

Итеративный вариант метода качественно-репрезентативных сценариев имитационного моделирования

Д.Л. Нинидзе, А.Б. Усов

Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону

Аннотация: Исследуется математическая модель согласования частных и общественных интересов при внедрении инноваций в случае нескольких агентов. Учитывается наличие двух уровней управления, в роли которых выступают супервайзер и несколько агентов. Отношения между супервайзером и агентами строятся иерархически в соответствии с информационными регламентами игр Штакельберга. Для построений равновесий Штакельберга используются имитационное моделирование и метод качественно-репрезентативных сценариев (КРС ИМ). Проведены численные эксперименты с использованием этих двух методов. Дан анализ полученных результатов.

Ключевые слова: игра Штакельберга, имитационное моделирование, метод качественно-репрезентативных сценариев (КРС ИМ), супервайзер, агенты.

Введение

Метод качественно-репрезентативных сценариев (КРС ИМ) основан на том, что для оценки последствий действий для системы достаточно рассмотреть лишь малое число сценариев, которые отражают качественно различные варианты развития управляемой системы. Отметим следующие работы, посвященные этой теме.

Итеративный вариант метода КРС ИМ приведен в [1]; в [2] рассмотрено применение метода качественно репрезентативных сценариев имитационного моделирования к решению задач управления в маркетинге; в [3] рассматривается динамическая теоретико-игровая модель борьбы с коррупцией при распределении ресурсов, для решения которой используется метод качественно репрезентативных сценариев.

Постановка задачи

Предлагаемая ниже модель основана на результатах работы [4], где построена математическая модель внедрения инноваций. Внедрение инноваций требует изменение структуры производства, переподготовки сотрудников, дополнительных затрат. Существует мало качественных исследований по внедрению инноваций. В [5-6] рассматриваются различные

модели и методы финансирования инновационных технологий в организации; в [7] описывается построение математической динамической модели рыночной диффузии инновационного продукта; в [8] представлена модель инновационной составляющей сбалансированной системы показателей ИТ-компании; в [9-11] излагается организационное управление фирм для их инновационного развития.

Представленная ниже модель является двухуровневой, где есть супервайзер и N агентов.

Целевые функции супервайзера и N агентов отражают их доходы в следующем виде.

- для супервайзера (ведущего):

$$J_0(v, u) = x(k(S_v, S_u)) - S_u \rightarrow \max_u ; \quad (1)$$

- для i -го агента (ведомого), $i=1, 2, \dots, N$

$$J_i(v, u) = g_i(v_i) + y(k(S_v, S_u)) - h(v_i) \rightarrow \max_{v_i} . \quad (2)$$

Ограничения на управления агентов и супервайзера возьмем в виде:

$$v_{\min} \leq v_i \leq v_{\max}, \quad (3)$$

$$u_{\min} \leq u_i \leq u_{\max}, \quad (4)$$

Условие гомеостаза состоит в ограничении уровня внедрения инноваций:

$$k_{\min} \leq k(S_v, S_u) \leq k_{\max}; \quad k_{\min}, k_{\max} = const. \quad (5)$$

Для построения равновесий используются два информационных регламента – игра Штакельберга и игра Штакельберга с обратной связью по управлению. Построения проводились при помощи имитационного моделирования, при котором управления субъектов разбиваются на мелкие отрезки, а затем пошагово пересчитываются их целевые функции, и метода качественно-репрезентативных сценариев (КРС ИМ).

Выбор рассматриваемых сценариев играет важную роль в моделировании. Невозможно рассмотреть все сценарии из областей допустимых управлений. Необходимо предложить и обосновать разумный способ выбора рассматриваемых игровых сценариев. Этим способом является метод КРС ИМ. Он позволяет оценить влияние различных управляющих воздействий на поведение системы. Этот метод основан на идее, что достаточно рассмотреть лишь небольшое количество сценариев, которые отражают характерные варианты развития управляемой системы. Данный метод, в отличие от метода имитационного моделирования, является приближенным.

Ниже приведены результаты в случае входных данных, полученных на основе анализа [12-14]. Для определения значений параметров применяется экспертная оценка. Тестовые значения параметров модели приведены в таблице 1.

Таблица 1

Тестовые значения параметров модели

Параметр	C_1	r	c	l	p_1	α	β	γ
Значение	10	20	200	3	1/3	0.4	0.6	0.99
Размерность	-	-	руб./час	-	-	-	-	-

Численные эксперименты проводились в случае входных данных из таблицы 1 и $N=3$; $T_{max}=16$ часов, $v_{min}=0$ часов, $v_{max}=16$ часов, $k_{min}=0.1$, $k_{max}=0.6$, $u_{min}=1000$ руб., $u_{max}=5000$ руб. Результаты с использованием метода КРС ИМ с разным количеством итераций сравнивались с результатами имитационного моделирования в случае побуждения. Варьировались величины $C_1, r, c, l, p_1, \alpha, \beta, \gamma$. C_1 от 8 до 15; r от 15 до 25; c от 100 до 300

руб./час; l от 3 до 78; p_l от 0.125 до 0.9; α от 0.1 до 0.4; β от 0.4 до 0.6; γ от 0.8 до 0.99.

Результаты некоторых экспериментов приведены в таблицах 2, 3, 4. Результатами являются в каждом примере выигрыш супервайзера и коэффициент системной согласованности.

Таблица 2

Результаты численных экспериментов при имитационном моделировании

№	Штакельберг		Штакельберг с обратной связью по управлению	
1	62357	0.92	68087	1
2	65940	0.95	68777	0.99
3	69680	0.99	69680	0.99
4	47805	0.93	50533	0.98
5	84075	0.96	87825	0.99
6	67226	0.97	69620	1
7	65940	0.95	69500	0.99
8	65940	0.95	68777	0.99
9	65940	0.95	68777	0.99
10	65940	0.95	68777	0.99
11	65940	0.95	68777	0.99
12	44644	0.93	47340	0.98

Таблица 3

Результаты численных экспериментов с одной итерацией при использовании метода КРС ИМ

№	Штакельберг		Штакельберг с обратной связью по управлению	
1	60928	0.89	65893	0.97
2	56512	0.81	67226	0.96
3	64844	0.92	64836	0.93
4	41134	0.8	49169	0.96
5	71890	0.82	85282	0.97
6	67226	0.97	67226	0.96
7	56512	0.81	67226	0.96
8	56512	0.81	67226	0.96
9	56512	0.81	67226	0.96
10	56512	0.81	67226	0.96
11	56512	0.81	67226	0.96
12	38744	0.8	46031	0.95

Анализ результатов

Анализ проведенных имитационных экспериментов, результаты части которых приведены в таблицах 2, 3, 4, позволил сделать следующие выводы.

1. В большинстве случаев в обоих регламентах Штакельберга разница полученных результатов при использовании метода КРС ИМ уменьшается при большем числе итераций. Например, примеры 1-2, 4-12. В примере 12 в игре Штакельберга с 1-ой итерацией $J_0=38744$ руб., $K=0.8$, а с конечным числом итераций $J_0=45060$ руб., $K=0.93$, в игре Штакельберга с

обратной связью по управлению $J_0=46031$ руб., $K=0.95$, а с конечным числом итераций $J_0=47747$ руб., $K=0.98$. Результаты при имитационном моделировании в игре Штакельберга $J_0=44644$ руб., $K=0.93$, в игре Штакельберга с обратной связью по управлению $J_0=47340$ руб., $K=0.98$. То есть разница полученных результатов уменьшилась в игре Штакельберга примерно на 12% и в игре Штакельберга с обратной связью по управлению примерно на 3%.

Таблица 4

Результаты численных экспериментов с конечным числом итераций при использовании метода КРС ИМ

№	Штакельберг		Кол-во итераций	Штакельберг с обратной связью по управлению		Кол-во итераций
	Итого	K		Итого	K	
1	63584	0.93	2	68305	1	2
2	67541	0.97	3	68482	0.98	3
3	64844	0.92	2	68770	0.98	2
4	48279	0.93	3	50966	0.99	3
5	86538	0.98	4	86816	0.98	3
6	68145	0.97	3	69275	0.99	3
7	68205	0.97	3	68482	0.98	3
8	66612	0.95	2	69275	0.99	2
9	66612	0.95	3	68771	0.98	2
10	66612	0.95	4	69275	0.99	2
11	67541	0.97	2	68482	0.98	2
12	45060	0.93	2	47747	0.98	2

2. Разница полученных результатов при использовании метода КРС ИМ с конечным числом итераций в сравнении с результатами при имитационном моделировании достигает в большинстве примеров 3%, 1%, 0% (примеры 1-12).

Заключение

В процессе исследования математической модели в случае побуждения при использовании метода КРС ИМ и имитационного моделирования были сделаны следующие выводы:

– использование метода КРС ИМ может заменить имитационное моделирование, так как результаты практически идентичные, и время вычисления при использовании метода КРС ИМ значительно меньше (50-60 минут против 10-20 секунд);

– при использовании метода КРС ИМ предпочтительнее итерационный процесс с конечным числом итераций. Тогда результаты будут более приближенными к результатам имитационного моделирования.

В дальнейшем планируется исследование динамических моделей внедрения инноваций и рассмотрение другого вида входных функций.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Российского научного фонда, проект №17-19-01038.

Литература

1. Ougolnitsky G.A., Usov A.B. Computer Simulations as a Solution Method for Differential Games // Computer Simulations: Advances in Research and Applications. Eds. M.D. Pfeffer and E. Bachmaier. N.Y.: Nova Science Publishers, 2018, Pp. 63-106.
2. Агиева М.Т. Качественно репрезентативные сценарии имитационного моделирования маркетинговых воздействий // Инженерный вестник Дона, 2019, №2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2019/5748.

3. Мальсагов М.Х., Угольницкий Г.А., Усов А.Б. Борьба с экономической коррупцией при распределении ресурсов // Компьютерные исследования и моделирование, 2019, Т. 11, № 1, с. 173–185.
4. Нинидзе Д.Л., Усов А.Б. Согласования частных и общественных интересов при внедрении инноваций в случае нескольких агентов // Инженерный вестник Дона, 2020, №5. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/N5y2020/6443.
5. Макаров А.С., Сазанова Д.А. Источники и модели финансирования инновационной деятельности организации. – Москва: Финансовая аналитика: проблемы и решения. Издательство: ООО "Издательский дом Финансы и Кредит", ISSN: 2073-4484, eISSN: 2311-8768, 2011, № 18. – с. 42–46.
6. Куликов И.Н. Модели финансирования инновационных технологий // Управление экономическими системами: электронный научный журнал, 2015. №8. URL: uecs.ru/innovacii-investicii/item/3679-2015-08-28-07-07-34.
7. Шишаев М.Г. Комплексная системно-динамическая модель рыночной диффузии инновационного продукта. – Москва: Труды института системного анализа Российской Академии наук, 2009. – с. 223-244.
8. Мунтянова А.А. Моделирование инновационной составляющей сбалансированной системы показателей ИТ-компании // Инженерный вестник Дона, 2017, №2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/N2y2017/4217.
9. Jungsu Kim, Goo Hyeok Chung. Implementing innovations within organizations: a systematic review and research agenda // Innovation: Organization & Management, Volume 19, 2017. – Issue 3 – Pp. 372-399.

- 10.Новиков Д.А., Иващенко А.А. Модели и методы организационного управления инновационным развитием фирмы. – М.: КомКнига, 2006 – 333 с.
- 11.Диленко В.А., Шпак С.А. Экономико-математические модели инновационной деятельности производственного предприятия. – Мариуполь: ОАО «Азовмаш», 2005. – 193 с.
12. Katherine J. Klein, Amy Buhl Conn, and Joann Speer Sorra. Implementing computerized technology: An organizational analysis // J. of Applied Psychology – USA: American Psychological Association Inc., 2001, V. 86, No 5, Pp. 811–824.
- 13.Henry Edison, Nauman bin Ali, Richard Torkar. Towards innovation measurement in the software industry // J. of Systems and Software – Netherlands: Elsevier, 2013, V. 86, No 5, Pp. 1390–1407.
- 14.Bramscomb L.M., Toward A. US technology policy: IEEE engineering management rev. N.Y., 1992. Vol. 20. №3. Pp. 74-78.

References

1. Ougolnitsky G.A., Usov A.B. Computer Simulations: Advances in Research and Applications. Eds. M.D. Pfeffer and E. Bachmaier. N.Y.: Nova Science Publishers, 2018, Pp. 63-106.
 2. Agieva M.T. Inzhenernyj vestnik Dona, 2019, №2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2019/5748.
 3. Malsagov M. Kh., Ougolnitskii G.A., Usov A.B. Computer research and modeling, 2019, V. 11, № 1, Pp. 173–185.
 4. Ninidze D.L., Usov A.B. Inzhenernyj vestnik Dona, 2020, №5. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/N5y2020/6443.
 5. Makarov A.S., Sazanova D.A. Istochniki i modeli finansirovaniya innovacionnoj deyatel'nosti organizacii [Sources and models of financing of innovative activity of the organization]. Moskva: Finansovaya analitika:
-

- problemy i resheniya. Izdatel'stvo: OOO "Izdatel'skij dom Finansy i Kredit", ISSN: 2073-4484, eISSN: 2311-8768, 2011, No. 18, Pp. 42-46.
6. Kulikov I.N. Upravlenie ekonomicheskimi sistemami: elektronnyj nauchnyj zhurnal, 2015. №8. URL: uecs.ru/innovacii-investicii/item/3679-2015-08-28-07-07-34.
 7. Shishaev M.G. Kompleksnaya sistemno-dinamicheskaya model' rynochnoj diffuzii innovacionnogo produkta. [Complex system-dynamic model of market diffusion of an innovative product]. Moskva: Trudy instituta sistemnogo analiza Rossijskoj Akademii nauk, 2009, Pp. 223-244.
 8. Muntianova A.A. Inzhenernyj vestnik Dona, 2017, №2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/N2y2017/4217.
 9. Jungsu Kim, Goo Hyeok Chung Innovation: Organization & Management, Volume 19, 2017. Issue 3. Pp. 372-399.
 10. Novikov D.A., Ivashchenko A.A. Modeli i metody organizacionnogo upravleniya innovacionnym razvitiem firmy [Models and methods of organizational management of innovative development of the company] M.: KomKniga, 2006, 333 p.
 11. Dilenko V.A., Shpak S.A. Ekonomiko-matematicheskie modeli innovacionnoj deyatel'nosti proizvodstvennogo predpriyatiya [Economic and mathematical models of innovative activity of a manufacturing enterprise] Mariupol': OAO «Azovmash», 2005, 193 p.
 12. Katherine J. Klein, Amy Buhl Conn, and Joann Speer Sorra. J. of Applied Psychology. USA: American Psychological Association Inc., 2001, V. 86, № 5, Pp. 811–824.
 13. Henry Edison, Nauman bin Ali, Richard Torkar. J. of Systems and Software. Netherlands: Elsevier, 2013, V. 86, No 5, Pp. 1390–1407.
 14. Bramscomb L.M., Toward A. US technology policy: IEEE engineering management rev. N.Y., 1992. Vol. 20. №3. Pp. 74-78.
-