

4. Gong G., Lam C. C. Y. Linear Recursive Sequences over Elliptic Curves. 2001. <http://citeseer.ist.psu.edu/449444.html>
5. Кулаков И. А. Стохастические системы и их применение в криптографии. Дихотомические последовательности и генераторы. — Материалы 8-й конференции «РусКрипто'2006».
6. Введение в криптографию / Под общ. ред. В. В. Ященко. М.: МЦНМО, 2000.
7. Атаманюк И. П. Линейный стохастический алгоритм шифрования, базирующийся на каноническом разложении случайной последовательности // Правове, нормативне та метрологічне забезпечення системи захисту інформації в Україні. Випуск 2 (15). — 2007. — С. 63–67.
8. Пугачев В. С. Теория случайных функций и ее применение. — М.: Физматгиз, 1962. — 720 с.

УДК 681.322

ОБ ОДНОМ ПОДХОДЕ К ОЦЕНКЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ОБУЧАЮЩИХ СИСТЕМ

В статье рассматривается круг вопросов, связанных с оценкой эффективности автоматизированных обучающих систем на основе применения методов имитационного моделирования. В качестве последних используются раскрашенные сети Петри и цепи Маркова

А. Д. Тевяшев

доктор технических наук, профессор, академик УНГА
заведующий кафедрой ПМ*

Контактный тел.: (057) 702-14-36. **E-mail:** tevyashev@kture.kharkov.ua

В. Ф. Ткаченко

кандидат технических наук, профессор
заведующий кафедрой ИКГ*

Контактный тел.: (057) 702-13-78. **E-mail:** tvicg@gisnet.kharkov.ua

А. П. Выродов

кандидат технических наук, доцент кафедры ПО ЭВМ*

Контактный тел.: (057) 7021-446. **E-mail:** vyrodoov@kture.kharkov.ua

Д. Б. Костарев

соискатель кафедры ИКГ*

Контактный тел.: (057) 7021-446. **E-mail:** Dmitriy.Kostaryev@heidelberg.com

*Харьковский национальный университет радиоэлектроники
пр. Ленина 14, г. Харьков, Украина, 61166

1. Введение

Повсеместное широкое внедрение технологий дистанционного обучения требует разработки принципиально новых автоматизированных обучающих систем (АОС), управляющих учебной деятельностью обучаемых. Поэтому особую актуальность приобретают вопросы оценки эффективности АОС для дистанционного обучения [1, 2].

Традиционный подход к оценке эффективности автоматизированных обучающих систем предполагает привлечение группы обучаемых как можно большего размера с последующей фиксацией параметров ее учебной деятельности. Собранные таким образом данные подвергаются анализу с помощью определенных статистических методов, по результату которого делают вывод об эффективности созданной АОС. Данный подход не всегда пред-

ставляется возможным реализовать на практике, к тому же он является слишком трудоемким [2–4].

В данной работе для оценки эффективности АОС предлагается использовать методологию раскрашенных сетей Петри (РСП) и цепей Маркова (ЦМ). Особенность РСП состоит в том, что она позволяет исследовать работу АОС в ее динамике. На сегодняшний день РСП-модели используются в универсальных системах моделирования (ARJS, IDEF и др.) Более того, для использования методологии РСП разработан специальный язык моделирования — Coloured Petri Net Modeling Language и инструментальные среды разработки [5, 6].

К другим достоинствам методологии РСП следует отнести высокий уровень проработки ее математического аппарата, который позволяет проводить аналитические и имитационные исследования. Это делает данную ме-

тодологию пригодной для оценки эффективности АОС. Еще одним достоинством рассматриваемой методологии является ее наглядность [5].

РСП-модель представляет собой двудольный ориентированный мультиграф, содержащий узлы двух видов — позиции и переходы. Для срабатывания перехода необходимо наличие в позиции определенного ресурса — фишки. Разные цвета фишек соответствуют разным видам ресурсов. События моделируются переходами. Когда в системе происходит событие, изменяются условия переходов, что в свою очередь может повлечь за собой наступление новых событий. Причинно-следственные связи моделируются дугами [5, 6].

2. Оценка эффективности АОС с помощью РСП-модели

Для оценки эффективности АОС необходимо сначала построить модель учебного процесса, осуществляемого с ее помощью. Последний моделируется в РСП посредством временной последовательности условий и событий. Процесс обучения пользователя под управлением АОС состоит в выполнении следующей последовательности действий. Из контента АОС извлекается очередной фрагмент, который предлагается освоить обучаемому. После того, как обучаемый окончил изучения данного фрагмента, АОС производит тестирование его знаний. Из специальной базы тестовых заданий выбирается их совокупность, которая касается рассмотренного фрагмента и предъявляется обучаемому. Ответы обучаемого анализируются подсистемой оценивания АОС, которая принимает решение в зависимости от их типа:

- правильные ответы — данный фрагмент считается освоенным обучаемым и АОС предлагает ему следующий фрагмент своего контента;
- неточные ответы — АОС выдает обучаемому фрагмент специально подготовленного дополнительного материала контента, содержащий необходимые уточнения и разъяснения, после чего ему предлагается выполнить тестовые задания, связанные с освоенным дополнительным материалом;
- неправильные ответы — АОС снова выдает обучаемому данный фрагмент для его повторного освоения.

Применение методологии РСП к моделированию описанного процесса позволяет проследить последовательность освоения фрагментов контента АОС, количество попыток прохождения тестов и повторов. Кроме того, данная методология позволяет определить время, затраченное на выполнение указанных учебных операций в АОС, что создает предпосылки для оценки эффективности самой обучающей системы.

Для применения методологии РСП необходимо ввести ресурсы, которые будут моделировать различные составляющие дидактической системы. В качестве таких ресурсов могут выступать идентификаторы учебных фрагментов контента АОС, модулей АОС, тестовых заданий, а также рейтинг обучаемого и время выполнения им описанных учебных операций.

Посредством специализированных инструментальных средств поддержки имитационного моделирования с помощью РСП, которые уже упоминались выше, возможно многократное проведение экспериментов с построенной РСП-моделью АОС при различных значениях введен-

ных ресурсов. Например, для выявления состояния АОС, в котором все фрагменты ее контента заблокированы для обучаемого, возможно построение дерева маркировок. Кроме того, анализ указанного дерева также позволяет выявить такое состояние АОС как «зацикливание», когда обучаемому для освоения постоянно предлагается один и тот же фрагмент контента АОС.

Автоматизированный анализ дерева маркировок позволяет значительно облегчить труд разработчика АОС, поскольку его ручной анализ является чрезвычайно трудоемким. Также анализ дерева маркировок РСП-модели АОС позволяет определить достижимость ее определенного состояния и определить оптимальную последовательность событий для ее приведения к этому состоянию. Более того, эксперименты с РСП-моделью АОС позволяют оценить сбалансированность ресурсов в системе.

Определенным неудобством использования РСП-модели для оценки эффективности АОС является то, что динамические параметры процесса можно оценивать только посредством имитационного моделирования. Указанный недостаток может быть устранен посредством использования вероятностной модели освоения обучаемым контента АОС. Данную модель можно представить графически в виде ЦМ [7, 8].

3. Оценка эффективности АОС с помощью ЦМ-модели

Исходная информация для предлагаемой методики оценки эффективности АОС с помощью ЦМ-модели включает:

- а) список узлов (шагов процесса обучения);
- б) граф связей между узлами;
- в) матрицу вероятностей переходов;
- г) оценку средней трудоемкости каждого шага.

Список шагов учебного процесса, средние трудоемкости их выполнения в академических часах, а также связи между ними определяются разработчиками АОС в соответствии с рабочей программой учебной дисциплины. Необходимо отметить, что указанные параметры зависят от требуемой степени детализации ЦМ-модели.

Матрица вероятностей переходов между узлами может первоначально задаваться экспертами в данной предметной области (например, преподавателями, которые читают данную учебную дисциплину). При этом необходимо также учитывать специфику конкретной группы обучающихся. В процессе дальнейшей эксплуатации данной АОС производится корректировка указанных вероятностей, а также оценок трудоемкости отдельных шагов в соответствии с имеющейся обратной связью. Для накопления соответствующей статистической базы целесообразным представляется включение в АОС средств ведения протокола работы обучаемого. Это позволит упростить корректировку параметров ЦМ-модели учебного процесса для получения более адекватной оценки эффективности АОС.

Рассмотрим выполнение оценки эффективности АОС с помощью ЦМ-модели на следующем примере. На рис. 1 приведена ЦМ-модель реализации учебного процесса с помощью АОС, содержащая 8 узлов. Узлы модели соответствуют следующим шагам учебного процесса:

- u₁ — изучение первого фрагмента контента АОС;
- u₂, u₃ — тестирование освоения обучаемым первого фрагмента АОС;

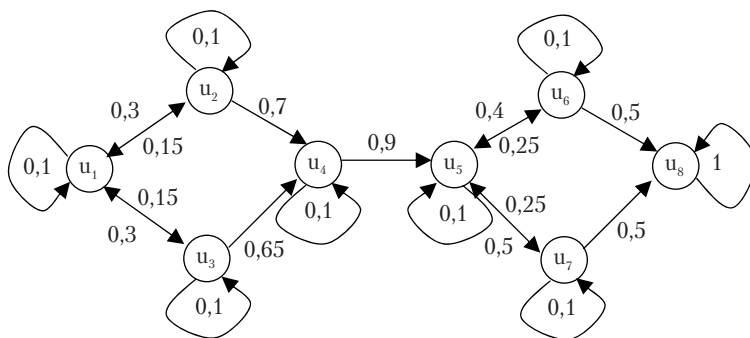


Рисунок 1. ЦМ-модель проведения учебного процесса с помощью АОС

u_4 — изучение второго фрагмента контента АОС;

u_5 — изучение третьего фрагмента контента АОС;

u_6, u_7 — тестирование освоения обучаемым третьего фрагмента АОС;

u_8 — завершение работы обучаемого с АОС.

Исходные оценки трудоемкостей указанных шагов в академических часах заданы следующим вектором $T = \{0,8; 0,3; 0,3; 0,7; 0,65; 0,25; 0,3\}$, а начальное распределение вероятностей — вектором $P_0 = \{1; 0; 0; 0; 0; 0; 0; 0\}$.

Матрица вероятностей переходов имеет вид:

$$P = \begin{pmatrix} 0,1 & 0,15 & 0,15 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0,3 & 0,1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0,3 & 0 & 0,1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0,7 & 0,65 & 0,1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0,9 & 0,1 & 0,25 & 0,25 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0,4 & 0,1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0,5 & 0 & 0,1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0,5 & 0,5 & 1 \end{pmatrix}. \quad (1)$$

Преобразуем данную матрицу по следующей формуле:

$$P^* = (I - R)^{-1}, \quad (2)$$

где I — единичная матрица, R — матрица, полученная из матрицы (1) посредством исключения последней строки и столбца, так как это состояние не влияет на эффективность работы АОС.

$$P^* = \begin{pmatrix} 1,25 & 0,4167 & 0,4167 & 0,625 & 0,8654 & 0,3846 & 0,4808 \\ 0,2083 & 1,1806 & 0,0694 & 0,9684 & 1,3408 & 0,5959 & 0,7449 \\ 0,2083 & 0,0694 & 1,1806 & 0,9066 & 1,2553 & 0,5579 & 0,6974 \\ 0 & 0 & 0 & 1,1111 & 1,5385 & 0,6838 & 0,8547 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1,5385 & 0,6838 & 0,8547 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0,4274 & 1,301 & 0,2374 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0,4274 & 0,1899 & 1,3485 \end{pmatrix}. \quad (3)$$

Полученная матрица P^* имеет следующий вид:

Среднюю трудоемкость процесса обучения с помощью АОС определим по следующей формуле:

$$\Lambda = \sum_{j=1}^n P_{1j}^* \cdot t_j, \quad (4)$$

где t_j — трудоемкость изучения j -го фрагмента материала в академических часах.

$$\Lambda = 1,25 \cdot 0,8 + (0,4167 \cdot 0,3) \cdot 2 + 0,625 \cdot 0,7 + 0,8654 \cdot 0,65 + 0,3846 \cdot 0,25 + 0,4808 \cdot 0,3 = 2,49 \text{ часа}. \quad (5)$$

Таким образом, в среднем на обучение студентов указанным фрагментам предметной области с помощью АОС придется потратить 2,49 академического часа. Проведенные эксперименты на потоке студентов специальности Программное обеспечение автоматизированных систем факультета Компьютерных наук Харьковского национального университета радиоэлектроники (125 человек) показали, что без использования АОС на изучение данного материала студенты в среднем затрачивают 5,03 академического часа. Следовательно, применение АОС в учебном процессе позволяет снизить затраты времени на обучение в среднем в 2 раза.

Описанная методика позволяет подобрать дидактически правильную структуру АОС и, следовательно, будет полезна ее разработчикам. Действительно, проводя эксперименты с различными вариантами структуры АОС, моделируемыми РСП или ЦМ, можно выбрать такой ее вариант, который обеспечит достижение финального состояния процесса обучения с заданной вероятностью при наименьших временных затратах.

Выводы

Для оценки эффективности АОС предлагается строить модели на основе раскрашенных сетей Петри и цепей Маркова. Из оцененных таким образом АОС следует выбирать те, которые обеспечивают наибольшую вероятность перехода в заключительное состояние АОС при наименьшей суммарной трудоемкости шагов обучения. Данные модели позволяют не только получать оценку эффективности АОС, но также и проводить исследование особенностей учебного процесса при различных значениях его параметров.

Литература

1. Горбаченко И. М. Методы моделирования процесса обучения и разработка интерактивных обучающих курсов // Автореф. дисс. канд. тех. наук. — Красноярск: СибГТУ. — 2001. — 22 с.
2. Доррер Г. А. Вероятностная модель процесса интерактивного обучения / Г. А. Доррер, Г. М. Рудакова // Открытое образование, — № 2. — 2001.
3. Доррер Г. А. Определение оптимальной структуры интерактивного курса / Г. А. Доррер, Г. М. Рудакова, И. М. Горбаченко // Труды конференции «Информационные технологии в науке, образовании, телекоммуникации и бизнесе (осенняя сессия)». — Ялта — Гурзуф. — 2001. — С. 62–65.
4. Доррер Г. А. Моделирование вычислительных систем: Учебное пособие. — Красноярск: КГТУ. — 2004. — 188 с.

5. Котов В. Е. Сети Петри. — М.: Наука. — 1984. — 158 с.
6. Jensen K. Colored Petri Nets: Basic Concepts, Analysis Methods and Practical Use. — Berlin: Springer. — Vol. 1 — 1996, Vol. 2 — 1997, Vol. 3 — 1997.
7. Кемени Дж. Конечные цепи Маркова / Дж. Кемени. — М.: Наука. — 1970. — 450 с.
8. Вентцель А. Д. Предельные теоремы о больших отклонениях для марковских случайных процессов. — М.: Наука. — 1986. — 175 с.

Предложен итерационный алгоритм на основе методов локальной оптимизации, отмечены основные его особенности. Разработан канальный алгоритм HV(HVN)-трассировки (приведены оценки вычислительной сложности алгоритмов), алгоритм трассировки многослойного канала, алгоритм трассировки однослойного четырехстороннего канала

УДК 658.5

РАЗРАБОТКА ИТЕРАЦИОННЫХ АЛГОРИТМОВ КАНАЛЬНОЙ ТРАССИРОВКИ

В. Г. Иванов

соискатель кафедры БМЭ

Харьковского национального университета радиоэлектроники

пр. Ленина 14, г. Харьков, Украина, 61166

Контактный тел.: (057) 702-13-64

Введение

Альтернативой традиционному подходу решения задачи канальной трассировки, использующему эвристические алгоритмы выступает оптимизационная канальная трассировка. Опыт решения оптимизационных задач, обладающих NP-полнотой, показывает, что в большинстве случаев решение, полученное приближенными алгоритмами, удовлетворяет запросам практики, а соответствующие затраты машинного времени вполне приемлемы [1–3].

Представленная в работе схема построения итерационных алгоритмов КТ использует идеи методов локальной оптимизации. Процесс оптимизации начинается с получения исходного приближения, принадлежащего области допустимых значений. Сложность выбора такого решения определяется наличием жесткой системы ограничений задачи КТ. Внесение множества ограничений задачи КТ в функцию цели в качестве штрафных функций позволяет выбирать начальное решение за пределами области допустимых значений. После преобразования критерия:

$$F'(\omega) = \Phi(\omega) + P^0(\omega), \quad (1)$$

$$F(\omega) = \begin{cases} 0, & \text{если } \omega \in G, \\ \sum_{i=1}^m \lambda_i (g_i(\omega) - c_i), & \text{если } \omega \notin G, \end{cases} \quad (2)$$

где $\lambda_i \approx 1$ — штрафные коэффициенты.

Конечной целью оптимизации становится получение минимального решения, принадлежащего области допустимых значений $\omega \in G$. Переход к задачам безусловной

оптимизации позволяет расширить число используемых оптимизационных алгоритмов и повысить их эффективность. Кроме того, использование аппарата штрафных функций позволяет сравнивать варианты решений, не удовлетворяющих ряду или всем ограничениям. Оптимизационная задача с учетом преобразования функции цели (1)–(2) запишется в виде:

$$\omega^* = \arg \min_{\omega \in \Omega} F'(\omega), \quad (3)$$

$$\Omega = \Omega_1 \times \Omega_2 \times \dots \times \Omega_N. \quad (4)$$

Постановка задачи КТ (3)–(4) не позволяет описать процесс получения начального решения, а также частичных решений, в которых некоторые или все цепи не назначены на магистрали канала. Для достижения такой возможности в каждое из множеств Ω_j , ($j = \overline{1, N}$) вводится по одному элементу ω_j^0 , соответствующему неназначению цепи на магистрали канала. Вследствие этого, необходимо ввести дополнительные ограничения, соответствующие неполному решению

$$|\omega_j - \omega_j^0| > 0, \quad j = \overline{1, N}, \quad (5)$$

и доопределить критерий соответствующей функцией штрафов

$$F(\omega) = F'(\omega) + \sum_{j=1}^N \lambda_j^0 \cdot \sigma(\omega_j, \omega_j^0). \quad (6)$$

После этих преобразований, в качестве начального решения может быть выбран вектор $\omega^0 = (\omega_1^0, \omega_2^0, \dots, \omega_N^0)$, который соответствует неназначению всех цепей $j = \overline{1, N}$. Рациональное решение задачи, сформулированной в (3)–(4)