

Т.Л. Мазурок

Структурно-параметрический синтез индивидуальной траектории обучения

Разработаны модели структурно-параметрического синтеза системы информационных взаимодействий и преобразований, направленных на формирование индивидуальной траектории обучения. Предложена схема многоуровневого синтеза управляющих воздействий, реализующих синергетическое управление. Приведены результаты практической реализации.

The models of structural and parametric synthesis of the information interactions and transformation for building the individual learning trajectory are developed. The scheme for the synthesis of multi-level actions that implements the synergic control are proposed. The results of the implementation are shown.

Розроблено моделі структурно-параметричного синтезу системи інформаційних взаємодій та перетворень, спрямованих на формування індивідуальної траєкторії навчання. Запропоновано схему багаторівневого синтезу керуючих дій, що реалізують синергетичне керування. Подано результати реалізації.

Введение. Одна из важнейших предпосылок повышения качества образования – усовершенствование систем автоматизированного управления процессом обучения, посредством которых возможен учет возрастающих дидактических требований, направленных на индивидуализацию содержания и средств формирования компетенций обучаемых. Особую актуальность приобретают средства автоматизированного управления индивидуализированным обучением в условиях современных мировых тенденций к интеграции, мобильности человеческих ресурсов, созданию условий для обучения на протяжении всей жизни [1].

Несмотря на интенсивное внедрение средств информационно-коммуникационных технологий в обучение, дальнейшее повышение эффективности процесса обучения определяется степенью управляемости педагогической системой [2]. Однако известные направления компьютеризации образования основаны преимущественно на информационном подходе, при этом не исключается по сути «ручной» метод управления, что не позволяет в полной мере индивидуализировать данный процесс. Поэтому актуальной и нерешенной проблемой остается формирование методологии построения автоматизированных систем управления индивидуализированным процессом обучения.

В результате анализа существующих подходов к методологии создания организационно-технических систем, в частности, современных педагогических систем, а также с учетом осо-

бенности объекта управляющих воздействий – обучаемого, в качестве средства системного анализа выбран синергетический подход. На его основе предложена синергетическая модель автоматизированного обучения для формирования детерминантов управления, обеспечивающих асимптотическое приближение на каждой фазе обучения к соответствующим аттракторам каждого обучаемого [3].

В рамках реализации предложенной синергетической модели управления обучением одной из главных задач есть разработка целостной системы индивидуализированной настройки всей управляющей системы, решение которой возможно на основе структурно-параметрической адаптации многоуровневой вложенной системы автоматизированного управления обучением (АСУ-О).

Цель статьи – разработка модели структурно-параметрического синтеза системы информационных взаимодействий и преобразований, направленных на формирование индивидуальной траектории для каждого обучаемого.

Постановка задачи

Особенности обучения как управляемого процесса состоят в том, что наряду с формализованными и слабоструктурированными задачами в условиях неполной информации, существует класс задач смешанного типа, использующих как аналитические, так и эвристические модели учета предпочтений. Такие задачи характеризуются случайностью внешних воздействий, априорной неполнотой информации, неопределенностью целей. Поэтому для управ-

ления обучением целесообразно использование средств искусственного интеллекта. Различные аспекты внедрения интеллектуальных компонент в системы управления обучением отражены в работах Брусиловского П., Галеева И. Х., Довбыша А.С., Маклакова Г.Ю., Петрушина В.О., Савельева А.Я., Чмыря И.А., Шароновой Н.В. и других.

Учитывая концептуальные изменения в методологии разработки систем автоматизированного управления на основе применения интеллектуальных компонент для решения неформализованных и плохо структурированных задач, а также неустраимую тенденцию к усложнению дидактических требований индивидуализированного обучения в рамках выделенной проблемы, одной из нерешенных задач есть задача структурно-параметрического синтеза управляющих воздействий со стороны АСУ-О.

Особенности синергетического управления

Рассмотрение процесса обучения как управляемого – это плодотворная идея. Задача обучения естественным образом формулируется, как задача управления. В соответствии с кибернетическим подходом к обучению в качестве объекта управления рассматривается модель обучаемого, в качестве устройства управления – преподаватель. Схема управления обучением идентична общей схеме управления любым объектом (рис. 1), содержит следующие элементы: X – состояние среды, влияющее на обучение; Y – состояние обучаемого; D_x , D_y – соответствующие датчики. Обычно известны цели обучения Z^* , ресурсы R , информация о текущем состоянии обучаемого Y' , состояние среды X' . Задача состоит в определении такой организации обучения U , которая изменит состояние обучаемого так, чтобы была достигнута цель обучения Z^* [4]:

$$U = \varphi(X', Y', Z^*, R), \quad (1)$$

где φ – алгоритм обучения.

Различные модификации и реализации известной схемы управления основаны на «ручном» режиме формирования управляющих воз-

действий со стороны преподавателя, что не позволяет индивидуализировать обучение в полной мере. Поэтому предлагаемая схема управления в качестве устройства управления предусматривает блок взаимодействия автоматизированной системы управления обучением (АСУ-О) со специализированным информационным обеспечением (ИнФО) и взаимодействие с преподавателем.

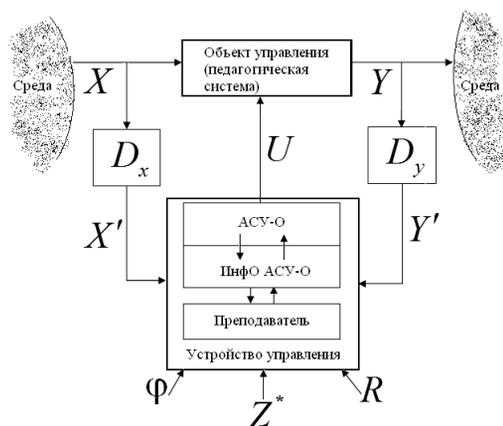


Рис. 1

Однако в связи с изменениями в теории управления, состоящими в расширении объекта рассмотрения от технических систем к организационно-техническим и социальным, кибернетическая парадигма управления дополняется синергетическим подходом, что позволяет определить параметры управления, благодаря которым возможна адаптация для конкретного обучаемого.

В рамках синергетического подхода разработана двухклассовая модель управления обучением (знаний и умений), которая в отличие от кибернетического подхода, позволяет при выработке управляющих воздействий учесть внутреннее саморазвитие обучаемого на основе параметров вектора интеллекта [3]:

$$\begin{aligned} \frac{dx}{dt} &= fUy, \\ \frac{dy}{dt} &= c(1-U)xy, \end{aligned} \quad (2)$$

$$\frac{d}{dt}(Ux + (1-U)y) = \frac{h(t)}{1+r} + \frac{c-f}{1+r}(Ux + (1-U)y),$$

где $h(t)$ – скорость подачи учебной информа-

ции, r – коэффициент сопротивления дидактическому процессу, f – коэффициент забывания, c – коэффициент умозаключения, U – часть времени, отведенного на накопление знаний, S – нормированная информация ($0 < S < 1$), x – нормированный объем накопленных знаний ($0 < x < 1$), y – нормированный объем сформированных умений ($0 < y < 1$).

Формирование управляющего воздействия на основе модели (2) осуществляется на основе так называемого *треугольника управления*, связывающего вектор интеллекта (f, c), вектор состояния (x, y) и вектор управления (h, U).

Прогнозирование параметров вектора состояния осуществляется на основе применения графо-аналитического метода, позволяющего определить доверительные вероятности достижения промежуточных и конечных целей обучения. Прогноз вектора состояний основан на определении вершин графа обучения (ГО) – учебных элементов и взаимосвязей между ними – внутрипредметных и межпредметных связей.

Схема автоматизированного управления обучением

Рассмотрим процесс обучения в виде совокупности унифицированных циклических действий, осуществляющих управление обучением в соответствии со структурным представлением содержательного компонента педагогической системы: системы управления (СУ), обучения учебному элементу (УЭ), учебной дисциплине (УД), формированию компетенции (КМП) и системы компетенций (СКМП). Декомпозиция общей схемы синергетического управления обучением и группировка основных процедур управления по подобию формальной постановки задачи привела к формированию многоуровневой вложенной структурно-функциональной схемы управления обучением (рис. 2).

Разработанная схема осуществляет управление по отклонению между плановыми ($C_{пл}, T_{пл}$) и фактическими ($C_{факт}, T_{факт}$) значе-

ниями параметров диагностически заданной цели обучения C и времени обучения T :

$$\Delta C = \frac{C_{пл} - C_{факт}}{C_{пл}}; \quad \Delta T = \frac{T_{пл} - T_{факт}}{T_{пл}}. \quad (3)$$

Параметры вектора цели определяются в соответствии с современными дидактическими требованиями к контролю успешности обучения [2]:

$$C = \{N_{уэ}, U, A, O, K_y, K_H\}, \quad (4)$$

где $N_{уэ}$ – количество УЭ; U – уровень усвоения УЭ; A – показатель степени абстракции УЭ; O – показатель степени осознанности усвоения УЭ; K_y – коэффициент усвоения УЭ; K_H – коэффициент навыка усвоения УЭ.

В соответствии с рекомендациями [2] цель обучения может быть сформулирована так: изучить заданные УЭ на уровне усвоения деятельности U с коэффициентом усвоения K_y , степенью абстракции A , коэффициентом навыка K_H на уровне осознанности O .

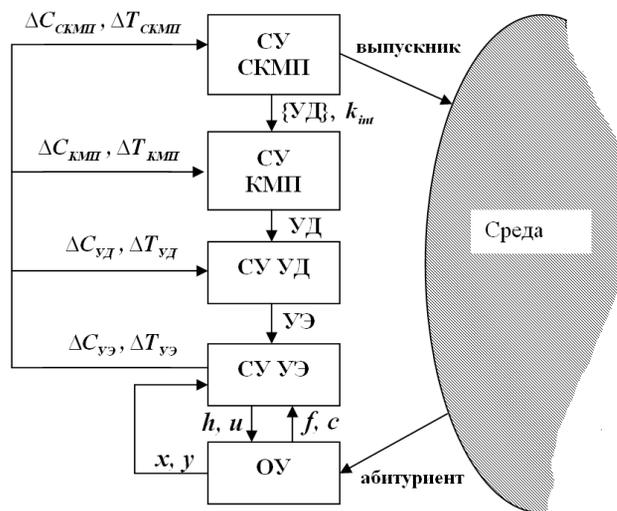


Рис. 2

В рамках каждого из представленных уровней управления осуществляются адаптивные процессы, направленные на формирование управляющих воздействий с учетом синергетического принципа их согласованности с характеристиками саморазвития обучаемого. Так, на низшем уровне управления – в рамках функционирования СУ УЭ на основе исходного

(значений параметров вектора интеллекта модели обучаемого) и целевого состояний (назначенного высшей системой – СУ УД текущего изучаемого УЭ, плановых значений вектора цели $C_{пл}$, времени обучения $T_{пл}$) распределение времени обучения и выбор корректирующих управляющих учебных воздействий.

К особенностям входных, выходных и управляемых параметров можно отнести их слабую формализацию, отсутствие способов точного измерения, эвристический характер взаимосвязей между достижениями учеников и решениями по распределению времени. Поэтому наиболее эффективным средством управления такой схемой будет нейро-нечеткое управление. Автоматизация управления процессом обучения УЭ с использованием интеллектуальных компонент направлена на получение индивидуализированного распределения времени и учет параметров вектора интеллекта обучаемого, что позволяет повысить эффективность управляющих воздействий.

Следующий уровень управления в рамках функционирования СУ УД отличается от предыдущего тем, что содержит процедуры определения допустимых последовательностей изучения УЭ, выбора текущего УЭ на основе учета логических взаимосвязей, временных ограничений. Необходимые структурно-функциональные элементы данной системы – это граф обучения и блок прогнозирования достижения цели обучения за заданное время с известными характеристиками усвоения материала (параметры вектора состояний). Структурная адаптация в рамках функционирования данной системы заключается в управлении по отклонению на основе прогноза, анализа и планирования с последующим оперативным управлением – выборе текущего УЭ, передаче и срабатывании обращения к СУ УЭ. Входная информация передается от высшей системы – СУ КМП в виде логической структуры УД: перечня входящих УЭ с вектором заданной цели обучения и отведенным временем на обучение.

Особенность схемы управления процессом формирования компетенций – это адаптивная

настройка формирования последовательности УЭ, входящая в разные УД, а также регулирование степенью взаимосвязи в процессе их формирования. Структурно-функциональным блоком, осуществляющим данный адаптивный механизм, есть взаимодействие между системой межпредметных связей и моделью компетенций, осуществляемое посредством интеллектуального преобразователя на основе нейро-нечеткой кластеризации.

Система управления процессом формирования системы компетенций считается высшей по отношению к предыдущим. Адаптивность данной системы заключается в формировании для каждого кванта учебного времени выбор СУ КМП в зависимости от входных и целевых параметров управления. В этом случае управляющие воздействия со стороны СУ СКМП сводятся к переключению между вызовами соответствующих подчиненных СУ КМП. Одним из основных инструментов адаптации служит автоматизированное формирование системы межпредметных связей, которые, по мнению экспертов, наиболее целесообразны при формировании данной СКМП.

Итак, реализация управления всем целостным процессом обучения осуществляется на основе вложенной структуры вызовов подчиненных СУ, реализующих структурно-параметрическую адаптацию к характеристикам обучаемого в соответствии с синергетической моделью управления. Основные этапы адаптации индивидуализированного обучения показаны на рис. 3.

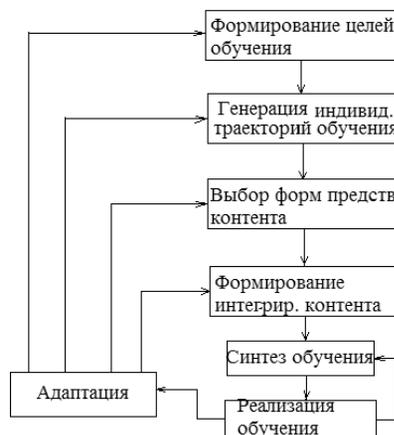


Рис. 3

Основные элементы структурно-параметрической адаптации

Под структурно-параметрической адаптацией в задаче синтеза индивидуальной траектории обучения будем понимать процесс накопления и обработки информации в системе, направленный на выработку управляющего (обучающего) воздействия в виде выбора текущего УЭ, наиболее соответствующего саморазвитию обучаемого в заданных ограничениях с учетом взаимосвязей между УЭ. Для структурной адаптации, осуществляемой на всех уровнях управления, кроме СУ УЭ, применяются графы обучения и модель системы межпредметных связей.

Структурно-параметрическая модель монопредметной УД состоит из последовательности унифицированных учебных блоков, обеспечивающих взаимосвязь логики изложения материала. Граф обучения образуется из учебных блоков по определенным правилам.

Рассмотрим формальное описание структурной модели УД. Пусть задано конечное множество УЭ $LE = \{l_i\}, i = \overline{1, N_{HE}}$, нечеткое отношение $\mu_{R_{LE}} : LE \times LE \rightarrow M$, отражающее субъективное мнение эксперта-преподавателя по поводу взаимосвязи между двумя УЭ и задается функцией принадлежности. M – лингвистическая переменная, посредством которой эксперты могут оценить степень взаимосвязи между УЭ средствами естественного языка. Нечеткие множества A_1, A_2, A_3, A_4, A_5 соответствуют нечетким переменным $\alpha_1 = \text{отсутствует}$, $\alpha_2 = \text{слабая}$, $\alpha_3 = \text{средняя}$, $\alpha_4 = \text{сильная}$, $\alpha_5 = \text{очень сильная}$. Графики функций принадлежности нечетких множеств (НМ), соответствующих нечетким переменным для лингвистической переменной T – степень взаимосвязи приведены рис. 4. Множество термов $T(M)$ лингвистических значений M таково:

$$T = \{ \text{отсутствует}, \text{слабая}, \text{средняя}, \text{сильная}, \text{очень сильная} \}.$$

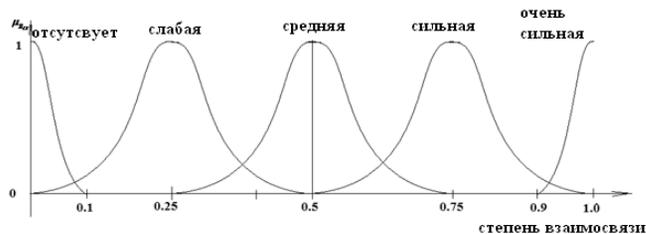


Рис. 4

Применение НМ обусловлено невозможностью точного измерения показателя степени взаимосвязи, а также субъективным характером его получения. Функции принадлежности аналитически описаны с помощью S -, Z - и Π -образных сплайн-функций так:

α_1 – *отсутствует* на основе Z -образной функции:

$$f_z(x; a, b) = \begin{cases} 1, & \text{если } x < a, \\ \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \cos\left(\frac{x-a}{b-a} \pi\right), & \text{если } a \leq x \leq b, \\ 0, & \text{если } x > b, \end{cases} \quad (5)$$

где $a = 0$, $b = 0,1$; α_5 – *очень сильная* на основе S -образной функции:

$$f_s(x; a, b) = \begin{cases} 0, & \text{если } x < a, \\ \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \cos\left(\frac{x-b}{b-a} \pi\right), & \text{если } a \leq x \leq b, \\ 1, & \text{если } x > b, \end{cases} \quad (6)$$

где $a = 0,9$, $b = 1,0$; α_2 – *слабая*, α_3 – *средняя*, α_4 – *сильная* – на основе Π -образной функции:

$$f_n(x; a, b, c, d) = f_s(x; a, b) \cdot f_z(x; c, d), \quad (7)$$

где значения параметров a, b, c, d получены на основе эвристического подхода.

Кроме нечетко выраженной степени взаимосвязи необходимо учесть направление связи с помощью соответствующего знака. Так, элементы матрицы инцидентий нечеткого графа $G(LE, R_{LE})$ могут быть описаны следующей формулой:

$$a_{ij} = \begin{cases} -\mu_{R_{LE}}, & \text{если } i > j \text{ в отношении } A_i A_j, \\ 0, & \text{если дуга } A_i A_j \text{ не существует} \\ & \text{или если } i = j, \\ \mu_{R_{LE}}, & \text{если } i < j \text{ в отношении } A_i A_j. \end{cases} \quad (8)$$

Все вершины нечеткого графа $G(LE, R_{LE})$ разделяются на четыре типа вершин в зависимости от их роли в формировании структуры УД: базовые, транзитные, конечные (целевые), автономные. Формально условия идентификации имеют вид

$$S_1 > 0; S_2 = 0; S_3 > 0, \quad (9)$$

$$S_1 > 0; S_2 > 0; S_3 \geq 0, \quad (10)$$

$$S_1 > 0; S_2 = 0; S_3 = 1, \quad (11)$$

$$S_1 = 0; S_2 = 0; S_3 > 0, \quad (12)$$

где S_i , $i=1,2,3$ – количество вершин, определяемых по формулам

$$S_1 = \sum_{j>i} \text{count}(a_{ij}), \quad (13)$$

$$S_2 = \sum_{i>j} \text{count}(a_{ij}), \quad (14)$$

$$S_3 = \sum_{i=j} \text{count}(a_{ij}), \quad (15)$$

где count – функция, определяющая количество вершин.

Формирование последовательностей УЭ сводится к процедуре формирования учебных логических блоков, начало которых образуют элементы множества базовых вершин, конец последовательности содержит конечные вершины, между ними, в общем случае, может быть множество транзитных вершин. Допустимо также наличие автономных вершин, используемых в условиях выделения дополнительного учебного времени. Учебные логические блоки, образуемые в результате логического ввода, характеризуются полной выводимостью.

Факты, отражающие целесообразность взаимосвязей образуют систему нечетких продукций. Применение к данной системе прямого логического вывода позволяет получить последовательность УЭ с определением значения функции принадлежности *степень взаимосвязи* между базовым и конечным УЭ. В случае отсутствия таковой – сообщение об остановке процесса вывода, получение запроса к ЛПП – по разрешении конфликта.

В качестве основы реализации нечеткого логического вывода выбран нечеткий алгоритм Ларсена [5], в котором нечеткая импликация моделируется с использованием оператора умножения.

В целях унифицированного описания и дальнейшего синтеза (в соответствии с принципом укрупнения дидактических единиц), введем понятие учебного блока (УБ). Как свидетельствуют педагогические исследования, процесс изучения взаимосвязанных понятий имеет значительные преимущества, среди которых, прежде всего, отметим сокращение времени обучения вследствие сохранения в памяти необходимых знаний и формирования целостного восприятия учебной информации обучаемым.

В общем виде под учебным блоком будем понимать любые структурные группирования тем, модулей, разделов, подразделов и пр.

Определение. Учебным блоком (УБ) назовем нечеткий направленный граф, содержащий одну из трех типов вершин (базовую, транзитную или конечную), каждая из которых может быть логически выведена из базовой или служит базовой. Формально УБ можно описать так:

$$NB = \{B_i, TR_{jk}, C_l\}, \quad (16)$$

где NB – учебный блок; B_i – базовый УЭ; i – номер базового УЭ; TR_{jk} – транзитный УЭ; j – номер слоя; k – номер транзитного УЭ; C_l – целевой УЭ; l – номер целевого УЭ.

Следующим этапом формирования целесообразной последовательности УЭ будет определение порядка изучения УЭ в пределах каждой группы. Формализовать этот процесс можно на основе допущения о том, что уменьшение промежутка между временем изучения УЭ, связанных более высокой степенью взаимосвязи, способствует более эффективному процессу обучения, учитывающему индивидуальные характеристики памяти.

Степень взаимосвязи УБ можно определить путем применения операции композиции нечетких отношений. Если анализ нечеткого графа $G(LE, R_{LE})$ на основе выражений (5) –

(12) привел к разбиению множества LE таким путем, что

$$LE = LE_B \cup LE_T \cup LE_K \cup LE_A, \quad (17)$$

где LE_B – множество базовых вершин; LE_T – множество транзитных вершин; LE_K – множество конечных вершин; LE_A – множество автономных вершин, то рассмотрим нечеткие отношения $R_{BT} : LE_B \times LE_T \rightarrow [0,1]$ между базовыми и транзитными вершинами, $R_{TK} : LE_T \times LE_K \rightarrow [0,1]$ – между транзитными и конечными вершинами. Тогда на основе применения (max–min)-композиции получим выражение для поиска нечеткого отношения $R_{BK} : LE_B \times LE_K \rightarrow [0,1]$ – между базовыми и конечными вершинами:

$$\begin{aligned} \mu_{R_{BT} \circ R_{TK}}(l_B, l_K) &= \\ &= \max_{l_T} \min \{ \mu_{R_{BT}}(l_B, l_T), \mu_{R_{TK}}(l_T, l_K) \}, \end{aligned} \quad (18)$$

где l_B, l_T, l_K – вершины из множества базовых, транзитных и конечных соответственно.

Множество транзитных вершин LE_T в свою очередь имеет подобную структуру из трех слоев: LE_{T1} – подмножество транзитных вершин, связанных непосредственно с базовыми; LE_{T2} – подмножество транзитных вершин, имеющих входящие и исходящие связи только с транзитными; LE_{T3} – подмножество транзитных вершин, связанных непосредственно с конечными. Таким образом,

$$LE_T = LE_{T1} \cup LE_{T2} \cup LE_{T3}. \quad (19)$$

Тогда на основе соответствующих нечетких отношений между вершинами транзитных слоев $R_{12} : LE_{T1} \times LE_{T2}$; $R_{23} : LE_{T2} \times LE_{T3}$; $R_{13} : LE_{T1} \times LE_{T3}$, получим аналогично (18):

$$\begin{aligned} \mu_{R_{12} \circ R_{23}}(l_{T1}, l_{T3}) &= \\ &= \max_{l_{T2}} \min \{ \mu_{R_{12}}(l_{T1}, l_{T2}), \mu_{R_{23}}(l_{T2}, l_{T3}) \}, \end{aligned} \quad (20)$$

Схема композиционных преобразований (18), (20) приведена на рис. 5, где показано склеивание вершин транзитных слоев.

Последовательное выполнение операций нечеткой композиции над полученными подмножествами нечеткого графа позволяет получить структурную модель монопредметной УД.

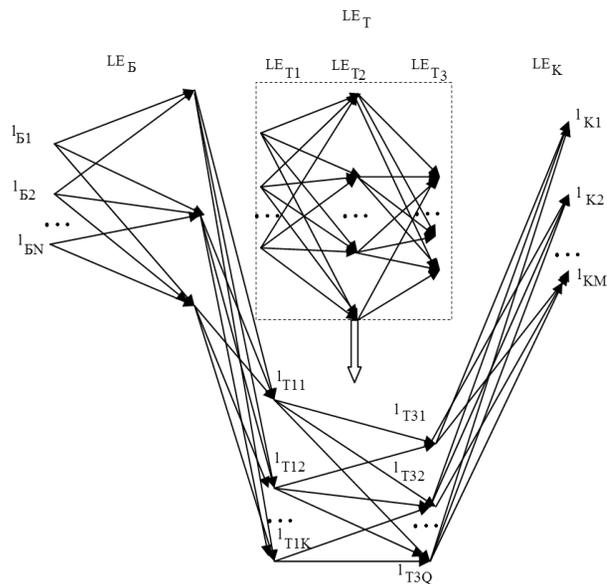


Рис. 5

Однако в условиях углубления интеграционных тенденций необходимо при формировании ГО учесть целесообразные межпредметные связи. Поэтому рассмотрим также структурно-параметрическую модель системы межпредметных связей (МПС).

Структурно-параметрическая модель системы МПС

Процесс планирования и реализации МПС как дидактически обусловленный процесс связан с созданием дидактической модели МПС в учебной теме. Для этого необходимо провести два структурно-логических анализа содержания УД: внутренний и внешний. *Внутренний* – это структурно-логический анализ содержания изучаемой темы с целью определения ее ведущих положений и основных связеобразующих элементов. *Внешний* – это структурно-логический анализ содержания тем других УД с целью определения степени перекрытия их содержания с содержанием изучаемой темы, поиска опорных межпредметных знаний, которые необходимо использовать для научного и всестороннего рассмотрения ведущих положений определенной темы основной УД.

Входными данными для создания модели системы МПС будут упорядоченные по степени взаимосвязи для каждого из уровней иерархии в структуре УД последовательности УЭ. Представим исходные данные в виде последовательностей УЭ двух УД – $LE1$ и $LE2$, где $LE1 = \{l_i\}, i = 1 \dots m$; $LE2 = \{l_j\}, j = 1 \dots n$. Причем $LE1$ – множество УЭ основной УД, $LE2$ – вспомогательной УД. На основе отображения субъективных суждений экспертов-преподавателей по поводу целесообразности рассмотрения взаимосвязей между двумя УЭ формируется нечеткое отношение $R1R2 = \{ \langle l_i, l_j \rangle; \mu_{R1R2} \langle l_i, l_j \rangle \}$, где функция принадлежности μ_{R1R2} бинарного нечеткого отношения количественно выражает степень уверенности эксперта в наличии связи между рассматриваемыми УЭ. Нечеткое отношение $LE1 R LE2$ задает нечеткий двудольный граф. Для определения степени «перекрытия», которое используется в дидактике, в дальнейшем будем использовать коэффициент интегрирования УД $k_{\text{инт}}$, который, по сути, есть локальной степенью вершин нечеткого орграфа. В связи с нечеткостью данных, которыми удобнее оперировать преподавателю, и нечетким характером рассуждений, описанных набором правил для определения $k_{\text{инт}}$, в качестве математического аппарата применим нечеткую логику. В качестве входных и выходных данных используем точные количественные характеристики, поэтому система нечеткого логического вывода содержит фаззификатор на входе и дефаззификатор на выходе. В качестве основной модели примем алгоритм нечеткого вывода Мамдани.

Для определения входных переменных введем следующие лингвистические переменные:

– *степень перекрытия*, содержащая три термина: {низкая (Н), средняя (С), высокая (В)}. Для определения понятия *степень перекрытия* рассмотрим α -пересечение нечеткого отношения $R1R2_\alpha = \{ \langle l_i, l_j \rangle; \mu_{R1R2} \langle l_i, l_j \rangle \geq \alpha \}$, примем

$\alpha = 0,5$ на основе эвристических соображений. Тогда степень перекрытия определим по следующей формуле:

$$S_p = \frac{\text{card}(R1R2_\alpha)}{m \times n}; \quad (21)$$

– *степень равномерности*: содержит такие же термины и определяется по формуле

$$S_r = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^n \left| \mu_{R1R2} - \overline{\mu_{R1R2}} \right|; \quad (22)$$

– *степень согласованности*: с теми же терминами, отражает близость к главной диагонали матрицы МПС как согласованность по времени. Чем больше расстояние между элементами, для которых $\mu_{R1R2} \neq 0$, тем выше степень несогласованности, что замедляет интегрированное обучение. Тогда вычисление степени согласованности описывается формулой

$$S_u = \frac{\text{card} \{ \mu_{Rij} \mid \mu_{Rij} > 0, i = j \}}{\text{card} \{ \mu_{Rij} \mid i = j \}}. \quad (23)$$

Выходная лингвистическая переменная *коэффициент интеграции* содержит такие же термины, как и входные переменные. Диапазоны значений всех входных и выходных переменных составляют множество $E = [0, 1]$. В качестве функции принадлежности выбрана симметричная гауссова функция.

На основе структурно-параметрической модели системы МПС возможно определение степени интегрирования двух УД, что позволяет в синтезе индивидуальной траектории обучения учесть интегративные факторы.

Реализация

Предложенный подход к синтезу индивидуальной траектории обучения, реализующий синергетическую модель управления, апробирован в нескольких вузах Украины. Например, в рамках традиционного (не электронного) обучения решена задача структурирования содержания и улучшения временных показателей посредством отдельных экспериментальных модулей автоматизированной системы управления обучением. В частности, тематическое наполнение модуля «Основные понятия сис-

тем искусственного интеллекта (СИИ)» УД «СИИ» для студентов специальности «Компьютерные науки» выполнено в соответствии с образовательной профессиональной программой и структурно-логической схемой подготовки специалистов, на основе опыта экспертов–преподавателей кафедры «Информационных технологий и кибербезопасности» Одесской национальной академии пищевых технологий. После заполнения матрицы нечетких отношений внутренних взаимосвязей между содержанием тем модуля и их обработкой по формулам (9)–(15) построен нечеткий граф упорядочения структуры содержания модуля. На основе композиции нечетких отношений по формулам (18)–(20) получены значения нечетких отношений между базовой и конечной темами. Также исследованы МПС между модулями СИИ и инженерии знаний, коэффициент интеграции между которыми составил $k_{\text{инт}} = 0,454$, что соответствует средней степени осуществления интегративного обучения, с точки зрения дидактики свидетельствует о систематическом использовании МПС. Компьютерные эксперименты проведены средствами пакета *Fuzzy Logic Toolbox* математической системы *Matlab*. Таким образом, даже в условиях традиционного обучения получена возможность в автоматизированном режиме формировать последовательности УЭ с учетом внутренних и МПС.

Заключение. Разработанная структура обобщенной схемы автоматизированного управле-

ния индивидуализированным обучением позволяет адаптивно настраивать интеграционные характеристики содержания обучения в рамках синергетической модели управления.

Предложенные модели и построенные на их основе информационные преобразования позволяют осуществлять структурно-параметрический синтез индивидуальных последовательностей УЭ, адаптированных для индивидуальных характеристик обучаемого. К перспективным направлениям последующих научных исследований отнесем усовершенствование методик измерения индивидуальных особенностей обучаемых.

1. Про основні засади розвитку інформаційного суспільства в Україні на 2007–2015 роки: Закон України. – <http://zakon.rada.gov.ua/cgi-bin/laws/main.cgi?nreg=537-16>.
2. Беспалько В.П. Образование и обучение с участием компьютеров (педагогика третьего тысячелетия). – М.: МПСИ, 2002. – 325 с.
3. Мазурок Т.Л. Синергетическая модель индивидуализированного управления обучением // Математические машины и системы. – 2010. – № 3. – С. 124–134.
4. Растрюгин Л.А., Эренштейн М.Х. Адаптивное обучение с моделью обучаемого. – Рига: Зинатне, 1988. – 160 с.
5. Зайченко Ю.П. Нечеткие модели и методы в интеллектуальных системах. – К.: Слово, 2008. – 344 с.

Поступила 20.01.2015
Тел. для справок: +38 048 777-9381 (Одесса)
E-mail: Mazurok62@mail.ru
© Т.Л. Мазурок, 2015