

ИНФОРМАТИКА

© А.А. ЗАХАРОВ, И.Г. ЗАХАРОВА

azaharov@utmn.ru, izaharova@utmn.ru

УДК 004.94, 519.22

ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ МНОГОЭТАПНОГО ПРОЦЕССА ПРИНЯТИЯ КОМПРОМИСНОГО РЕШЕНИЯ

АННОТАЦИЯ. В статье рассмотрен подход к построению стохастической модели процесса формирования компромиссного решения, которое строится на основе заданного множества исходных предложений. Специфика процесса принятия решения определяется некоторыми начальными условиями, а также критериями перехода от одного этапа к другому, включая заключительный этап принятия решения. Алгоритм формирования решения включает на начальном этапе ранжирование характеристик исходных предложений по их значимости, построение специальной нормы для определения меры близости предложений, критерия совместимости предложений с учетом особенностей конкретной предметной области и самих предложений, а также матрицы вероятностей совместимости исходных предложений. Далее формируется множество промежуточных предложений, которые используют случайные сочетания всех исходных предложений и выбранный способ определения случайных значений характеристик промежуточных предложений. Для отбора значимых предложений используется функция полезности. Процесс повторяется до получения компромиссного решения. Компьютерная реализация модели протестирована на примере задачи формирования коалиционных правительств с учетом и без учета совместимости определенных партий в коалициях.

SUMMARY. This article describes an approach to the construction of a stochastic model of the compromise decision formation basing on a given set of initial proposals. The specifics of the decision process are determined by some initial conditions and the criteria of transition from one stage to another, including the final stage of decision making. The algorithm for generating decisions includes an initial ranking of initial proposals characteristics, a special rule for determining the measure of proximity proposals, a test of proposals' compatibility taking into account the specific characteristics of the subject area and the proposals themselves, and a probability matrix which describes the compatibility of initial proposals. Next, we construct a plurality of intermediate proposals that use random combinations of all original proposals and a selected method, which determines the values of random characteristics of interim proposals. A utility function is used for the selection of significant proposals. The process is repeated until a compromise decision is reached. Computer implementation of the model is tested on the example of coalition governments formation with and without consideration of coalition parties' compatibility.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА. Имитационное моделирование, вычислительный эксперимент, принятие решений, стохастические модели.

KEY WORDS. Simulation, computational experiment, decision making, stochastic models.

Разработка, исследование и компьютерная реализация моделей процесса принятия решений остается актуальной задачей на протяжении достаточно длительного времени. Классические подходы и методы дискретной математики (линейного и нелинейного программирования, системного анализа) весьма востребованы для задач поддержки принятия решений, но сфера их применения ограничивается, как правило, построением решений и дальнейшим анализом на основе лишь относительно простых детерминированных моделей.

В последнее время, благодаря возможностям высокопроизводительных вычислительных систем, можно приблизиться к созданию и компьютерной реализации стохастических моделей, учитывающих то, что при принятии реальных управленческих решений приходится действовать в условиях неопределенности, а сам процесс их выработки носит сложный многоэтапный характер. Более того, именно имитационное моделирование позволяет на основе вычислительных экспериментов выявить возможный ход процесса принятия решения [1, 2].

Специфика процесса принятия решения определяется некоторыми начальными условиями, а также критериями перехода от одного этапа к другому, включая и заключительный этап принятия решения. Соответствующая стохастическая модель может вполне адекватно описывать такие процессы, как обучение и оценивание его результатов, проведение экспертной оценки тех или иных объектов, формирование рабочих групп, спортивных команд или партийных коалиций, а также других социальных процессов, имеющих указанные выше особенности [3-8].

Особый интерес представляет использование стохастических моделей для выявления факторов, влияющих на ход и результаты моделируемого процесса при решении слабоформализуемых задач [2], в том числе и для задачи поэтапной выработки компромиссного решения в условиях неопределенности, которая рассматривается в данной работе в постановке, развивающей имитационные модели [9, 10] с использованием подходов [5, 11, 12], предложенных для имитационного моделирования процесса формирования коалиционного правительства.

Пусть дана совокупность исходных предложений для последующей выработки компромиссного решения. Эти предложения представлены однотипными объектами R_j ($j=1, 2, \dots, J$), определяемыми некоторым набором K характеристик, значения которых p_{jk} ($j=1, 2, \dots, J; k=1, 2, \dots, K$) могут измеряться в произвольной шкале.

Каждому из предложений R_j поставлен в соответствие коэффициент поддержки c_j ($c_j > 0$, $c_1 + c_2 + \dots + c_J = 1$), характеризующий весомость данного предложения (например, процент поддержавших его респондентов или избирателей, проголосовавших за политическую партию с соответствующими предвыборными обещаниями).

Заключительное предложение, определяющее искомое компромиссное решение, строится поэтапно, в ходе случайного формирования промежуточных предложений, до тех пор, пока не будет достигнут отвечающий некоторым

поставленным критериям результат или количество итераций не превысит некоторое заданное критическое значение.

Множество промежуточных предложений на каждом этапе состоит из $2^l - 1$ вариантов, которые построены на основе случайного формирования интегрированных предложений, основанных на всех возможных, в общем случае неравновероятных, сочетаниях исходных предложений. В частности, для антагонистических по смыслу исходных предложений вероятность их интеграции должна быть мала, что может быть автоматически обеспечено на основе дополнительного критерия совместимости предложений. Такой критерий определяется для конкретной предметной области по структуре, шкалированию и ранжированию характеристик исходных предложений по их значимости. Это позволяет на основе соответствующей метрики сравнивать предложения. Например, маловероятна интеграция двух предложений с близкими (и достаточно высокими) коэффициентами поддержки каждого, в которых представлены различные значения большинства высоких по значимости соответствующих характеристик, измеренных в номинальной шкале (например, две партии предлагают непересекающиеся наборы кандидатур на ведущие посты в правительстве).

При выработке интегрированного предложения участвующим в нем M исходным предложениям ставятся в соответствие случайно определяемые коэффициенты относительной значимости v_j ($v_j > 0$, $v_1 + v_2 + \dots + v_M = 1$). Таким образом, промежуточные предложения R_j^t ($j=1, 2, \dots, 2^l - 1$) характеризуются случайными значениями $p_{j,k}^t$ ($j=1, 2, \dots, 2^l - 1$; $k=1, 2, \dots, K$), определение которых так же, как и критерий совместимости, зависит от существования исходных предложений и искомого решения. В частности, могут использоваться и средневзвешенные (по коэффициенту относительной значимости предложения) значения для получения нормально распределенных случайных значений, и просто случайно выбранные значения характеристики интегрируемых предложений и т.д.

Каждое из полученных промежуточных предложений может анализироваться с нескольких точек зрения:

- а) как в выработке интегрированного предложения участвовало каждое из исходных предложений (по участникам);
- б) какова значимость (по коэффициенту относительной значимости) для интегрированного предложения каждого из предложений, участвовавших в его выработке;
- в) какую суммарную поддержку (по коэффициенту поддержки) имеет интегрированное предложение;
- г) насколько интегрированное предложение близко (по соответствующей метрике) каждому из предложений, участвовавших в его выработке;
- е) насколько интегрированное предложение близко (по соответствующей метрике) каждому из исходных предложений.

Каждый из этих подходов к анализу и оценке промежуточных предложений (самостоятельно или совместно) позволяет определить уже с помощью конкретного критерия необходимость повторения этапа формирования предложений или возможность выбора (если таких предложений несколько) заключительного предложения, дающего компромиссное решение.

Например, скалярный критерий, предложенный для марковского процесса формирования коалиционного правительства [5], учитывает критерии а) и г) и,

соответственно, опирается на вычисление функции полезности для всех участников коалиции, в которой учитывается доля партии в распределении портфелей, а также близость позиции партии и позиции коалиционного правительства (позиция определяется двумя числами).

Обобщение этого критерия приводит к следующему выражению для функции полезности u_{ji} , вычисляемой в общем случае для предложения R_j некоторого подмножества исходных предложений относительно участия в формировании промежуточного предложения (с номером i) в сопоставлении с предполагаемым заключительным предложением R^* (начальные значения характеристик R^* для первой итерации могут выбираться произвольно, например, как соответствующие медианы):

$$u_{ji} = v_j - \alpha \frac{\|R_j - R^*\|}{\max_j \|R_j - R^*\|}$$

Здесь α — весовой коэффициент, управляющий влиянием относительной близости предложений на принятие решения. Сравнение вычисленных значений функции полезности для полученных предложений с ее значениями, полученными в предыдущем цикле симуляций (изначально $u_{ji} = -\alpha$), определяет дальнейшие действия, представленные далее в описании алгоритма.

Исходя из того, что компромиссное решение R^* может основываться только на некотором подмножестве исходных предложений $R_1^*, R_2^*, \dots, R_N^*$, но при этом должно иметь достаточную поддержку, в дальнейшем предполагается выполнение условия совокупной поддержки предложения:

$$\sum_{i=1}^N c_i^* + \sum_{i=N+1}^{N+l} c_i^* > c^*.$$

Здесь первая сумма определяет значение совокупной поддержки предложений, участвующих в выработке решения, а вторая описывает вклад тех l предложений, которые явно не включены в интегрированное предложение, но фактически близки к нему в соответствии со значениями своих параметров. При выполнении вычислительных экспериментов вторая сумма должна вычисляться только по необходимости. Например, пусть рассматривается процесс формирования коалиционного правительства, а весовые коэффициенты соответствуют долям мест партий в парламенте. Условие совокупной поддержки предложения соответствует требованию обеспечения поддержки правительства конституционным большинством (значение c^*) в парламенте с учетом голосов партий, не вошедших в правительство, но придерживающихся близких позиций по ключевым вопросам.

Процесс формирования заключительного предложения строится в соответствии со следующим алгоритмом:

1. Ранжирование характеристик исходных предложений по их значимости.
2. Построение (выбор стандартной) нормы для определения меры близости предложений, при необходимости с учетом значимости их характеристик.
3. Построение критерия совместимости предложений с учетом особенностей конкретной предметной области и самих предложений.
4. Построение матрицы вероятностей совместимости исходных предложений.

5. Построение множества промежуточных (интегрированных) предложений, опирающихся на случайные сочетания всех исходных предложений и выбранный способ определения случайных значений характеристик промежуточных предложений.

6. Вычисление значений функции полезности и соотнесение текущих значений со значениями этой функции, полученными на предыдущем этапе формирования промежуточных предложений.

7. Отбор интегрированных предложений, обеспечивающих увеличение значений функции полезности для всех соответствующих им исходных предложений, а также для любого подмножества других предложений, которые в совокупности гарантируют выполнение условий совокупной поддержки предложения (см. выше).

8. Случайный выбор единственного предложения, которое определит значения характеристик R^* для следующего этапа (цикла пересчета функции полезности), для чего выполняется переход к шагу 6. Компьютерная реализация модели предполагает задание количества таких итераций.

Если предложений, отвечающих поставленным условиям, нет, то весь процесс повторяется с шага 5 также с определенными заранее ограничениями на число итераций в случае, если не удастся добиться выполнения поставленных условий для промежуточных предложений.

Кроме того, возможен вариант построения решения, адекватно описывающий реальный процесс, когда неудачные попытки выработки компромиссного решения могут способствовать уменьшению антагонизма между исходными предложениями. Для предложенной модели это соответствует увеличению вероятностей совместимости исходных предложений и, соответственно, вероятности построения более разнообразных интегрированных предложений. В этом случае возможен переход к любому из шагов 1-4 для более или менее кардинальной корректировки начальных условий.

На основе предложенной имитационной модели была разработана компьютерная программа для выполнения вычислительных экспериментов, протестированная на примере задачи формирования коалиционных правительств с учетом и без учета совместимости определенных партий в коалициях. Исходные данные (распределение мест в парламенте и векторные позиции партий) определялись с помощью приложения, реализующего имитационную модель выборов [10]. Результаты расчетов без учета характеристик совместимости согласуются с результатами [3], в то же время расширение модели позволило использовать менее формальную постановку исходной задачи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Rozinata, A., Wynn, M.T., Aalsta, W.M.P., Hofstede, A.H.M., Fidge, C.J. Workflow simulation for operational decision support // Data & Knowledge Engineering. Sixth International Conference on Business Process Management. Vol. 68. Iss. 9. September 2009. Pp. 834-850.
2. Шеннон Р. Имитационное моделирование систем — искусство и наука. М.: Мир, 1978. 418 с.
3. Bartholomew, D. J. Stochastic models for social processes. J. Wiley, 1973. 411 p.
4. Gilbert, N., Troitzsch, K. Simulation for the social scientist. Open University Press, McGraw-Hill Education, 2005. 312 p.

5. Golder, M., Golder, S., Siegel, D. Modeling the Institutional Foundations of Parliamentary Government Formation. *Journal of Politics*. 2012. № 74. Pp. 427-445.
6. Miller, J. H., Page, S.E. Complex Adaptive Systems: An Introduction to Computational Models of Social Life. Princeton, NY: Princeton University Press, 2007. 284 p.
7. Mosteller, F. Stochastic Models for the Learning Process. Proceedings of the American Philosophical Society. 1958. Vol. 102 (1). Pp. 53-59.
8. Васильева Т.П., Мызникова Б.И., Русаков С.В. Стохастическое моделирование процесса формирования городов // Управление большими системами. 2012. №37. С. 64-179.
9. Захаров А.А., Захарова И.Г. Имитационное моделирование в задачах анализа предпочтений // Вестник Тюменского государственного университета. 2011. №7. Серия «Физико-математические науки. Информатика». С. 172-174.
10. Захарова И.Г., Пушкарев А.Н. Математическое обеспечение динамической интегрированной экспертной системы поддержки принятия решений в маркетинге // Вестник Тюменского государственного университета. 2012. №4. С. 151-155.
11. Penn, E.M. A Model of Farsighted Voting. *American Journal of Political Science*. 2009. Vol. 53 (1). Pp. 36-54.
12. Schofield, N., Sened, I. Multiparty Democracy: Elections and Legislative Elections. New York: Cambridge University Press, 2006. 258 p.

REFERENCES

1. Rozinata A., Wynn M. T., Aalsta W. M. P., Hofstede A. H. M., Fidgeb C. J. Workflow simulation for operational decision support // Data & Knowledge Engineering. Sixth International Conference on Business Process Management. Volume 68, Issue 9, September 2009. P. 834-850.
2. Shannon, R. *Имитационное моделирование систем — искусство и наука* [Systems Simulation: The Art and Science]. M.: Mir, 1978. 418 p. (in Russian).
3. Bartholomew, D.J. Stochastic models for social processes. J. Wiley, 1973. 411 p.
4. Gilbert, N., Troitzsch, K. Simulation for the social scientist. Open University Press, McGraw-Hill Education, 2005. 312 p.
5. Golder, M., Golder, S., Siegel, D. Modeling the Institutional Foundations of Parliamentary Government Formation. *Journal of Politics*. 2012. № 74. Pp. 427-445.
6. Miller, J.H., Page, S.E. Complex Adaptive Systems: An Introduction to Computational Models of Social Life. Princeton, NY: Princeton University Press, 2007. 284 p.
7. Mosteller, F. Stochastic Models for the Learning Process. Proceedings of the American Philosophical Society. 1958. Vol. 102 (1). Pp. 53-59.
8. Vasil'eva, T.P., Myznikova, B.I., Rusakov, S.V. Stochastic Modelling of Urban Formation Process. *Large-scale Systems Control*. 2012. № 37. Pp. 164-179. (in Russian).
9. Zaharov, A.A., Zaharova, I.G. Simulation for Analysis of Preferences. *Vestnik Tjumenskogo gosudarstvennogo universiteta — Tyumen State University Herald*. 2011. № 7. Pp. 172-174. (in Russian).
10. Zaharova, I.G., Pushkarev, A.N. Software for the Dynamic Integrated Expert System of Support of Decision-Making in Marketing. *Vestnik Tjumenskogo gosudarstvennogo universiteta — Tyumen State University Herald*. 2012. № 4. Pp. 151-155. (in Russian).
11. Penn, E.M. A Model of Farsighted Voting. *American Journal of Political Science*. 2009. Vol. 53 (1). Pp. 36-54.
12. Schofield, N., Sened, I. Multiparty Democracy: Elections and Legislative Elections. NY: Cambridge University Press, 2006. 258 p.