AICT '2017. М.: Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, 2017. Т. 1. С. 63-66.