РАЗРАБОТКА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ РЕШЕНИЯ СЛОЖНЫХ ЗАДАЧ В СФЕРЕ ПРОМЫШЛЕННОЙ ПОЛИТИКИ НА ОСНОВЕ МЕТОДА МОНТЕ-КАРЛО[1]

УДК 519.86

Таисия Николаевна Мироненко,
к.э.н., доцент кафедры «Информационные системы в экономике» Волгоградского государственного технического университета (ВолгГТУ)
Тел.: (8442) 24-84-79
Эл. почта: mirtaisiya@yandex.ru

Екатерина Игоревна Брагина,
ассистент кафедры «Политология» Волгоградского государственного технического университета (ВолгГТУ),
Тел.: (8442)24-84-79
Эл. почта: ekaterin-bragin@yandex.ru

В данной статье рассматривается одно из приоритетных направлений в области искусственного интеллекта – цепи Маркова. Решается задача прогнозирования стратегических направлений инвестирования в сфере промышленной политики с помощью метода Монте-Карло.

Ключевые слова: *моделирование, прогнозирование, система, метод Монте-Карло, промышленная политика, искусственный интеллект.*

Taisiya N. Mironenko,
PhD in Economics, associate professor of the department “Information systems in the economy” Volgograd State Technical University (VSTU)
Tel.: (8442)24-84-79
E-mail: mirtaisiya@yandex.ru

Ekaterina I. Bragina,
assistant of the department “Political science” Volgograd State Technical University (VSTU)
Tel.: (8442)24-84-79
E-mail: ekaterin-bragin@yandex.ru

DEVELOPMENT OF INTELLIGENT SYSTEM FOR SOLVING OF COMPLEX ECONOMIC PROBLEMS IN INDUSTRIAL POLICY BY MONTE CARLO METHOD

The article considers one of the priorities in the field of artificial intelligence – Markov chains. The problem of forecasting the strategic investment directions in industrial policy by using a Monte Carlo method is solved.

Keywords: *modeling, prediction, system, a Monte Carlo method, industrial policy, artificial intelligence.*

1. Введение

Широкое распространение особенно при анализе риска получил метод Монте-Карло [1,2,3]. Экономические процессы в системах любой сложности могут быть формально выражены при помощи цепей Маркова и решены методом Монте-Карло за ограниченное время, зависящее только от требуемой точности вычислений.

2. Моделирование сложных процессов с использованием метода Монте-Карло

Цепью Маркова называют такую последовательность случайных событий, в которой вероятность каждого события зависит только от состояния, в котором процесс находится в текущий момент и не зависит от более ранних состояний. Марковская цепь изображается в виде графа переходов, вершины которого соответствуют состояниям цепи, а дуги – переходам между ними. Вес дуги (i, j), связывающей вершины s_i и s_j будет равен вероятности $p_i(j)$ перехода из первого состояния во второе.

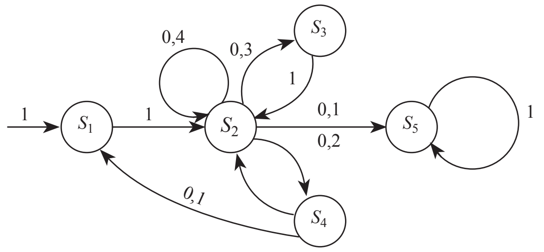

Рис. 1. *Пример графа Марковской цепи*

Конечная дискретная цепь определяется:

1. множеством состояний $S = \{s_1, \dots, s_n\}$, событием является переход из одного состояния в другое в результате случайного испытания

2. вектором начальных вероятностей (начальным распределением) $p^{(0)} = \{p^{(0)}(1),\dots, p^{(0)}(n)\}$, определяющим вероятности $p^{(0)}(i)$ того, что в начальный момент времени $t = 0$ процесс находился в состоянии s_i

3. матрицей переходных вероятностей $P = \{p_{ij}\}$, характеризующей вероятность перехода процесса с текущим состоянием s_i в следующее состояние s_j, при этом сумма вероятностей переходов из одного состояния равна 1:

$$\sum_{j=1\dots n} p_{ij} = 1$$

Пример матрицы переходных вероятностей с множеством состояний $S = \{S_1, \dots, S_5\}$, вектором начальных вероятностей $p^{(0)} = \{1, 0, 0, 0, 0\}$, соответствующей изображенному графу:

$$P = \begin{array}{c} \\ s_1 \\ s_2 \\ s_3 \\ s_4 \\ s_3 \end{array} \begin{array}{c} \begin{array}{ccccc} s_1 & s_2 & s_3 & s_4 & s_5 \end{array} \\ \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0,4 & 0,3 & 0,2 & 0,1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0,1 & 0,9 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \end{array}$$

[1] Статья выполнена при поддержке гранта 13-13-34014 «Промышленная политика: конкуренция идеологий и общественное мнение в аспекте оппозиции «центр-регионы» (на примере Волгоградской области)»

С помощью вектора начальных вероятностей и матрицы переходов можно вычислить стохастический вектор $p^{(n)}$ – вектор, составленный из вероятностей $p^{(n)}(i)$ того, что процесс окажется в состоянии i в момент времени n. Получить $p^{(n)}$ можно с помощью формулы:

$$p^{(n)} = p^{(0)} \times P^n$$

Векторы $p^{(n)}$ при росте n в некоторых случаях стабилизируются – сходятся к некоторому вероятностному вектору ρ, который можно назвать стационарным распределением цепи. Стационарность проявляется в том, что взяв $p^{(0)} = \rho$, мы получим $p^{(n)} = \rho$ для любого n. Простейший критерий, который гарантирует сходимость к стационарному распределению, выглядит следующим образом: если все элементы матрицы переходных вероятностей P положительны, то при n, стремящемуся к бесконечности, вектор $p^{(n)}$ стремится к вектору ρ, являющемуся единственным решением системы вида

$$p \times P = p.$$

Также можно показать, что если при каком-нибудь положительном значении n все элементы матрицы P^n положительны, тогда вектор $p^{(n)}$ все равно будет стабилизироваться. При рассмотрении цепей Маркова нас может интересовать поведение системы на коротком отрезке времени. В таком случае абсолютные вероятности вычисляются с помощью формул. Однако более важно изучить поведение системы на большом интервале времени, когда число переходов стремится к бесконечности.

Марковские цепи классифицируются в зависимости от возможности перехода из одних состояний в другие. Группы состояний марковской цепи (подмножества вершин графа переходов), которым соответствуют тупиковые вершины диаграммы порядка графа переходов, называются эргодическими классами цепи. Если рассмотреть граф, изображенный выше, то видно, что в нем 1 эргодический класс $M_1 = \{S_5\}$, достижимый из компоненты сильной связности, соответствующей подмножеству вершин $M_2 = \{S_1, S_2, S_3, S_4\}$. Состояния, которые находятся в эргодических классах, называются существенными, а остальные – несущественными. Поглощающее состояние s_i является частным случаем эргодического класса, это такое состояние, попав в которое, процесс прекратится. Для S_i будет верно $p_{ii} = 1$, т.е. в графе переходов из него будет исходить только одно ребро – петля.

Цепь Маркова называется неприводимой, если любое состояние S_j может быть достигнуто из любого другого состояния S_i за конечное число переходов. В этом случае все состояния цепи называются сообщающимися, а граф переходов является компонентой сильной связности. Процесс, порождаемый такой цепью, начавшись в некотором состоянии, никогда не завершается, а последовательно переходит из одного состояния в другое, попадая в различные состояния с разной частотой, зависящей от переходных вероятностей. Поэтому основная характеристика эргодической цепи – вероятности пребывания процесса в состояниях S_j, $j = 1,\dots, n$, доля времени, которую процесс проводит в каждом из состояний. Неприводимые цепи часто используются в качестве моделей надежности систем, а так же транспортных моделей.

Поскольку нас интересует в основном, вычисление узловых вероятностей в неприводимых цепях Маркова, для которого не существует математически обоснованных методов решения, мы обратимся к методу Монте-Карло. Сущность метода заключается в том, что вместо того, чтобы использовать неподходящие для подобных задач соображения комбинаторики, можно просто поставить «эксперимент» большое число раз и таким образом, подсчитав число исходов, оценить их вероятность. Этот метод имитации применим для решения почти всех задач при условии, что альтернативы могут быть выражены количественно. Построение модели начинается с определения функциональных зависимостей в реальной системе, которые впоследствии позволяют получить количественное решение, используя теорию вероятности и таблицы случайных чисел. Модель Монте-Карло не столь формализована и является более гибкой, чем другие имитирующие модели. Причины здесь следующие:

1. При моделировании по методу Монте-Карло нет необходимости определять, что именно оптимизируется;

2. Нет необходимости упрощать реальность для облегчения решения, поскольку применение ЭВМ позволяет реализовать модели сложных систем;

3. В программе для ЭВМ можно предусмотреть опережения во времени.

Метод Монте-Карло позволяет численно находить различные вероятностные характеристики случайной величины η, зависящей от большого числа других случайных величин $\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_n$. Этот метод сводится к следующему: разыгрывается последовательность случайных величин $\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_n$ для каждого розыгрыша определяется соответствующее значение случайной величины η, а по найденным значениям строится эмпирическое распределение вероятностей этой случайной величины.

3. Разработка интеллектуальной системы для решения сложных задач и ее применение в сфере промышленной политики

Типичным примером задачи, которая может быть решена на основе метода Монте-Карло, является задача на инвестирование.

Описание задачи: Волгоградская область имеет возможность вложить свободные средства в одно из трёх основных направлений развития, при этом различные степени психологического фактора инвестиционной привлекательности соответствующим образом влияют на вероятности реинвестирования основных направлений. На основании статистических исследований были определены вероятности реинвестирования направлений и варианты дальнейшего развития событий. Необходимо вычислить направление инвестирования, имеющее наименьший риск потери вложенных средств.

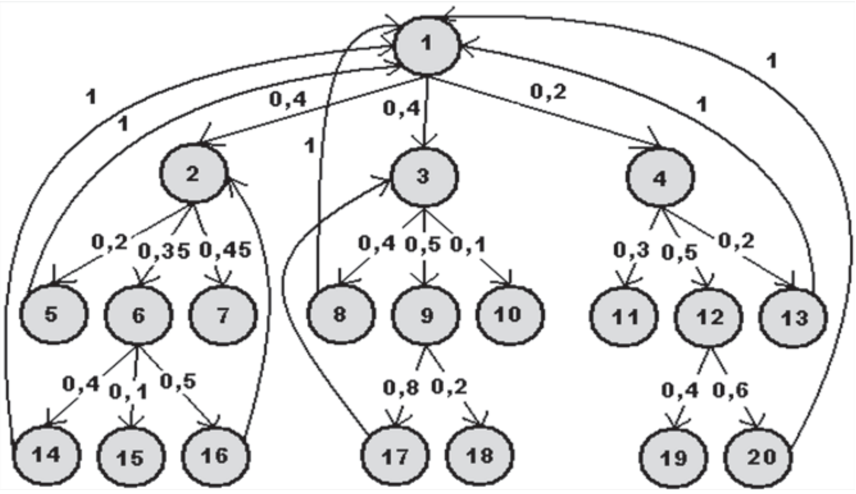

Рис. 2. *Граф задачи*

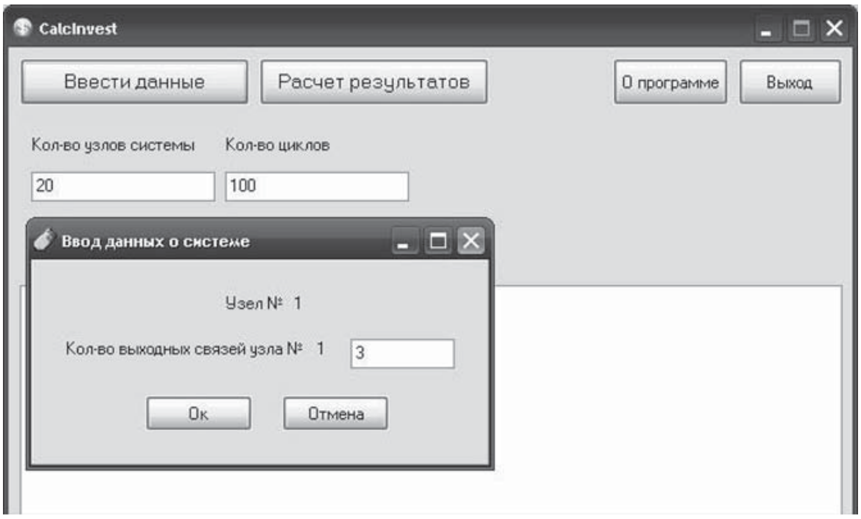

Рис. 3. *Количество выходных связей*

Основными направлениями инвестирования являются: агропромышленный комплекс (АПК) с вероятностью 0,4; энергетика с вероятностью 0,4; промышленность с вероятностью 0,2.

Возможные исходы инвестирования в агропромышленный комплекс: значительное увеличение прибыли с возможностью дальнейшего реинвестирования с вероятностью 0,2; возврат вложенных средств при отсутствии прибыли с возможностью дальнейшего реинвестирования с вероятностью 0,35; получение убытков исключающих возможность дальнейшего реинвестирования с вероятностью 0,45.

Возможные исходы инвестирования в энергетику: значительное увеличение прибыли с возможностью дальнейшего реинвестирования с вероятностью 0,4; возврат вложенных средств при отсутствии прибыли с возможностью дальнейшего реинвестирования с вероятностью 0,5; получение убытков исключающих возможность дальнейшего реинвестирования с вероятностью 0,1.

Возможные исходы инвестирования в промышленность: значительное увеличение прибыли с возможностью инвестирования расширения производства с вероятностью 0,3; возврат вложенных средств при отсутствии прибыли с возможностью дальнейшего реинвестирования с вероятностью 0,2; получение убытков исключающих возможность дальнейшего реинвестирования с вероятностью 0,5.

На первом этапе решения построим граф (рисунок 2):

Имея представление задачи в виде графа – приступаем к программированию решения.

Поскольку граф нашей задачи, содержит поглощающие узлы (такие узлы, в которых переход к другим узлам невозможен) мы создаем алгоритм таким образом, чтобы при достижении поглощающего узла происходила повторная постановка эксперимента с самого начала (с первого узла графа).

После программирования, необходимо ввести данные представленного графа в программу. Поскольку нашей задачей является определение наиболее приоритетной области инвестирования, то критерием ответа будет вероятность достижения узлов графа с номерами: 7, 10, 11, 15, 18, 19. Сравнивая вероятности, в данных узлах определим минимальную вероятность – это и есть узел, принадлежащий предпочтительному направлению инвестирования. Данный метод автоматизирован и представлен следующей программой (рисунок 3). Введем данные в программу.

На первом этапе введем необходимое количество узлов. По условию нашей задачи (рисунок 2) оно равно 20. Введем кол-во выходных связей узла №1, равное 3.

На следующем этапе введем номера узлов для связей №1, №2, №3, которые равны соответственно 2, 3 и 4.(рисунок 4).

Введем вероятности переходов для связи №1,№2,№3, которые соответственно равны 0,2; 0,4; 0,4. (рисунок 5)

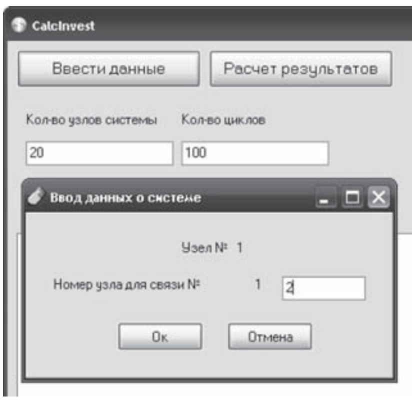

Рис. 4. *Ввод нумерации узла*

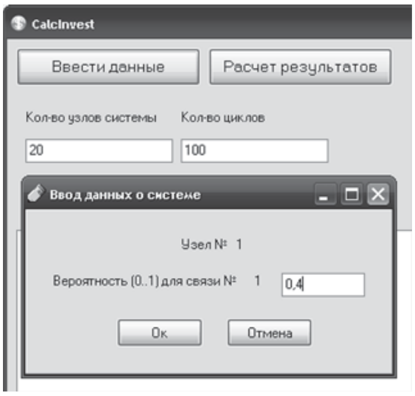

Рис. 5. *Ввод вероятностей*

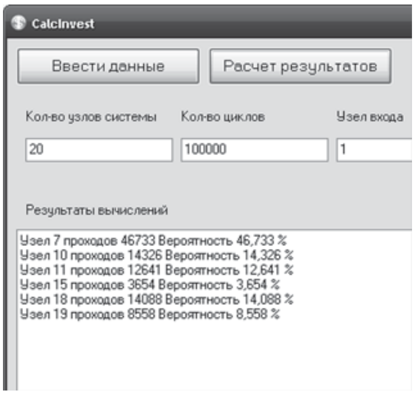

Рис. 6. *Результат вычислений*

Таким образом, после того как ввод данных осуществлен, вводим кол-во циклов. Чем больше количество циклов, тем меньше статистическая погрешность решения. Введем количество циклов соответственно: 100000 (рисунок 6), Узел входа введем 1. Результат вычислений показан в процентном отношении.

Результатом вычислений является узел под номером два (агропромышленный комплекс).

4. Заключение

Таким образом, было показано, как решение сложных экономических задач, не поддающихся решению классическими математическими методами были решены алгоритмически с помощью ЭВМ. Предложенный метод Монте-Карло является универсальным и может быть использован для решения практически всех задач, касающихся расчетов риска, прибыли и убытков. Данный алгоритм может быть использован также для расчета имитационных и итерационных задач.

Литература

1. Вахрин П.И. Организация и финансирование инвестиций (сборник практических задач и конкретных ситуаций): Учеб. пособие/ П. И. Вахрин. – М.: Информационно-внедренческий центр «Маркетинг», 2006. – 324 с.

2. Егорова И.Е. Разработка интеллектуальной системы для решения сложных экономических задач на основе метода Монте-Карло / Егорова И.Е., Мироненко Т.Н., Фролова Т.С. // Изв. ВолгГТУ. Серия «Актуальные проблемы реформирования российской экономики (теория, практика, перспектива)». Вып. 10 : межвуз. сб. науч. ст. / ВолгГТУ. – Волгоград, 2010. – № 13. – С. 148–152.

3. Лимитовский М.А. Основы оценки инвестиционных и финансовых решений/ М. А. Лимитовский. – М.: ООО «Издательско-Консалтинговая Компания “ДеКа”», 2004. – 342 с.

References

1. Vakhrin P.I. Organization and financing of investments (a collection of practical problems and case studies): study guide. Manual/ P.I. Vakhrin. – M.: Informacionno-vnedrencheskij centr “Marketing”, 2006. – 324 s.

2. Yegorova I.E. Modeling of intellectual system for decision of complex economic using by method of Monte-Carlo / Yegorova, I.E., Mironenko T.N., Frolova T.S. // Izv. VolgGTU. Seriya “Aktualnye problemy reformirovaniya rossijskoj ekonomiki (teoriya, praktika, perspektiva)”. Vyp. 10 : mezhvuz. sb. nauch. st. / VolgGTU. – Volgograd, 2010. – № 13. – С. 148–152.

3. Limitovsky M.A. A framework for assessing investment and financial decisions / M.A. Limitovsky. – M.: “Izdatelsko-Konsaltingovaja Kompanija “DeKa”, 2004 . – 342 p.