

КОМП'ЮТЕРНІ Й ІНФОРМАЦІЙНІ МЕРЕЖІ І СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЯ ВИРОБНИЦТВА COMPUTER AND INFORMATION NETWORKS AND SYSTEMS MANUFACTURING AUTOMATION

УДК 004.03+008.5

Е.В. Колесникова, канд. техн. наук, доц., Одес.
нац. политехн. ун-т

МОДЕЛИРОВАНИЕ СЛАБО СТРУКТУРИРОВАННЫХ СИСТЕМ ПРОЕКТНОГО УПРАВЛЕНИЯ

К.В. Колесникова. Моделювання слабо структурованих систем проектного управління. Запропоновано алгоритм моделювання слабо структурованих систем проектного управління, в основі якого лежить використання марковських ланцюгів.

Ключові слова: управління проектами, дискретні стани, однорідність, ланцюги Маркова, розмічений граф, перехідні ймовірності.

Е.В. Колесникова. Моделирование слабо структурированных систем проектного управления. Предложен алгоритм моделирования слабо структурированных систем проектного управления, в основе которого лежит использование марковских цепей.

Ключевые слова: управление проектами, дискретные состояния, однородность, цепи Маркова, размеченный граф, переходные вероятности.

K.V. Kolesnikova. Modeling of semistructured project management systems. An algorithm for modeling semistructured project management systems, which is based on the use of Markov chains, is proposed.

Keywords: project management, discrete states, homogeneity, Markov chains, labeled graph, the transition probabilities.

Введение. Моделирование является основным инструментом исследований во всех областях знаний и научно обоснованным методом оценок изменения характеристик сложных систем в различных сферах проектной деятельности [1]. Для принятия решений по управлению тем или иным объектом необходимо учитывать структуру объекта, а также характеристики взаимодействия составных частей между собой и внешней средой. Как известно, проекты отличаются огромным разнообразием и уникальностью. При этом в слабо структурированных проектных системах множество элементов и связей формируют сложные причинно-следственные последовательности состояний, которые могут изменяться во времени в зависимости от структуры системы и факторов окружения [2]. Построение детерминированных моделей для подобных систем невозможно из-за стохастического характера процессов. Поэтому описание проектов часто удается осуществить только в форме качественных моделей. Вместе с тем, применение цепей Маркова позволяет перейти к количественным оценкам хода и результатов проектов [3]. Из-за простоты математиче-

ского аппарата, высокой достоверности описания феноменологических свойств и точности получаемых решений цепи Маркова широко применяются для исследования слабо структурированных организационно-технических и социальных систем проектного управления [3...6].

Целью исследования является разработка математического описания для схемы взаимодействия участников проекта с применением цепи Маркова, что позволит отобразить вероятностную сущность системы проектного управления.

Анализ публикаций. Применение цепей Маркова для определения вероятностей состояний технических или социальных систем основывается на структурном и параметрическом подобии оригиналов систем их отображениям в марковских моделях [3]. С помощью марковской модели решена задача управления рекламными проектами [4]. Организационно-техническая система предоставления медицинских услуг описана как цепь Маркова с отображением изменений вероятностей состояний пациентов [5]. Особенности проектно-ориентированного управления станкостроительным предприятием представлены марковской моделью, в которой вероятности состояний зависят от времени производственных процессов [3]. Можно также отметить эффективность марковских моделей для оценки качества работы учебных заведений [6]. Различия указанных моделей заключаются в способах определения условных вероятностей переходов между дискретными состояниями. Это позволяет сделать вывод о том, что специфика описания различных объектов однородными цепями Маркова с дискретными состояниями и дискретным временем определяется способами нахождения переходных вероятностей.

Примем в качестве базовой структуру состояний проекта (рис. 1), приведенную в стандарте Р54869-2011 [7].

Описание взаимодействия участников проекта с помощью цепи Маркова. При моделировании сложных систем проектного управления ключевым этапом является отображение структуры взаимодействия процессов проекта с помощью ориентированного взвешенного графа, в котором вершины соответствуют состояниям проекта, а связи между состояниями отображают причинно-следственные цепочки, по которым распространяются влияния одного фактора на другой (рис. 2). Последовательность дискретных случайных величин $\{S_k\}_k$ называется цепью Маркова с дискретным временем, если

$$p(S_{k+1}=i_{k+1}|S_k=i_k, S_{k-1}=i_{k-1}; \dots, S_0=i_0) = p(S_{k+1}=i_{k+1}|S_k=i_k),$$

где p — вероятности i -го состояния на шаге k .

Распределение вероятностей последующих состояний цепи Маркова зависит только от текущего состояния и не зависит от всех предыдущих состояний. Область значений случайных величин $\{S_k\}$ называется пространством состояний цепи, а номер k — номером шага.

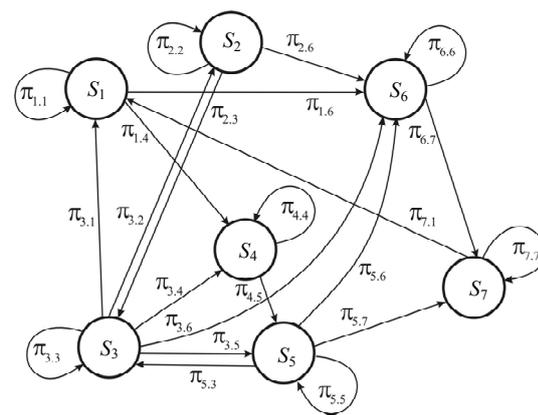
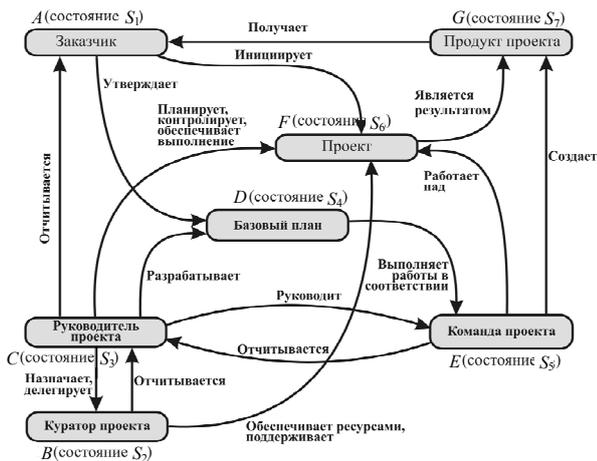


Рис. 1. Схема взаимодействия участников проекта: Рис. 2. Размеченный граф состояний цепи Маркова
A, B, ... G — идентификаторы состояний

Размеченный граф состояний представляет собой цепь Маркова, в которой вершины соответствуют состояниям цепи, а дуги ненулевым вероятностям переходов (рис. 2).

Обозначим через $S_i \{i=1, 2, \dots, 7\}$ возможные состояния системы, существующие в проекте: $S_1=A; S_2=B; S_3=C; S_4=D; S_5=E; S_6=F; S_7=G$.

Ориентированный граф может быть представлен матрицей смежности

$$\|c_{i,j}\| = \begin{pmatrix} c_{1,1} & 0 & 0 & c_{1,4} & 0 & c_{1,6} & 0 \\ 0 & c_{2,2} & c_{2,3} & 0 & 0 & c_{2,6} & 0 \\ c_{3,1} & c_{3,2} & c_{3,3} & c_{3,4} & c_{3,5} & c_{3,6} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & c_{4,4} & c_{4,5} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & c_{5,3} & 0 & c_{5,5} & c_{5,6} & c_{5,7} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & c_{6,6} & c_{6,7} \\ c_{7,1} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & c_{7,7} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}.$$

Каждый элемент матрицы смежности c_{ij} , отличный от нуля и равный 1, означает наличие прямой связи между состояниями $i \rightarrow j$. Значения элементов главной диагонали $c_{ii}=1$ указывают на наличие петли перехода, когда система остается в том же состоянии. Каждая строка матрицы смежности отображает наличие переходов в другие состояния системы. Как известно, все возможные переходы из некоторого состояния в другие состояния составляют полную группу событий – один из переходов должен быть реализован. Это позволяет ввести норму для каждой строки матрицы $\|c_{ij}\|$ с заменой значений $c_{ij}=1$ на переходные вероятности $\pi_{ij}>0$ с выполнением условия, справедливого для полной группы событий

$$\sum_{j=1}^m \pi_{ij} = 1, \quad \{i = 1, 2, \dots, m\},$$

где $m = 7$ — число возможных состояний системы.

Сумма вероятностей всех состояний $p_i(k)$ на каждом шаге k [1]

$$\sum_{i=1}^m p_i(k) = 1,$$

где $p_i(k)$ — вероятность i -го состояния на шаге k .

В марковской цепи с изменением времени (шага k) распределение вероятностей состояний $\{p_1(k), p_2(k), \dots, p_m(k)\}$ изменяется. При этом вычисление распределения вероятностей на следующем $(k+1)$ шаге выполняется по известной формуле полной вероятности

$$\begin{pmatrix} p_1(k+1) \\ p_2(k+1) \\ p_3(k+1) \\ p_4(k+1) \\ p_5(k+1) \\ p_6(k+1) \\ p_7(k+1) \end{pmatrix}^T = \begin{pmatrix} p_1(k) \\ p_2(k) \\ p_3(k) \\ p_4(k) \\ p_5(k) \\ p_6(k) \\ p_7(k) \end{pmatrix}^T \cdot \begin{pmatrix} \pi_{1,1} & 0 & 0 & \pi_{1,4} & 0 & \pi_{1,6} & 0 \\ 0 & \pi_{2,2} & \pi_{2,3} & 0 & 0 & \pi_{2,6} & 0 \\ \pi_{3,1} & \pi_{3,2} & \pi_{3,3} & \pi_{3,4} & \pi_{3,5} & \pi_{3,6} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \pi_{4,4} & \pi_{4,5} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \pi_{5,3} & 0 & \pi_{5,5} & \pi_{5,6} & \pi_{5,7} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \pi_{6,6} & \pi_{6,7} \\ \pi_{7,1} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \pi_{7,7} \end{pmatrix}. \quad (1)$$

Следовательно, если задана матрица переходных вероятностей $\|\pi_{ij}\|$ и известно распределение вероятностей состояний $\{p_1(k), p_2(k), \dots, p_m(k)\}$ на шаге k , то новое распределение вероятностей состояний $\|p_i(k+1); i = 1, 2, \dots, m\|$ может быть найдено из (1). В большинстве случаев на этом этапе исследования прекращаются, поскольку получен алгоритм для практического расчета параметров системы. Вместе с тем, представленное решение может быть преобразовано.

Для этого воспользуемся методом индукции при анализе выражений для вычисления распределения вероятностей состояний на первом и втором шагах

$$\|p_i(1); i = 1, 2, \dots, m\|^T = \|p_i(0); i = 1, 2, \dots, m\|^T \|\pi_{ij}\|; \quad (2)$$

$$\|p_i(2); i = 1, 2, \dots, m\|^T = \|p_i(1); i = 1, 2, \dots, m\|^T \|\pi_{ij}\|, \quad (3)$$

где $\|\pi_{ij}\|$ — матрица переходных вероятностей;

T — индекс транспонирования столбца $\|p_i(k+1); i = 1, 2, \dots, m\|$.

Распределение вероятностей состояний $\{p_1(k), p_2(k), \dots, p_m(k)\}$ однородной цепи Маркова с дискретным временем характеризуют феноменологическое отображение системы то, чем объект проявляет себя. После подстановки (2) в (3)

$$\|p_i(2); i = 1, 2, \dots, m\|^T = \|p_i(0); i = 1, 2, \dots, m\|^T \|\pi_{ij}\| \cdot \|\pi_{ij}\|; \quad (4)$$

$$\|p_i(2); i = 1, 2, \dots, m\|^T = \|p_i(0); i = 1, 2, \dots, m\|^T \|\pi_{ij}\|^2. \quad (5)$$

Поэтому можно записать для любого шага k

$$\|p_i(k); i = 1, 2, \dots, m\|^T = \|p_i(0); i = 1, 2, \dots, m\|^T \|\pi_{ij}\|^k. \quad (6)$$

Из (6) следует, что распределение вероятностей состояний $\{p_1(k), p_2(k), \dots, p_m(k)\}$ на шаге k зависит только от начального распределения при $k = 0$ и матрицы переходных вероятностей в степени $k \|\pi_{ij}\|^k$. Поэтому цепь Маркова считается заданной, если определены следующие параметры:

- имеется совокупность переходных вероятностей в виде матрицы $\|\pi_{ij}\|$;
- известно некоторое начальное распределение вероятностей состояний

$$\|p_i(0); i = 1, 2, \dots, m\| = \{p_1(0), p_2(0), \dots, p_m(0)\}. \quad (7)$$

В некоторых случаях, несмотря на случайность процесса, имеется возможность до определенной степени управлять законами распределения или параметрами переходных вероятностей. Очевидно, что с помощью управляемых цепей Маркова можно адаптировать модель к изменяющимся характеристикам окружения, что позволяет применять их в системах принятия решений.

Выводы. Рассмотрена методика применения цепей Маркова для моделирования слабо структурированных систем в области проектного менеджмента. Разработан унифицированный алгоритм, позволяющий исследовать слабо структурированные организационно-технические и социальные системы в контексте их применения в системах принятия управленческих решений.

Литература

1. Бушуев, С.Д. Напрями дисертаційних наукових досліджень зі спеціальності “Управління проектами та програмами” / С.Д. Бушуев, В.Д. Гогунський, К.В. Кошкін // Управління розвитком складних систем. — 2012. — № 12. — С. 5 — 7.
2. Гогунский, В.Д. Основные законы проектного менеджмента / В.Д. Гогунский, С.В. Руденко // IV міжнар. конф.: “Управління проектами: стан та перспективи”. — Миколаїв : НУК, 2008. — С. 37 — 40.
3. Колеснікова, К.В. Розробка марківської моделі станів проектно керованої організації / К.В. Колеснікова, В.О. Вайсман, С.О. Величко // Сучасні технології в машинобудуванні: зб. наук. праць. — Вип. 7. — Харків : НТУ “ХП”, 2012. — С. 217 — 222.
4. Оборская, А.Г. Модель эффектов коммуникаций для управления рекламными проектами / А.Г. Оборская, В.Д. Гогунский // Тр. Одес. политехн. ун-та. — 2005. — Спецвып. — С. 31 — 34.
5. Розробка марківської моделі зміни станів пацієнтів в проектах надання медичних послуг / С.В. Руденко, М.В. Романенко, О.Г. Катуніна, К.В. Колеснікова // Упр. розвитком складних систем. — 2012. — № 12. — С. 86 — 89.
6. Яковенко, В.Д. Прогнозування стану системи керування якістю навчального закладу / В.Д. Яковенко, В.Д. Гогунський // Систем. дослідж. та інформац. технології. — 2009. — № 2. — С. 50 — 57.
7. ГОСТ Р 54869–2011. Проектный менеджмент. Требования к управлению проектом. — М.: Стандартинформ, 2011. — 10 с.

References

1. Bushuev, S.D. Napriamy dysertatsiinykh naukovykh doslidzhen zi spetsialnosti "Upravlinnia proektamy ta prohramamy" [Directions of dissertation research in the specialty "Management of projects and programs"] [Text] / S.D. Bushuev, V.D. Hohunskyi, K.V. Koshkin // Upravlinnia rozvytkom skladnykh system [Managing the Development of Complex Systems]. — 2012. — # 12. — pp. 5 — 7.
2. Gogunskiy, V.D. Osnovnye zakony proektnogo menedzhmenta [Basic laws of project management] [Text] / V.D. Gogunskiy, S.V. Rudenko // IV mizhnar. konf.: «Upravlinnia proektamy: stan ta perspektyvy» [IV Intern. Conf. "Project Management: Status and Prospects"]. — Mykolaiv, 2008. — pp. 37 — 40.
3. Kolesnikova, K.V. Rozrobka markivskoi modeli staniv proektno kerovanoi orhanizatsii [Development of Markov model for project-driven organization's states] [Text] / K.V. Kolesnikova, V.O. Vaisman, S.O. Velychko // Suchasni tekhnolohii v mashynobuduvanni: zb. nauk. prats. [Modern Technologies in Machine Building: Coll.Sci.Papers]. — Iss. 7. — Kharkiv, 2012. — pp. 217 — 222.
4. Oborskaya, A.G. Model' effektov kommunikatsiy dlya upravleniya reklamnymi proektami [Model of the effects of communications for managing advertising projects] [Text] / A.G. Oborskaya, V.D. Gogunskiy // Tr. Odes. politekhn. un-ta [Proc. of Odessa Polytech. Univ.]. — Spec. issue — 2005. — pp. 31 — 34.
5. Rozrobka markivskoi modeli zminy staniv patsientiv v proektakh nadannia medychnykh posluh [Development of the Markov model of patients' state changes in projects providing health services] [Text] / S.V. Rudenko, M.V. Romanenko, O.H. Katunina, K.V. Kolesnikova // Upr. rozvytkom sklad.kh system. [Managing the Development of Complex Systems]. — #12. — 2012. — pp. 86 — 89.
6. Yakovenko, V.D. Prohnozuvannia stanu systemy keruvannia yakistiu navchalnoho zakladu [Forecasting the state of the quality management system of the educational institution] [Text] / V.D. Yakovenko, V.D. Hohunskyi // System. doslidzh. ta informats. tekhnolohii. [System Studies and Information Technologies]. — 2009. — # 2. — pp. 50 — 57.
7. GOST R 54869 — 2011 Proektnyy menedzhment. Trebovaniya k upravleniyu proektom [State Standard 54869-2011 Project management. Requirements for Project Management] [Text]. — Moscow, 2011. — 10 p.

Рецензент д-р техн. наук, проф. Одес. нац. политехн. ун-та Становский А.Л.

Поступила в редакцию 27 октября 2013 г.