УДК 004.75

ПРОГРАММНАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ВЫБОРА ВАРИАНТОВ НА ОСНОВЕ ПРОЕКЦИОННЫХ И БЕСПРОЕКЦИОННЫХ АЛГОРИТМОВ

К.С. Ткаченко

ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»
г. Севастополь, ул. Университетская, 33
E-mail: kstkachenko@sevsu.ru

Предлагается подход для управления дискретными системами с конечным множеством управляющих воздействий, в основе которого лежит принцип использования проекционных и беспроекционных алгоритмов. Выполнено описание решения задачи управления имитационной моделью с позиций методологии Назина-Позняка, а также рассмотрена разработанная программная система поддержки принятия решений. Приме-нение алгоритмов на основе стохастических автоматов позволяет уменьшить предельные значения средних текущих потерь.

Введение. Многие современные проблемы IT-сферы в той или иной мере сводятся к задаче управления системами. Выделяют задачи управления дискретными системами и непрерывными системами [1]. В силу особенностей цифрового управления с применением электронных вычислительных машин [1, 2], таких как ограниченная разрядная сетка, использование двоичной системы счисления, удобно некоторые из таких проблем (балансировка нагрузки, управление вычислительной мощностью) сводить в той или иной мере к задачам управления дискретными системами. У дискретных систем, вообще говоря, помимо информационных входов и выходов должно быть некоторое конечное дискретное множество входных управляющих воздействий и цифровой показатель штрафа (либо потерь). Любую такую систему можно описать с использованием методологии Назина-Позняка [1, 2]. Классическими задачами, описанными и решенными этим путем, являются управление критическими объектами производственных процессов и диспетчеризация и выполнение процессов. Современные авторы [3, 4] дополняют и расширяют это направление, решая задачи управления в режиме разделения времени и складской логистики. При этом в работе [3] предлагается стохастический автомат с переменной структурой с собственной, авторской, рандомизированной стратегией, а в [4] – алгоритм оптимизации с бинарной функцией потерь. Авторы [5] исследуют сходимость нового беспроекционного алгоритма.

Нерешенной прежде частью общей проблемы, которой посвящена настоящая работа, является рассмотрение вопросов применения разработанной программной системы поддержки принятия решений (СППР) [6] для результативного управления упрощенными моделями сред и их отдельных узлов.

Целью статьи является приведение подхода к управлению имитационными моделями с использованием разработанных программных СППР, имеющихся и новых алгоритмов стохастической оптимизации, как проекционных, так и беспроекторных.

Имитационные модели и подход по Назину-Позняку. Пусть имитационная модель соответствует некоторой дискретной системе с конечным множеством управляющих воздействий. Положим, что известно количество вариантов воздействия – N – целое положительное число, а также, к какому именно событию приведет конкретный выбор с номером i. Поскольку фактическое управление будет осуществляться с использованием рандомизированных автоматов, производится выбор T – фиксированная длительность интервала для разбиения непрерывного времени функционирования объекта управления на последовательные интервалы с номерами $n = 1, 2, \ldots$. В дальнейшем T полагается неизменным, целым положительным числом, которое не используется непосредственно в автоматном алгоритме, но только в его окружении («пользо-

ватель с часами»; получение данных с модели в конкретные моменты временного останова).

В полном соответствии с [1, 2, 6] каждому интервалу времени должен быть поставлен в соответствие вектор $x_n = (x(1), \ldots, x(N))$. Важно, что элементы этого вектора могут иметь лишь два различных значения, а именно, $x(i) = 1$, если вариант выбирается, и $x(i) = 0$, если вариант не выбирается. При соблюдении вышеописанных условий можно применять обучающиеся стохастические автоматы, причем в их основе будут лежать рекуррентные рандомизированные процедуры и соотношения.

Эти процедуры строго записываются в виде рекуррентных правил: $p_{n+1} = R_n(x_1, \ldots, x_n; p_1, \ldots, p_n; \xi_1, \ldots, \xi_n)$ (1). В формуле (1) n имеет описанный выше смысл, p_n – вектор условных вероятностей выбора вариантов $x_n = (x(1), \ldots, x(N))$ в момент времени t_n, – вектор-функция движения со значениями в симплексе S^N. Величина ξ_i есть ни что инок как текущие потери, характеристики которых будут рассмотрены позднее.

Известен метод деления отрезка, состоящий в том, что: с выхода генератора псевдослучайной последовательности с равномерным законом распределения случайных величин получается значение α_n (основа рандомизированного подхода); находится такое i (которое возможно определить всегда [1]), при котором выполняется условие $\sum_{j=1}^{i-1} p_n(j) \le \alpha_n < \sum_{j=1}^{i} p_n(j)$; получается $x_n = x(i)$.

Для дальнейшего изложения необходимо остановиться на понятии оператора проецирования (или проектирования) π_ε^N. Пусть для любого $q \in R^N$ вектор-столбец $p = \pi_\varepsilon^N\{q\}$, принадлежащий N-мерному ε-симплексу

$$S_\varepsilon^N = \left\{ p = (p_1, \ldots, p_N) \middle| p \in R^N, \sum_{i=1}^{N} p_i = 1,\ p_i \ge \varepsilon\ (i = 1, \ldots, N) \right\}$$

определяется условием $\left\| \pi_\varepsilon^N\{q\} - q \right\| = \min_{p \in S_\varepsilon^N} \| p - q \|$. Тогда вектор $\pi_\varepsilon^N\{q\}$ существует и единственен.

По критерию использования/не использования оператора проецирования, можно выделить два класса алгоритмов автоматной стохастической оптимизации, а именно, беспроекционные, с (1) вида $p_{n+1} = p_n - \gamma_n R(x_n, p_n, \xi_n)$, и проекционные,

$$p_{n+1} = \pi_{\varepsilon_{n+1}}^N \{ p_n - \gamma_n R(x_n, p_n, \xi_n) \}.$$

Функция текущих потерь принимает значение 0, если потерь нет, и ненулевое значение в противном случае. Беспроекционные алгоритмы обычно можно использовать, когда функция текущих потерь является бинарной, то есть $\xi_n \in \{0, 1\}$. В то же время, проекционные могут работать и с небинарной функцией потерь, при этом высокая сходимость гарантируется, если потери являются ограниченными.

Пусть ω – элементарный исход. Тогда $\xi_n = \xi_n(x_n, \omega)$ – случайные потери за выбор варианта x_n в момент времени t_n. Задача оптимизации по критерию минимума значений средних текущих потерь ставится как:

$$\lim_{n \to \infty} \Phi_n = \lim_{n \to \infty} \frac{1}{n} \sum_{t=1}^{n} \xi_t \to \upsilon. \qquad (2)$$

Вводятся обозначения:

$$e_i^N = \left(\underbrace{0, \ldots, 0, 1}_{i}, \underbrace{0, \ldots, 0}_{N-i} \right),$$

$$e^N = (1, \ldots, 1) \in R^N,$$

$$e(x) = \sum_{i=1}^{N} e_i^N \chi(x = x(i)),$$ если

$$X = \{ x(1), \ldots, x(N) \}.$$

Можно кратко описать ряд известных беспроекционных и проекционных алгоритмов [1, 2]:

алгоритм Нарендры-Шапиро имеет рекуррентную последовательность вида

$$p_{n+1} = p_n + \gamma_n (1-\xi_n)[e(x_n) - p_n],$$
$\gamma_n \in (0,1)$, $\xi_n \in \{0,1\}$;

алгоритм Льюса –

$$p_{n+1} = p_n + \gamma p_n^T e(x_n)[e(x_n) - p_n] \times$$
$$\times \left[\frac{1-\xi_n}{a + (1-a) p_n^T e(x_n)} - \frac{\xi_n}{1-(1-a) p_n^T e(x_n)} \right]$$
, $\gamma \in (0,1)$, $\xi_n \in \{0,1\}$, $a_n \in (0,1]$;

алгоритм Варшавского-Воронцовой –

$$p_{n+1} = p_n + \gamma p_n^T e(x_n)[e(x_n) - p_n](1-2\xi_n)$$
, $\gamma \in (0,1)$, $\xi_n \in \{0,1\}$;

алгоритм Буша-Мостеллера –

$$p_{n+1} = p_n + \gamma_n \left(e(x_n) - p_n + \frac{e^N - Ne(x_n)}{N-1} \xi_n \right)$$
, $\gamma_n \in (0,1)$, $\xi_n \in \{0,1\}$;

проекционный алгоритм стохастической аппроксимации Назина-Позняка –

$$p_{n+1} = \pi^N_{\varepsilon_{n+1}} \left\{ p_n - \gamma_n \frac{\xi_n - \Delta}{e^T(x_n) p_n} e(x_n) \right\},$$
$\gamma_n \geq 0$, $\varepsilon_n \in \left(0, 1/N\right)$.

Имеются [7] имитационные модели, пригодные для функционирования с этим подходом. Имитационные модели разрабатываются с учетом выполнения ряда требований: 1. Имитационная модель имеет возможность останова через *T* единиц времени. 2. Информационная модель имеет *N* управляющих воздействий, влияющих на наиболее важные системные характеристики. Имитационная модель позволяет достаточно эффективно информировать не только о внутреннем состоянии, но и о важнейших системных характеристиках, которые используются при расчете ξ_n, либо ξ_n непосредственно. В наиболее простом случае, имитационная модель реализует систему массового обслуживания *G1/G/1*.

Программная система поддержки принятия решений. При проектировании программной СППР необходимо, чтобы предлагаемые рекомендации носили характер улучшающих вмешательств. Другими словами, СППР должна выбирать вариант x_n в момент времени t_n таким образом, чтобы характер Φ_n при $n \to \infty$ не ухудшался. Одним из подходящих для этого способов для разработки и исследования этой программной системы является использование принципов системного анализа [8].

При этом основополагающим является принцип абсолютного приоритета достижения конечной цели при проектировании. В данном конкретном случае необходимо построить СППР для адаптивного принятия решений при априорной неопределенности входных данных. Система имеет возможность получать для каждого шага выполнения адаптивных алгоритмов значения функции текущих потерь как от имитационной модели, так и от внешнего источника, после чего, выполняя расчеты, сообщать результирующий вариант для выбора управления.

В соответствии с принципом функциональности, функции F_{SPPR} и структуры системы рассматриваются с приоритетом функции. Такими являются: реализация одного шага алгоритмов стохастической аппроксимации F_{Step}, получение входных и сгенерированных предполагаемых бинарных и небинарных потерь F_ξ, выполнение оптимизации для заданного числа шагов и заданных параметров алгоритмов F_{Opt}, расчет описательных статистик F_{Stat} и некоторые другие вспомогательные F_M.

Для осуществления принципа единства, СППР рассматривается как единое целое с выделением отдельных функциональных элементов реализации, то есть $F_{SPPR} = \{F_{Step}, F_\xi, F_{Opt}, F_{Stat}, F_M\}$.

Выделяются подсистемы для исполнения принципа декомпозиции, а именно, подсистема реализации одного шага алгоритмов аппроксимации S_{Step}, получения входных и сгенерированных данных S_ξ, выполнение оптимизации для

поставленной пользователем задачи S_{Opt}, расчета описательных статистик S_{Stat}, служебные S_M, обеспечивающие общее функционирование системы.

Все выделенные подсистемы не являются изолированными – они функционально связаны в S_{SPPR}, за счет этого их программная реализация существенно упрощается,

$$S_{SPPR} = \{S_{Step}, S_{\xi}, S_{Opt}, S_{Stat}, S_M\}.$$

Вследствие исполнения принципа модульности, каждой подсистеме соответствует один и только один модуль, не происходит функционально-кодового дублирования, что покрывает резервируемость и открытость системы, $S_i \to M_i$, $i \in \{Step, \xi, Opt, Stat, M\}$.

Иерархия для воплощения одноименно-соответствующего схемотехнического принципа является слабо централизованной, что позволяет неограниченно наращивать функциональную мощность СППР для реализации новых шагов алгоритмов и их последовательности.

В системе широко и явно используются свойства самообучения, но самоорганизация не поддерживается. Для учета изменчивости и развития по жизненному циклу могут быть добавлены новые подсистемы в виде программных модулей.

Как было указано выше, соотношение централизации и децентрализации рационализовано путем наличия слабо централизованной иерархии.

Разработка СППР, основанная на применении моделей из теории массового обслуживания и теории вероятностей, позволяет во многих случаях неизвестных внешних воздействий, вероятных отказов и сбоев получать гарантированный результат.

Данный программный комплекс целеориентирован, внутренне непротиворечив и функционально полон.

Заключение. В данной работе предложен подход к построению имитационных моделей систем при использовании описания по методологии Назина-Позняка. Разработано универсальное программное СППР. Перспективой дальнейших исследований является совершенствование подхода по использованию как имитационных, так и аналитических моделей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Назин А.В., Позняк А.С.* Адаптивный выбор вариантов: Рекуррентные алгоритмы. – М.: Наука, 1986. – 288 с.
2. *Назин А.В.* О повышении эффективности автоматных алгоритмов адаптивного выбора вариантов // Адаптация и обучение в системах управления и принятия решений. – Новосибирск, 1982. – С. 40–46.
3. *Воронин Д.Ю.* Обеспечение высокой терминальной готовности на основе информационных технологий распределения ресурсов // Вестник СевНТУ: сб. науч. тр. Серия: Информатика, электроника, связь. – Севастополь, 2011. – Вып. 114/2011. – С. 100–105.
4. *Скаткова Н.А.* Гарантоспособные технологии реконфигурации автоматизированных транспортно-производственных систем // Радиоэлектронные и компьютерные системы. – Харьков, 2008. – Вып. 6. – С. 52–57.
5. *Большаков А.В., Кузенков О.А., Зорин В.А.* Метод адаптации для задач с безусловной минимизацией средних потерь // Математическое моделирование и оптимальное управление. Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского, 2007. – № 6. – С. 147–152.
6. *Ткаченко К.С.* Программная система адаптивного принятия решений при априорной неопределенности входных данных // Вестник СевНТУ: сб. науч. тр. Серия: Информатика, электроника, связь. – Севастополь, 2012. – Вып. 131. – С. 78–81.
7. *Ткаченко К.С.* Адаптивное управление распределенной средой на базе имитационной модели GRID-системы // Вестник СевНТУ: сб. науч. тр. Серия: Автоматизация процессов и управление. – Севастополь, 2012. – Вып. 125. – С. 103–106.
8. *Тарасенко Ф.П.* Прикладной системный анализ: учебное пособие. – М.: КНОРУС, 2010. – 224 с.