

УДК 004.02

Профессор А.А. Мицель

(Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники)

аспирант Н.В. Черняева

(Юргинский технологический институт НИ Томский Политехнический Университет).

тел: 8 (923) 520-27-34

E-mail: nina.turalina@yandex.ru

Professor Mitsel

(Tomsk state university of control systems and radioelectronics)

graduate N.V. Cherniaeva

(Yurga technological institute of NR Tomsk Polytechnic University)

phone: 8 (923) 520-27-34

E-mail: nina.turalina@yandex.ru

Динамическая модель управления индивидуальной траекторией обучения студента

The dynamic model for control of student's learning individual trajectory

Реферат. В связи с переходом системы образования на компетентностно-ориентированный подход актуальной является проблема оценивания результатов обучения, а также построения индивидуальной траектории обучения студента, решение которых требует применения современных информационных технологий. В соответствии с федеральными государственными стандартами высшего профессионального образования (ФГОС ВПО) третьего поколения, определяющими требования к результатам освоения основных образовательных программ (ООП), до 50% дисциплин имеет вариативный характер, т.е. зависят от выбора студента. Это значительно отражается на результатах формирования различных компетенций. Проанализировано общее состояние проблемы формирования траектории обучения студентов и в частности выбора индивидуальной ее направленности. Рассмотрены различные методы, модели и алгоритмы формирования индивидуальной траектории обучения студента. Анализ модели организации образовательного процесса в контексте формирования индивидуального подхода позволяет разработать систему поддержки принятия решений (СППР). Под СППР понимают комплекс взаимосвязанных программ и данных, используемых для анализа ситуации, формулирования альтернативных решений и выбора из них наиболее приемлемых. СППР часто используются при построении индивидуальной траектории обучения, т.к. эту задачу можно отнести к дискретной многокритериальной задаче, создающей значительную нагрузку на лицо, принимающее решение. Разработан новый метод управления траекторией обучения. В статье рассматривается постановка и решение задачи нахождения оптимальной индивидуальной образовательной траектории студента в виде динамической модели управления траекторией обучения, использующей балльные оценки по дисциплинам для формирования последовательности изучаемых дисциплин. Новая модель управления траекторией обучения основана на динамической модели слежения за эталонной траекторией. Задача может быть преобразована к эквивалентной модели линейного программирования, для которой разработаны надежные методы решения. Для решения задач большой размерности можно воспользоваться методом управления с прогнозирующей моделью.

Summary. In connection with the transition of the educational system to a competence-oriented approach, the problem of learning outcomes assessment and creating an individual learning trajectory of a student has become relevant. Its solution requires the application of modern information technologies. The third generation of Federal state educational standards of higher professional education (FSSES HPE) defines the requirements for the results of mastering the basic educational programs (BEP). According to FSSES HPE up to 50% of subjects have a variable character, i.e. depend on the choice of a student. It significantly influences on the results of developing various competencies. The problem of forming student's learning trajectory is analyzed in general and the choice of an individual direction was studied in details. Various methods, models and algorithms of the student's individual learning trajectory formation were described. The analysis of the model of educational process organization in terms of individual approach makes it possible to develop a decision support system (DSS). DSS is a set of interrelated programs and data used for analysis of situation, development of alternative solutions and selection of the most acceptable alternative. DSSs are often used when building individual learning path, because this task can be considered as a discrete multi-criteria problem, creating a significant burden on the decision maker. A new method of controlling the learning trajectory has been developed. The article discusses problem statement and solution of determining student's optimal individual educational trajectory as a dynamic model of learning trajectory control, which uses score assessment to construct a sequence of studied subjects. A new model of management learning trajectory is based on dynamic models for tracking the reference trajectory. The task can be converted to an equivalent model of linear programming, for which a reliable solution methods are developed. To solve large-scale problems, you can use the control method with the predictable model.

Ключевые слова: оценка компетенций, динамическая модель, информационные технологии, анализ, обучение

Keywords: assessment, dynamic model, information technology, analysis, training

© Мицель А.А., Черняева Н.В., 2015

В связи с переходом системы образования на компетентностно-ориентированный подход актуальной является проблема оценивания результатов обучения, а так же построения индивидуальной траектории обучения студента, решение которых требует применения современных информационных технологий. В соответствии с федеральными государственными стандартами высшего профессионального образования (ФГОС ВПО) третьего поколения, определяющими требования к результатам освоения основных образовательных программ (ООП), до 50 % дисциплин имеет вариативный характер, т.е. зависят от выбора студента. Это значительно отражается на результатах формирования различных компетенций.

В статье рассматриваются модели, методы и алгоритмы нахождения оптимальной индивидуальной образовательной траектории студента. Разработан новый метод управления траекторией обучения в виде динамической модели, использующей балльные оценки по дисциплинам для формирования последовательности изучаемых дисциплин.

Рассмотрим подходы к решению проблемы формирования и выбора индивидуальной траектории обучения студента. Одним из примеров разработки информационных технологий для решения задач оценки компетентности студента является работа Г.И. Алгазина и О.В. Чудовой, в основе которой лежит гибридная экспертная система с учетом различных типов измерительных шкал [1]. Для структурирования информации использовался иерархический подход.

Анализ модели организации образовательного процесса в контексте формирования индивидуального подхода позволяет разработать систему поддержки принятия решений (СППР). Под СППР понимают комплекс взаимосвязанных программ и данных, используемых для анализа ситуации, формулирования альтернативных решений и выбора из них наиболее приемлемых. Пример такой СППР предложен в работе И.В. Добросоцкой и Л.Н. Крахт [2]. СППР часто используются при построении индивидуальной траектории обучения, т.к. эту задачу можно отнести к дискретной многокритериальной задаче, создающей значительную нагрузку на лицо, принимающее решение. СППР часто используются при построении индивидуальной траектории обучения, т.к. эту задачу можно отнести к дискретной многокритериальной задаче, создающей значительную нагрузку на лицо, принимающее решение. В статье [3] рас-

смотрены и проанализированы три способа представления данных в СППР, используя объективные и субъективные показатели.

На основе экспертных оценок построена так же модель управления индивидуальной траекторией обучения студентов, предложенная авторами: А.В. Ткаченко, А.И. Ткаченко и В.В. Серебровский [4, 5]. В основе алгоритма управления обучением лежит оценка вероятности правильного применения на k -шаге обучения операции u , соответствующей состоянию обученности студента, с помощью формулы Байеса.

Алгоритм Байеса довольно часто применяется при обработке и анализе данных. В работе [6] данный метод применяется для классификации текстовой информации, снижая неопределенность и неоднозначность естественного языка.

Анализ научных работ по проблеме нашего исследования дал нам основания для разработки собственной динамической модели формирования индивидуальной траектории обучения студента при ограничениях.

Произведем постановку задачи. Обозначим через N_t , $t = 1, \dots, T$ количество дисциплин, которые осваивает студент за семестр t . Здесь T – срок обучения (количество семестров).

Результатом освоения дисциплин является приобретение множества компетенций. В отличие от работы [1] структуру модели компетентности выпускника представим в виде трех уровней, так как это прописано в ФГОС-3:

- первый уровень — компетентность;
- второй уровень — общекультурные и профессиональные компетенции;
- третий уровень — частные компетенции.

Компетентность студента можно оценить на основании множества оценок, полученных

студентом в процессе изучения
$$N = \sum_{t=1}^T N_t$$

дисциплин выбранной специальности.

Обозначим оценки по дисциплинам как $V_j(t)$, $j = 1, \dots, N_t$, где N_t – количество дисциплин, которые необходимо изучить в семестре t в соответствии с учебным планом.

Переменные V_j можно оценивать в баллах, например по 100-балльной шкале. При этом традиционная оценка, выставляемая в экзаменационную ведомость, в каждом конкретном вузе определяется по собственной шкале. Например, в НИ ТПУ (г. Томск) перевод баллов в традиционные оценки осуществляется в соответствии с таблицей 1.

Т а б л и ц а 1

Перевод баллов в оценки НИ ТПУ

Оценка		
Отлично	A ⁺	96 – 100 баллов
	A	90 – 95 баллов
Хорошо	B ⁺	80 – 89 баллов
	B	70 – 79 баллов
Удовлетворительно	C ⁺	65 – 69 баллов
	C	55 – 64 баллов
Зачтено	D	больше или равно 55 баллов
Неуд. / незачет	F	менее 55 баллов

Интегральная оценка студента $V(t)$ в момент времени t равна $V(t) = \sum_{j=1}^{N_j} w_j V_j(t)$, $t=1, \dots, T$, где w_j – веса значимости дисциплины.

Динамику успеваемости студента в дискретном времени будем описывать уравнением:

$$V_j(t+1) = (1 + \mu_j(t) + \eta_j(t)) (V_j(t) + u_j(t)), \quad (1)$$

$$j=1, \dots, N_j.$$

Здесь $\mu_j(t)$ – среднее значение трудоемкости усвоения j -й дисциплины; $\eta_j(t)$ – случайная составляющая (отклонение) трудоемкости усвоения j -й дисциплины с параметрами:

$$M(\eta_i(t)) = 0, \quad M(\eta_i(t)\eta_k(t)) = \Sigma_{ik}(t),$$

$$i, k = 1, \dots, n$$

где $\Sigma_{ik}(t)$ – матрица ковариации трудоемкостей освоения дисциплин. Величины $\mu_j(t)$ определяются на основе исторических данных по семестровой аттестации. $u_j(t)$ – баллы, полученные в течение семестра по данной дисциплине ($u_j(t) > 0$), либо штрафные баллы ($u_j(t) < 0$).

Трудоемкость усвоения j -й дисциплины k -м студентом $\rho_{jk}(t)$ в рассматриваемом семестре в году t определим как $\rho_{jk}(t) = \frac{1}{V_{jk}(t)}$,

где $V_{jk}(t)$ – итоговая балльная оценка по дисциплине в семестре t . Тогда среднее значение μ_j и матрицу ковариации Σ_{ij} вычисляем по формулам:

$$\mu_j = \frac{1}{T \cdot N_g(t)} \sum_{k=1}^{N_g(t)} \sum_{t=1}^T \frac{1}{V_{jk}(t)},$$

$$\Sigma_{ij} = \frac{1}{T \cdot N_g(t) - 1} \sum_{k=1}^{N_g(t)} \sum_{t=1}^T (\rho_{ik}(t) - \mu_i)(\rho_{jk}(t) - \mu_j)$$

Здесь T – исторический горизонт (количество лет); t – номер года; $N_g(t)$ – количество студентов в группе в году t .

Введем «эталонную» интегральную балльную оценку $V^0(t)$ и запишем уравнение эталонного студента следующим образом:

$$V^0(t+1) = [1 + \mu_0(t)] V^0(t), \quad (2)$$

где $\mu_0(t)$ – заданная трудоемкость эталонного студента (задается экспертным путем).

Начальное условие $V^0(0) = V(0) = 0$, т.е. в начальный момент времени балльная оценка эталонного студента, также как и балльная оценка реального студента равна нулю.

Задача управления траекторией обучения студента заключается в подборе дисциплин и заданий на основании оценок результатов усвоения учебной программы таким образом, чтобы сформированная траектория обучения следовала эталонной на горизонте управления T , где T – промежуток времени, за который студент осваивает программу специальности.

Введем вектор $y(t) = (V_1, \dots, V_N)^T$ и вектор $z(t) = (y(t), V^0(t))^T$. Тогда уравнения (1), (2) можно переписать в виде:

$$z(t+1) = A(t)z(t) + B(t)u(t), \quad (3)$$

где $A(t) = \bar{A}(t) + A(t)$; $\bar{A}(t)$, $A(t)$ – диагональные матрицы размерности $(N+1) \times (N+1)$ с элементами:

$$A(t) = \text{diag}((1 + \mu_1(t))d_{1t}, \dots, (1 + \mu_N(t))d_{Nt}; 1 + \mu_0(t));$$

$$\bar{A}(t) = \text{diag}(\eta_1(t)d_{1t}, \dots, \eta_N(t)d_{Nt}; 0).$$

$d_{jt} = 1$ или 0 в зависимости от наличия дисциплины j в семестре t .

Матрица $B(t)$ размерности $(N+1) \times N$ имеет следующую структуру:

$$B(t) = \begin{pmatrix} A_{11}(t) & 0 & \dots & 0 \\ 0 & A_{22}(t) & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & A_{NN}(t) \\ 0 & 0 & \dots & 0 \end{pmatrix}.$$

В качестве целевой функции выберем линейный функционал:

$$J = M \left\{ \sum_{t=1}^{T-1} (V(t) - V^0(t)) + \sum_{t=0}^{T-1} b^T(t) \cdot u(t) + (V(T) - V^0(T)) \right\} \rightarrow \min_{u(t)},$$

$$\text{где } b(t) = (\mu_1(t)d_{1t}, \dots, \mu_N(t)d_{Nt})^T.$$

Используя $z(t)$, перепишем $(V(t) - V^0(t))$ в форме $(V(t) - V^0(t)) = Cz(t)$, где $C = (1, 1, \dots, 1, -1) \in R^{N+1}$. Критерий качества J примет вид:

$$J = M \left\{ \sum_{t=1}^{T-1} Cz(t) + \sum_{t=0}^{T-1} b^T(t) \cdot u(t) + Cz(T) \right\} \rightarrow \min_{u(t)} \quad (4)$$

Итак, имеем задачу оптимального управления, в которой уравнение состояния описывается многошаговым процессом (3), а функционал качества – выражением (4). Управление задается вектором $u(t)$. Задача решается при ограничении $V(t) \geq V^0(t)$ или $C \cdot z(t) \geq 0$.

Опишем ограничения задачи.

Ограничение, связанное с запретом штрафных баллов, имеет вид:

$$u(t) \geq 0, \quad t = 0, \dots, T-1.$$

Введем ограничения на балльные оценки дисциплин, определяемые таблицей:

$$c_j^{\min} \leq y_j(t) + u_j(t) \leq c_j^{\max}, \quad j = 1, \dots, N. \quad (5)$$

Здесь $c_j^{\min}$, $c_j^{\max}$ – минимальное и максимальное количество баллов, которые может набрать студент для получения отметки в зачетной книжке ($c_j^{\min} = 55$, $c_j^{\max} = 100$, см. таблицу).

В терминах $z(t)$ ограничения (5) примут вид:

$$c^{\min} \leq z(t) + Y(t)u(t) \leq c^{\max}, \quad t = 0, \dots, T-1$$

где Y – матрица размерности $(N+1) \times N$ с элементами:

$$Y = \begin{pmatrix} 1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 1 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & 1 \\ 0 & 0 & \dots & 0 \end{pmatrix}$$

Ограничение по семестровой трудоёмкости изучения дисциплин представим как:

$$\frac{M_{\min}^g(t)}{N_t} \leq \frac{\sum_{j=1}^N k_j d_{jt} y_j(t)}{100 N_t} \leq \frac{M_{\max}^g(t)}{N_t}, \quad (6)$$

$$t = 1, \dots, T$$

где k_j – количество кредитов по j -й дисциплине; $N_t = \sum_{j=1}^N d_{jt}$ – количество дисциплин, изучаемых в семестре t .

$M_{\min}^g(t)$, $M_{\max}^g(t)$ – минимальное и максимальное значения кредитов по циклу дисциплин, определяемые учебным планом. Например,

для бакалавриата по техническим специальностям и направлениям выделяют гуманитарный, социальный и экономический цикл ($g = 1$), математический и естественнонаучный цикл ($g = 2$) и профессиональный цикл ($g = 3$). По каждому из этих циклов в ФГОС-3 определены минимальное и максимальное количество кредитов.

Введем вектор:

$$D(t) = \frac{1}{100 N_t} (d_{1,t} k_1, d_{2,t} k_2, \dots, d_{N,t} k_N; 0).$$

Тогда ограничение (6) примет вид

$$\frac{M_{\min}^g(t)}{N_t} \leq D(t)z(t) \leq \frac{M_{\max}^g(t)}{N_t}, \quad t = 1, \dots, T.$$

Для учета дисциплин-пререквизитов введем коэффициенты r_{ij} . В работе [2] эти коэффициенты называются коэффициентами тесноты междисциплинарной связи. В отличие от работы [2] коэффициенты r_{ij} будем полагать равными 0 либо 1. Коэффициент $r_{ij} = 1$, если для изучения j -й дисциплины требуется предварительно изучить дисциплину под номером i и $r_{ij} = 0$ — в противном случае. Для учета дисциплин-коррективов введем коэффициент f_{ij} , который равен 1, если i -я дисциплина в дальнейшем используется для изучения j -й дисциплины, и $f_{ij} = 0$ — в противном случае. С помощью этих коэффициентов определяется порядок изучения дисциплин, который задается индивидуальным учебным планом. Если $r_{ij} = 0$ и $f_{ij} = 0$, то возможно параллельное изучение дисциплин.

Ограничения, связанные с порядком изучения дисциплин в каждом семестре t , запишем в виде:

$$N_t c_k^{\min} \leq \sum_{i=1}^N r_{ik} d_{it} y_i(t) \leq c_k^{\max} N_t,$$

$$N_t c_i^{\min} \leq \sum_{k=1}^N f_{ik} d_{kt} y_k(t) \leq c_i^{\max} N_t, \quad (7)$$

$$k = 1, \dots, N_t, \quad i = 1, \dots, N_t$$

Здесь $c_k^{\min}$, $c_k^{\max}$ – минимальное количество баллов, допускаемых по данной дисциплине (таблица 1).

Если вводить ограничения с порядком изучения дисциплин в течение всего периода обучения T , не привязываясь к конкретному семестру, то вместо (7) будем иметь:

$$N c_k^{\min} \leq \sum_{i=1}^N \sum_{t=1}^T r_{ik} d_{it} y_i(t) \leq c_k^{\max} N,$$

$$N c_i^{\min} \leq \sum_{k=1}^N \sum_{t=1}^T f_{ik} d_{kt} y_k(t) \leq c_i^{\max} N, \quad (8)$$

$$k = 1, \dots, N, \quad i = 1, \dots, N$$

Введем вектора:

$$R^k(t) = (r_{1,k}d_{1,t}, r_{2,k}d_{2,t}, \dots, r_{N,k}d_{N,t}, 0),$$

$$F^i(t) = (f_{i,1}d_{1,t}, f_{i,2}d_{2,t}, \dots, f_{i,N}d_{N,t}, 0)$$

и перепишем ограничения (7) в терминах $z(t)$, получим:

$$N_t c_k^{\min} \leq R^k(t)z(t) \leq c_k^{\max} N_t, \quad k = 1, \dots, N;$$

$$N_t c_i^{\min} \leq F^i(t)z(t) \leq c_i^{\max} N_t, \quad i = 1, \dots, N.$$

Ограничения (8) примут вид:

$$N c_k^{\min} \leq \sum_{t=1}^T R^k(t)z(t) \leq c_k^{\max} N, \quad k = 1, \dots, N;$$

$$N c_i^{\min} \leq \sum_{t=1}^T F^i(t)z(t) \leq c_i^{\max} N, \quad i = 1, \dots, N.$$

Для решения задачи слежения необходимо за-

дать начальное состояние системы $z(0) = \begin{pmatrix} y(0) \\ V^0(0) \end{pmatrix}$.

Начальные баллы реального и эталонного студента считаем равными нулю $V(0) = V^0(0) = 0$.

Итак, сформулируем окончательно задачу управления индивидуальной траекторией обучения:

$$J = M \left\{ \sum_{t=1}^{T-1} C z(t) + \sum_{t=0}^{T-1} b^T(t) \cdot u(t) + C z(T) \right\} \rightarrow \min_{u(t)}, \quad (9)$$

ЛИТЕРАТУРА

1 Алгазин Г. И., Чудова О. В. Информационные технологии комплексной оценки компетентности выпускника вуза // Вестник НГУ. Сер.: Информационные технологии. 2009. Т. 7. Вып. 3.

2 Добросоцкая И.В., Крахт Л.Н. Система поддержки принятия решений при формировании индивидуальной траектории обучения // Вестник Воронежского государственного технического университета. 2009. Т. 5. № 9. С. 197-200.

3 Геттингер Дж., Кислинг Е., Стаммер С., Ветсчера Р. Сравнение изображений для решения многокритериальных задач // Системы Поддержки Принятия Решений. 2013. №54. С. 976-985.

4 Ткаченко А.В., Ткаченко А.И. Модель и алгоритм управления индивидуальной траекторией обучения // Известия Юго-Западного государственного университета. Сер.: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2013. №1. С. 34.

5 Серебровский В.В., Ткаченко А.В., Ткаченко А.И. Инновационные технологии в образовании: обучение по индивидуальной траектории // Известия Юго-Западного государственного университета. 2013. №1 (46). С. 26- 31.

6 Ферсини Е., Мессина Е., Поцци Ф.А. Анализ настроений: Байесовское множество обучения // Системы Поддержки Принятия Решений. 2014. №68. С. 26-38.

$$z(t+1) = A(t)z(t) + B(t)u(t), \quad (10)$$

$$C \cdot z(t) \geq 0,$$

$$c^{\min} \leq z(t) + Yu(t) \leq c^{\max},$$

$$t = 0, \dots, T-1;$$

$$N_t c_k^{\min} \leq R^k(t)z(t) \leq c_k^{\max} N_t,$$

$$k = 1, \dots, N;$$

$$N_t c_i^{\min} \leq F^i(t)z(t) \leq c_i^{\max} N_t, \quad (11)$$

$$i = 1, \dots, N;$$

$$\frac{M_{\min}^g(t)}{N_t} \leq D(t)z(t) \leq \frac{M_{\max}^g(t)}{N_t},$$

$$t = 1, \dots, T;$$

$$u(t) \geq 0, \quad t = 0, 1, \dots, T-1$$

Задача (9)-(11) является линейной задачей динамического программирования. Ее можно привести к эквивалентной задаче линейного программирования, для которой разработаны надежные методы решения.

Разработан новый метод управления траекторией обучения, позволяющий сформировать оптимальную индивидуальную траекторию обучения студента, основанную на динамической модели.

Задача может быть решена стандартным симплекс-методом с помощью любого математического пакета (например, Mathcad).

REFERENCES

1 Algazin G., Chudova O. Information technology of complex estimation of high school graduate competence. *Vestnik NGU*. [Bulletin of the NSU: Information technology], 2009, vol. 7, issue 3, pp. 70-78. (In Russ.).

2 I. Dobrosotskaya I.V., Krakht L.N. System of support of decision-making at formation of the individual trajectory of training. *Vestnik VGTU*. [Bulletin of Voronezh state technical University], 2009, vol. 5, no. 9, pp. 197-200. (In Russ.).

3 J. Gettinger, E. Kiesling, C. Stummer, R. Vetschera, A comparison of representations for discrete multi-criteria decision problems. *Decision Support Systems*, 2013, no. 54, pp. 976-985.

4 Tkachenko A.V., Tkachenko A.I. Model and algorithm of management of individual learning path. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta*. [Proceedings of the South-West State University], 2013, no. 1, pp. 34-39. (In Russ.).

5 Serebrovskii V.V., Tkachenko A.V., Tkachenko A.I. Innovative technologies in education: training on an individual trajectory. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta*. [Proceedings of the South-West State University], 2013, no.1 (46), pp. 26- 31. (In Russ.).

6 E. Fersini, E.Messina, F.A.Pozzi, Sentiment analysis: Bayesian Ensemble Learning, *Decision Support Systems* 68 (2014) 26-38.