ОБУЧЕНИЕ КАК ПРОЦЕСС ИЗМЕНЕНИЯ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ СОСТОЯНИЙ ОБУЧАЕМОГО В СИСТЕМЕ "ОБУЧАЮЩИЙ-ОБУЧАЕМЫЙ"

УДК 539.2

ХОДАКОВ Виктор Егорович
д.т.н., профессор, заслуженный деятель науки и техники Украины, заведующий кафедрой информационных технологий факультета кибернетики и системной инженерии Херсонского национального технического университета,
научные интересы – прикладной системный анализ, управление социально-экономическими системами.

СОКОЛОВ Андрей Евгеньевич
к.т.н., доцент, доцент кафедры информационных технологий факультета кибернетики и системной инженерии Херсонского национального технического университета,
научные интересы – компьютеризированные системы обучения.

ВЕСЕЛОВСКАЯ Галина Викторовна
к.т.н., доцент, доцент кафедры информационных технологий факультета кибернетики и системной инженерии Херсонского национального технического университета,
научные интересы – компьютеризированные системы обучения.

ВВЕДЕНИЕ

Обучение в общем виде можно представить как процесс, то есть как ход, развитие какого-либо явления, как последовательную смену состояний в развитии образования.

XXI век в области обучения характеризуется интенсивным развитием компьютерных средств, информационных технологий, изменяется общая парадигма конструирования и исследования средств вычислительной техники, которая означает переход к технической и программной базе мультимедиа и гипермедиа, в одной среде могут использоваться тексты, графика, звук, видео, 3D и т.п., что приводит к существенной переоценке методов разработки обучающих систем.

Автоматизированные обучающие системы (АОС) сегодня получили более современное название компьютеризированных.

Рассмотрим краткую историю вопроса.

В отечественной литературе еще в 80-90 годах был провозглашен подход к созданию обучающих систем, в которых процесс обучения зависит от свойств обучаемого.

Большой вклад в развитие теории внесли А. Я. Савельев, А. М. Довгялло [1-3].

Широкое применение нашел подход, учитывающий принцип обратной связи в процессе обучения, когда качество усвоения предшествующего материала учитывается при подаче последующего – обучающие системы ANALYZER, OKKAM [4].

Такие системы анализировали ошибки и выдавали рекомендации по повторению определенных частей курса.

Но сам процесс обучения в этом случае не составлял непрерывный процесс.

Системы в основном использовались для самоконтроля.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Большинство обучающих систем [5,6] основано на последовательном изложении материала и контрольных заданий, проверяющих условие материала сравнением ответа с гипотезой.

Последовательное изложение материала и оторванность контроля получаемых результатов от процесса обучения являются основными недостатками этих систем, причина которых кроется в недостаточной разработке моделей, составляющих процесс обучения и использовании модели обучаемого.

Исходя из изложенного, целесообразно продолжить исследования, разрабатывать модели процессов обучения, модели обучаемого (ученика) [7-10].

Целью работы является формализация процесса обучения, выявление основных особенностей этого специфического процесса.

В данном случае, обучение представляется в виде последовательной смены состояний обучаемого в процессе обучения.

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ

При обучении система "обучающий и обучаемый" (учитель – ученик) эволюционирует, переходя от одного объекта изучения к другому, по-возможности, сохраняя логическую и смысловую связь между изучаемыми вопросами.

Рассмотрим упорядоченное множество изучаемых объектов S, причем порядок определен по смысловой и логической связи.

Тогда переход от s_i к s_{i+1} определяет переход от одной темы к другой.

Для описания всего объема знаний, введем декартово произведение $\Omega_S = S_1 x S_2 x S_3$.

Объем знаний Ω_S можно представить графически (рис.1.).

Положив, что множество S_1 является множеством отправления, множество S_2 представляет собой множество прибытия, а множество S_3, определяющее смежные вопросы, связано с этими множествами через проекцию $ПрS_3 = S_1 \text{ x } S_2$, можно определить реальную траекторию обучения – движение в области применения знаний и исполняемую траекторию – движение в области изучаемых знаний.

Графически представить весь объем знаний – задача сложная, однако для конкретной области знаний или учебного предмета это не только возможно, но и повседневно выполняется при анализе и разработке учебных планов.

Теперь можно определить полный объем знаний Ω_I и говорить о полноте и связности знаний.

Важно учесть, что в силу того, что исполняемая траектория является проекцией реальной траектории, любое нарушение последовательности, связности и истинности на исполняемой траектории – нарушение реальной траектории обучения.

Для области знаний исполняемая траектория обучения определяется более жестко и имеет вид специальной сети, где осуществляются переходы между темами (рис. 2.).

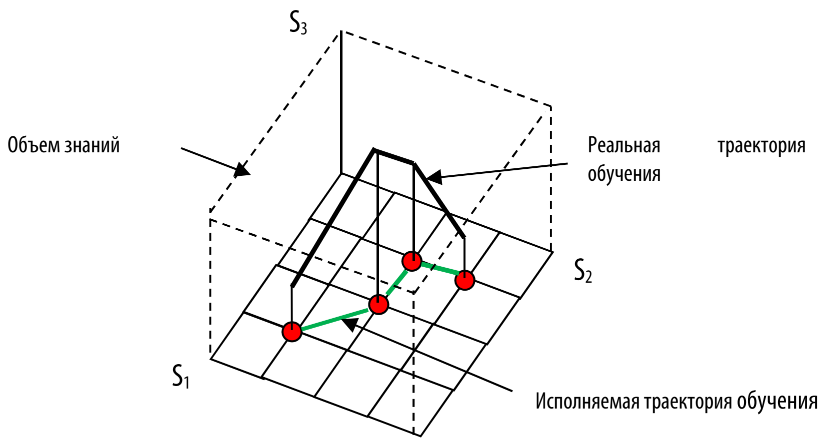

Рисунок 1 – Объем знаний и траектории обучения.

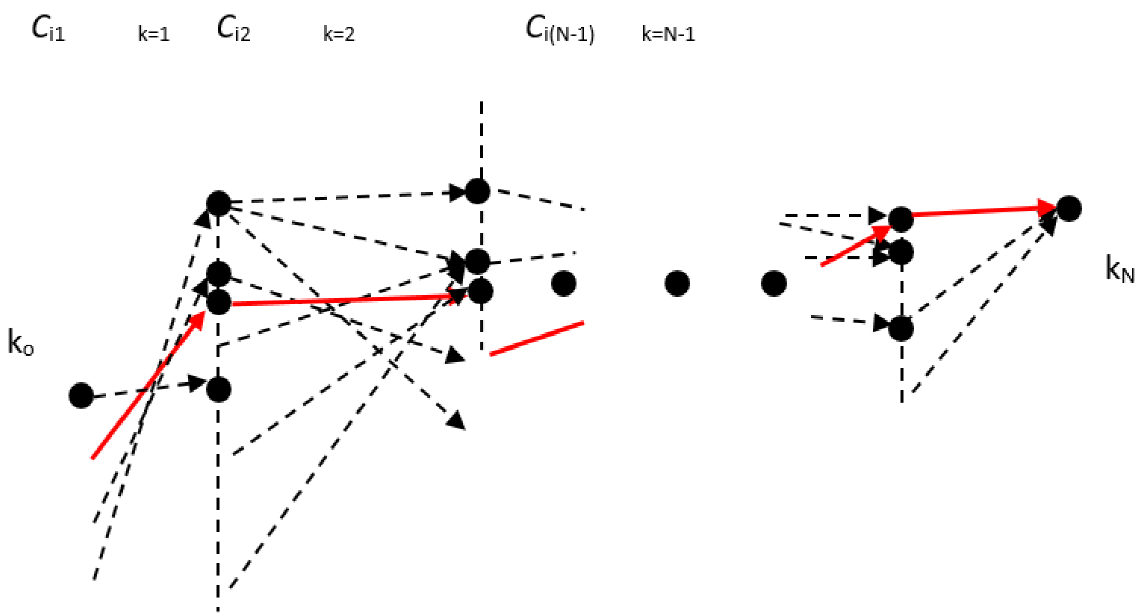

Рисунок 2 – Исполняемая траектория обучения

Затраты на переход C_{ij}, различаются немного в силу длительной работы по оптимизации учебных планов, поэтому функционал цели обучения достаточно близок к линейной функции.

Примем функционал цели на траектории *j*, принадлежащей оптимальной траектории $J^*=\{j_1^*, j_2^*, \ldots, j_N^*\}$, в задаче обучения в виде:

$$C_{j\in J^*} = \frac{1}{N\sum\limits_{\substack{i=1\\ j\in J^*}}^{N}(C_{\max}-C_{ij})}\sum_{\substack{i=1\\ j\in J^*}}^{N}(C_{\max}-C_{ij})\theta_i \quad (1)$$

где θ_i – оценка результата обучения на i-м шаге согласно принятой шкалы желательности;

$C_{\max}$ – максимальные затраты;

N – количество переходов на траектории развития.

Собственно, формула (1) – просто привычная уточненная оценка по среднему баллу, что позволяет представить процесс обучения как оптимизационную задачу обучения:

$$J^* \to \max C_{j\in J^*}. \quad (2)$$

С другой стороны, возникает задача построения оптимальной траектории, составляющей минимум затрат на выполнение плана.

В этом случае минимизируется функционал затрат:

$$J^* \to \min \sum_{i=1}^{N} C_{i,j}. \quad (3)$$

Исходя из изложенного, задача оптимизации траектории обучения может быть рассмотрена как задача динамического программирования.

Метод динамического программирования [11] основан на принципе или методе Беллмана.

В основе этого метода лежит каноническая система уравнений Лагранжа-Эйлера для задачи оптимального управления с целевым функционалом:

$$J(\mathbf{x},\mathbf{u},t) = \int_{t_0}^{t_1} f_0(\mathbf{x},\mathbf{u},t)dt \quad (4)$$

при ограничениях в виде динамической системы:

$$\frac{d\mathbf{x}(t)}{dt} = \dot{\mathbf{x}} = \mathbf{f}(\mathbf{x},\mathbf{u},t); \qquad \dim\mathbf{x} = \dim\mathbf{f} = n, \quad (5)$$

и постановкой задачи с закреплением концов траекторий $\mathbf{x}(t_0) = \mathbf{x}_0$, $\mathbf{x}(t_1) = \mathbf{x}_1$.

Ставится задача найти оптимальное управление $\mathbf{u}^*$ и оптимальную траекторию $\mathbf{x}^*$ на оптимальном интервале t^*_0, t^*_1:

$$(\mathbf{x}^*, \mathbf{u}^*, t^*) \to \inf J(\mathbf{x}, \mathbf{u}, t); \qquad (6)$$

Решение данной задачи определяется системой уравнений Лагранжа-Эйлера в канонической форме:

$$\left.\begin{array}{l} \dfrac{\partial H}{\partial \mathbf{x}} = \dfrac{d\boldsymbol{\lambda}}{dt} \\ \dfrac{\partial H}{\partial \boldsymbol{\lambda}} = -\dfrac{d\mathbf{x}}{dt} \\ \dfrac{\partial H}{\partial \mathbf{u}} = \mathbf{0} \end{array}\right\}. \qquad (7)$$

После стандартного предположения выпуклости задачи, из условий Кунны-Таккера получаем дополнительно два условия:

$$\left.\begin{array}{l} \mathbf{x}^* \xrightarrow[\mathbf{u}=\mathbf{u}^*]{} \min H \\ \mathbf{u}^* \xrightarrow[\mathbf{x}=\mathbf{x}^*]{} \max H \end{array}\right\}. \qquad (8)$$

Первое условие известно как принцип максимума Понтрягина, второе условие – как принцип Беллмана.

Принцип максимума Понтрягина неприменим в случае отсутствия выпуклых свойств в задаче.

Потребуем от динамической системы только выполнения условий существования и единственности на всей траектории или на всех отрезках траекторий.

При этом в окрестности конца траектории существует оптимальная траектория, которую можно определить, постепенно увеличивая ее длину (рис. 3).

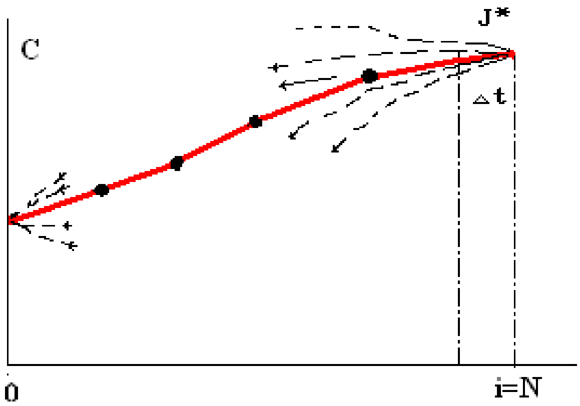

Рисунок 3 – Выделение траектории в T задаче

Решаем задачу минимизации функционала цели на интервале (t, t_1):

$$\begin{array}{l} (\mathbf{x}^*, \mathbf{u}^*, t^*) \to \inf J(\mathbf{x}, \mathbf{u}, t) = \int_{t_1}^{t_1} f_0(\mathbf{x}, \mathbf{u}, t)\,dt, \\ ;\dfrac{d\mathbf{x}(t)}{dt} = \dot{\mathbf{x}} = \mathbf{f}(\mathbf{x}, \mathbf{u}, t); \qquad \dim \mathbf{x} = \dim \mathbf{f} = n \\ \quad \mathbf{x}(t\ ) = \mathbf{x}\ , \qquad \mathbf{x}(t_1) = \mathbf{x}_1. \end{array} \qquad (9)$$

В полученной, так называемой, T задаче интервал (t, t_1) возможно выбрать малым, и тогда T задача обладает свойством линейности.

Ограничения связаны с выбором траекторий **x**, интервала времени (t, t_1) и делятся на фазовые и ограничение по времени.

Функция Гамильтона в этой задаче имеет вид:

$$H(\mathbf{x}, \mathbf{u}, \boldsymbol{\lambda}, t) = \lambda_0 f_0 + \lambda_t \cdot 1 + \langle \boldsymbol{\lambda}, \mathbf{f} \rangle. \qquad (10)$$

Так как множитель Лагранжа определен как чувствительность функции цели $J_t = J_t(\mathbf{x}, \mathbf{u}, t)$ к фазовым и временным ограничениям, и учитывая, что J_t является функцией Белмана V, задача динамического программирования принимает вид:

$$\lambda_t = \frac{dV}{dt}; \qquad \lambda_0 = const; \qquad \lambda_i = \frac{\partial V}{\partial x_i}. \qquad (11)$$

Следовательно, функция Гамильтона в T задаче принимает вид:

$$H(\mathbf{x},\mathbf{u},\boldsymbol{\lambda},t)=\lambda_0 f_0+\frac{dV}{dt}+\sum_{i=1}^{n}\frac{\partial V}{\partial x_i}f_i \quad (12)$$

Задача поиска оптимальной траектории при заданных управлениях решается как прямая Т задача:

$$\begin{aligned}&\mathbf{x}^*\to_{u=u^*}\min H(\mathbf{x},\mathbf{u},\boldsymbol{\lambda},t)=\\&=\min\nolimits_{u=u^*}\{\lambda_0 f_0+\frac{dV}{dt}+\sum_{i=1}^{n}\frac{\partial V}{\partial x_i}f_i\}\end{aligned} \quad (13)$$

Полученное условие является уравнением Беллмана и, совместно с условием стационарности по управлению, позволяет определить оптимальное управление на всей траектории.

Причем требование существования и единственности решения позволяет утверждать, что оптимальная траектория состоит из оптимальных траекторий.

Дополнительно следует отметить, что данная задача является прямой задачей:

$$\mathbf{x}^*\to_{u=u^*}\min H(\mathbf{x}^*,\mathbf{u}^*,\boldsymbol{\lambda}^*). \quad (14)$$

Учитывая, что на каждом шаге решается выпуклая задача, получаем в целом выпуклую задачу, а следовательно, достигаем глобального оптимума.

Для рассматриваемого случая динамическая система одномерна и линейна, следовательно, используя условие (11), можем записать:

$$\begin{aligned}&\mathbf{x}^*\to_{u=u^*}\min H(\mathbf{x},\mathbf{u},\boldsymbol{\lambda},t)=\\&=\min\nolimits_{u=u^*}\{\lambda_0 f_0+\frac{d\lambda_1}{dt}+\lambda_1 f\}=0\end{aligned}. \quad (15)$$

Из выражения (15) следует, что на оптимальной траектории при оптимальном управлении для линейной системы, уравнение Белмана принимает вид:

$$\frac{d\lambda_1}{dt}+\lambda_1 f=-\lambda_0 f_0. \quad (16)$$

Или, с учетом выражения (5), для свободного движения (16), можем записать:

$$\frac{d\lambda_1}{dt}+\lambda_1\frac{dx}{dt}=0. \quad (17)$$

Что, при закреплении $x_0=0$, $x_1=f_0$, дает общее решение (17) в виде:

$$\lambda_1=Ce^{-x}. \quad (18)$$

Поскольку λ_0 можно принять равным единице, получаем, что, для отрезка постоянства f_0, решение уравнения Белмана имеет вид:

$$\lambda_1(t)=\frac{\delta J}{\delta x}=f_0(1-e^{-x(t)}). \quad (19)$$

Следовательно, оптимум связан с экспоненциальной чувствительностью функционала цели к ограничениям на каждом участке траектории.

Для случая дискретных переходов это порождает стандартную процедуру динамического программирования – двигаясь из конечной точки траектории, находим оптимальную траекторию и, при прямом движении, определяем оптимальное управление, удерживающее систему на данной траектории.

Так как декларируется попятное движение, то, на каждом отрезке траектории, множитель Лагранжа в задаче подчиняется условию (17) в виде:

$$\frac{d\lambda_1}{dt}+\lambda_1 f=0. \quad (20)$$

Таким образом, получаем решение задачи нахождения оптимальной траектории обучения X*, как алгоритм динамического программирования (рис. 4).

Второй задачей является выполнение найденной траектории.

Как известно [11], данная задача решается с использованием адаптивных технологий управления информационными системами.

Основываясь на представлении информационной системы с помощью структурных моделей, описывающих потоки информации, возникающие при реализации информационных технологий, в данном случае, технологий управления информационными системами, имеем возможность описать систему обучающего (учителя).

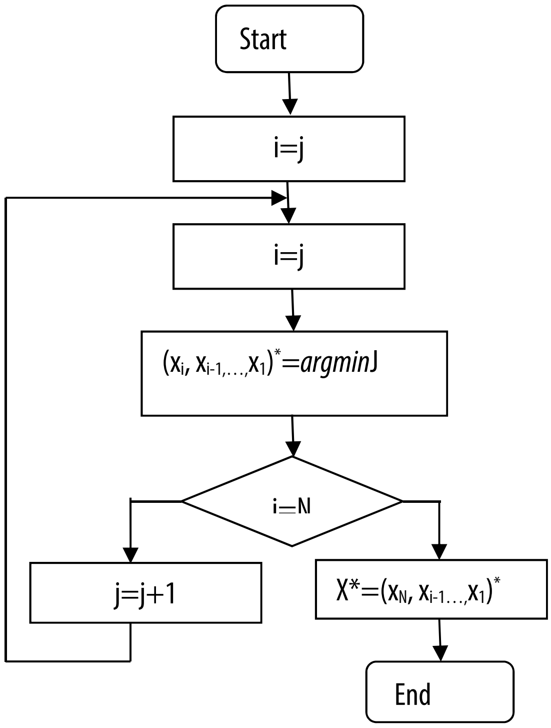

Рисунок 4 – Процедура определения оптимальной траектории обучения

Используя процедуру определения оптимальной траектории обучения, найдена требуемая последовательность передачи информации по каналу учитель – ученик, формируем модель оптимального управления информационными потоками по каналу учителя (рис.5).

Модель, представленная на рис. 5, позволяет взаимно разделить: канал коррекции траектории по оценке информации об ошибке обучаемого ΔI; канал коррекции модели обучаемого, строящейся на анализе прошлых его действий и сделанных ранее ошибок; канал прогноза действий обучаемого, выполняемого на основе текущих ошибок и модели обучаемого.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

Исследована траектория обучения. В результате проведенного анализа, получены следующие заключения: задача построения оптимальной траектории обучения принадлежит к классу задач управления информационными системами; при построении траектории обучения, любое исключение элемента из объема знаний ведет к нарушению реальной траектории обучения и к потере способности обучаемого решать задачи; специфика оценки знаний, в процессе обучения, позволяет найти частное решение уравнения Беллмана для построения оптимального управления информационными потоками подсистемы обучающего.

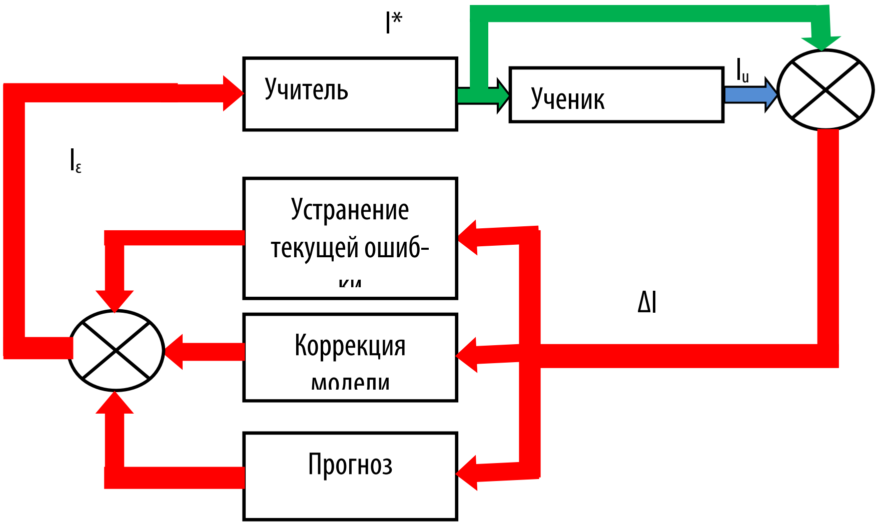

Рисунок 5 – Управление информационными потоками по каналу обучающего

ЛИТЕРАТУРА

1. Greben' I. I. Avtomaticheskie ustrojstva dlja obuchenija / I. I. Greben', A. M. Dovgjalo – K.: Naukova dumka, 1965. – 193 s.
2. Dovgjalo A. M. Tehnologija proektirovanija i razrabotki gibkih distancionnyh obuchajushhih kursov / A. M. Dovgjalo // USiM – upravljajushhie sistemy i mashiny. – 1991. – №1 – S. 95-106.
3. Savel'ev A. Ya. Obuchajushhie mashiny, sistemy i kompleksy / A. Ya. Savel'ev. – K.: Vishha shkola, 1996. – 303 s.
4. Hoa Thang Sravnitel'nyj analiz sistem distancionnogo obuchenija / Hoa Tat Thang // Obshhie problemy obrazovanija. – 2009. – №2. – S. 9-13.
5. Shandrinov V. D. Informacionnye tehnologii v obrazovanii / V. D. Shandrinov // Innovacii v obrazovanii. – 2001. – № – S. 28-33
6. Skibickij E. G. Didakticheskoe obespechenie processa distancionnogo obuchenija / E. G. Skibickij // Distancionnoe obrazovanie. – M. 2000. – №1. – S. 21-25
7. Sokolov A. E. Modelirovanie processa obuchenija s ispol'zovaniem modelej obuchaemogo i obuchajushhegosja / A. E. Sokolov // Problemi informacijnih tehnologij. – 2009. – №2. – S. 154-157
8. Sokolov A. E. Osnovnye principy sozdanija komp'juternyh obuchajushhih programm / A. E. Sokolov // Informatizacija osviti Ukraïni. V mizhn. nauk.-prak. Konferencija traven' 2009, tezi dopov. Herson, 2009. – S. 46-48
9. Sokolov A. E. Formalizacija sostavljajushhih processa obuchenija / A. E. Sokolov, E. O. Mahova // Vestnik HNTU. – 2009, №1 (34) – S. 508-512
10. Petrov E. G. Sovremennye tehnologii obuchenija v vysshej shkole / E. G. Petrov, L. N. Radvannaja, N. V. Sharonova – Har'kov: Kollegium, 2007. – 172 s.
11. Krasovskij A. A. Spravochnik po teorii avtomaticheskogo upravlenija / A. A. Krasovskij – M.: Nauka fizmat-izdat, 1987. – 712 s.

Рецензент: д.т.н., проф. В.А. Доровской
Профессор кафедры информатики и
социально-гуманитарных дисциплин
Криворожского филиала ЧВУЗ
«Европейский университет»