МОДЕЛЬ АГЕНТА В ИНФОРМАЦИОННОЙ ТЕХНОЛОГИИ НАКОПЛЕНИЯ ЗНАНИЙ

УДК 004.91

СОКОЛОВА Оксана Валентиновна
ассистент кафедры ЕК и УП ХНТУ
Научные интересы: информационные технологии в образовании, управление проектами.

СОКОЛОВ Андрей Евгеньевич
доцент кафедры ИТ ХНТУ
Научные интересы: информационные технологии в образовании.

ВВЕДЕНИЕ

Индивидуализация процесса обучения декларируется как неотъемлемое свойство компьютеризированных систем обучения (КСО)[1,2]. Одним из вариантов достижения данного свойства в таких системах является использование модели обучаемого [3]. При этом КСО должна обеспечить возможность выбора приемов и способов учебной работы, методов и стратегии обучения, наиболее отвечающих индивидуальным особенностям обучаемого.

В настоящее время для моделирования процесса обучения применяется очень большое количество различных подходов: от теории автоматов до теории нечетких множеств. Однако можно утверждать, что исчерпывающих результатов в этой области не достигнуто. Это связано с большой сложностью и динамичностью объекта управления. При этом предполагается, что процесс обучения представляет собой последовательную совокупность освоения отдельных разделов учебного материала, для каждого из которых формируется информационный поток. Возникает задача определения оптимальной стратегии формирования информационного потока. Каждый этап обучения заканчивается контролем работоспособности, психофизиологического состояния, а также контролем знаний обучающегося, который может иметь различные результаты.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Для решения задачи определения оптимальной стратегии формирования информационного потока в процессе накопления знаний и обучения необходимо иметь математическую модель процесса восприятия информации и накопления знаний. При построении модели, прежде всего, необходимо определить множество, с элементами которого мы имеем дело. Исходя из концепции описания поведения агента как процесса взаимодействия с внешней средой, рассмотрим множество Ω, элементы которого ω_i соответствуют конкретным объектам или явлениям внешней среды. Каждое событие, явление или объект связан с его представлением в виде сигнала или последовательности сигналов, что определяется соответствием Γ: $\omega_i \rightarrow \xi_i$. Однако собственно явления внешнего мира связаны с определенной причиной, которую можно отождествлять с информацией. В этом случае предположение функциональной связи позволяет считать, что представление объекта определяется информацией, определяющей объект. Действительно, при описании явления производится формирование сообщения о существенных особенностях объекта.

С другой стороны, используя для описания процесса накопления знаний и обучения понятие агента, получаем возможность определить «разумность» как стремление к достижению определенной цели.

Эта цель может быть поставлена искусственно (для проведения эксперимента) или существовать естественно, но важно, что в таком случае поведение агента описывается оптимизационной моделью с ограничениями. Конкретная функция цели f_i принадлежит множеству функций цели *F*. Исходя из такого предположения, можно считать, что каждое сообщение изменяет функцию цели:

$$f_i = f_i(I_i) \quad (1)$$

При этом поведение объекта определяется через определение информации, доставляющей экстремум функции цели при ограничениях, имеющихся в задаче:

$$\begin{aligned} & I_i^* \to extrf_i; \\ & \phi(I) \le 0. \end{aligned} \quad (2)$$

Таким образом, на множестве объектов формируется множество описаний *Г*: $\omega_i(I) \to \xi_i(I)$. Соответствие *Г* в общем случае взаимнооднозначное $Г^{-1}$: $\xi_i(I) \to \omega_i(I)$. Действительно, описание позволяет представить объект.

Существенной особенностью задачи описания пространства над множеством объектов, является необходимость избежать определения множества *Г*, так как единственным важным свойством этого соответствия является обратимость. Таким образом, структура, которой наделено множество объектов, образуется соответствием и его правилами.

Однако, используя свойство однозначности соответствия можно определить метрику в данном пространстве, основываясь на предположении аналитичности связи функции цели и информации. Представим функцию цели в виде ряда:

$$\begin{aligned} & f(I) = f(I_0) + \frac{1}{1!}\frac{df}{dI}_{I=I_0} \\ & \Delta I + \frac{1}{2!}\frac{d^2 f}{dI^2}_{I=I_0} \Delta I^2 \ldots + R, \end{aligned} \quad (3)$$

где I_0 – наличная информация.

Рассмотрим линейное приближение и предположим, что скорость изменения функции цели пропорциональна наличной информации, что характерно для задачи обучения – мы тем быстрее учимся, чем мы умнее. Тогда можно записать:

$$\frac{df}{dI} = \alpha I \quad (4)$$

Собственно мера Хартли основана на предположении, что скорость изменения вероятности по информации пропорциональна текущей вероятности, что соответствует задаче обучения.

Решая дифференциальное уравнение (4), получаем:

$$\begin{aligned} & df = \alpha I dI \\ & \int df = \alpha \int I dI; \\ & f = \frac{\alpha}{2} I^2 + C. \end{aligned} \quad (5)$$

Так как при отсутствии информации выигрыш отсутствует, то начальное условие принимает вид:

$$\begin{aligned} & I_0 = 0; \\ & f(I_0) = 0. \end{aligned} \quad (6)$$

Следовательно,

$$f = \frac{\alpha}{2} I^2. \quad (7)$$

Используя граничные условия $f(I_m)=f_m$, определим коэффициент α:

$$\alpha = \frac{2 f_m}{I_m^{\ 2}} \quad (8)$$

Тогда связь между функцией цели и информацией в данной задаче принимает вид

$$I = I_m \sqrt{\frac{f}{f_m}} \quad (9)$$

Собственно, выражение (9) определяет норму в рассматриваемом информационном пространстве.

Так как по определению информация неотрицательна и целевая функция неотрицательна тоже, выполняются аксиомы нормы:

$$\begin{cases} \|I\| = I_m \sqrt{\dfrac{f}{f_m}} \geq 0; \\ \|I\| = 0 \Leftrightarrow I = 0; \\ \|CI\| = I_m \sqrt{\dfrac{C^2 f}{f_m}} = |C|\|I\|; \\ \|I_1 + I_2\| \leq \|I_1\| + \|I_2\|. \end{cases} \quad (10)$$

Неравенство треугольника доказывается следующим образом:

$$\begin{aligned} & I_m \sqrt{\frac{f_1 + f_2}{f_m}} \leq I_m \sqrt{\frac{f_1}{f_m}} + I_m \sqrt{\frac{f_2}{f_m}}; \\ & \frac{f_1 + f_2}{f_m} \leq \frac{f_1}{f_m} + \frac{f_2}{f_m} + 2\sqrt{\frac{f_1}{f_m}}\sqrt{\frac{f_2}{f_m}}; \\ & 0 \leq 2\sqrt{\frac{f_1}{f_m}}\sqrt{\frac{f_2}{f_m}}. \end{aligned} \quad (11)$$

Для определения метрики исходим из того, что норма - это метрика от нуля a(I,0)=||I||, что определяет норму, в данном случае, как достигнутое при получении сообщения значение функции цели при условии отсутствии априорной информации. Таким образом, при определении нормы не учитываются знания полученные ранее.

В реальной ситуации существование ранее накопленных знаний ограничивает значение получаемой информации. Следовательно, необходимо рассматривать задачу достижения условного оптимума (2). Обозначим через $f_{x/y}$ значение функции цели в условной задаче:

$$\begin{aligned} & I_x \to extrf_x; \\ & I_x \in I_d; \\ & \left\{ I_d \,\middle|\, f_y(I_d) - \beta \leq 0 \right\}. \end{aligned} \quad (12)$$

Исходя из этого условия, метрика в задаче накопления знаний, будет определяться условным изменением целевой функции:

$$a(I_x, I_y) = I_m \sqrt{\frac{f_{x/y}}{f_m}}. \quad (13)$$

Так как $f_{x/y}$ неотрицательна, расстояние всегда реально и неотрицательно. Что обеспечивает выполнение аксиомы неотрицательности:

$$a(I_x, I_y) \geq 0. \quad (14)$$

Расстояние обращается в ноль тогда, когда ограничения совпадают с целью и задача вырождается, что обеспечивает выполнение аксиомы тождества:

$$a(I_x, I_y) = 0 \Leftrightarrow I_x = I_y. \quad (15)$$

Для выпуклых функций цели существует двойственность в прямой задаче:

$$\left. \begin{aligned} I_x \to extrf_x = f^* \\ f_y(I_x) = C \end{aligned} \right\}, \quad (16)$$

и обратной задаче:

$$\left. \begin{aligned} I_x \to extrf_y = C \\ f_x(I_x) = f^* \end{aligned} \right\}. \quad (17)$$

В силу этого выполняется аксиома симметрии:

$$a(I_x, I_y) = a(I_x, I_y). \quad (18)$$

Следовательно, сообщение, переданное источником и возвращенное приемником, не изменяет состояния источника.

Поскольку сообщения $I_{x/y}$ и $I_{y/z}$ имеют неотрицательные метрики и передаваемая информация не меньше информации $I_{x/z}$, то выполняется условие треугольника:

$$a(I_x, I_z) \leq a(I_x, I_y) + a(I_y, I_z). \quad (19)$$

Таким образом, аксиомы метрики выполняются, и мы имеем нормированное метрическое пространство над множеством объектов. Так как основной характеристикой данного пространства является информация, то рассматриваемое пространство целесообразно отнести к информационным пространствам. При этом если ||I||=0, то информация на данный момент бесполезна. А в общем случае сообщение связано с информацией, лежащей в пределах от нуля до максимальной информации, которую может содержать носитель или сообщение.

Для операций, связанных с нормой, то есть для случая анализа входного потока информации, могут быть осуществлены следующие операции:

1. Умножение на константу

$$IC = I_m \sqrt{\frac{C^2 f}{f_m}}. \qquad (20)$$

2. Сложение

$$I = \sum_1^n I_i = \sum_1^n I_{mi} \sqrt{\frac{f_i}{f_{mi}}} \qquad (21)$$

При этом выполняются условия линейности:

$$\begin{aligned}
&1.\quad I_1 + I_2 = I_2 + I_1.\\
&2.\quad (I_1 + I_2) + I_3 = I_1 + (I_2 + I_3).\\
&3.\quad I + 0 = I.\\
&4.\quad I - I = 0.\\
&5.\quad C_1(C_2 I) = (C_1 C_2) I.\\
&6.\quad 1 \cdot I = I.\\
&7.\quad (C_1 + C_2) I = C_1 I + C_2 I.\\
&8.\quad C(I_1 + I_2) = C_1 I + C_2 I.
\end{aligned} \qquad (22)$$

Таким образом, информационное пространство входных сообщений, рассматриваемое вне задачи накопления информации, линейно.

Однако в задаче накопления информации ситуация изменяется. Действительно, если первое сообщение определяется только количеством информации, связанным с сообщением, то последующие сообщения менее информативны, так как расстояние между накопленной и поступающей информацией падает. Предположим постоянное повторение входной информации $I_1=I_2=\ldots=I_n$. В таком случае реализуется последовательное изменение выигрыша от полученной информации:

$$\begin{aligned}
&I_1 \to f_1;\\
&I_2 \to f_{2/1};\\
&I_3 \to f_{3/1,2};\\
&\ldots\\
&I_n \to f_{n/1\ldots n-1}\quad .
\end{aligned} \qquad (23)$$

Так как с каждым шагом ужесточаются ограничения, то, как следствие, ослабевает оптимум:

$$f_1 \ge f_{2/1} \ge f_{3/1,2} \ge \ldots \ge f_{n/1\ldots n-1} \quad . \qquad (24)$$

Следовательно, при постоянной входной информации воспринимаемая информация уменьшается с каждым шагом. Обозначив воспринимаемую информацию как I_ε, можем записать:

$$I_\varepsilon(1) \ge I_\varepsilon(2) \ge I_\varepsilon(3) \ge \ldots \ge I_\varepsilon(n) \quad . \qquad (25)$$

Предположив, что каждый акт подачи сообщения занимает по времени интервал Δt, можем перейти к временной зависимости $I_\varepsilon = I_\varepsilon(i\Delta t)$. Естественно при $\Delta t \to 0$ переходим к непрерывному времени.

В таком случае естественно предположить, что скорость изменения информации пропорциональна текущему количеству информации, то есть предположить закон органического роста в процессе накопления информации:

$$\frac{dI_\varepsilon}{dt} = \alpha I_\varepsilon. \qquad (26)$$

Данное предположение позволяет получить математическую модель динамики процесса накопления информации. С другой стороны возможность оценки информативности сообщений и степени накопления информации позволяет оптимизировать соотношение полезной информации и используемого носителя. Действительно, при достижении максимума функции цели достигается максимальное значение информации:

$$I = I_m \sqrt{\frac{f_m}{f_m}} = I_m. \qquad (27)$$

Используя известные методы описания динамических систем, и введя в модель входную информацию I_x, представим динамику процесса переходным процессом линейной системы, соответствующей модели (26):

$$\begin{aligned}
&\frac{dI_\varepsilon}{dt} = -\alpha I_\varepsilon + \beta I_x;\\
&pI_\varepsilon(p) = -\alpha I_\varepsilon(p) + \beta I_x;\\
&I_\varepsilon(p) = \frac{(\beta/\alpha)}{(1/\alpha)p + 1}.
\end{aligned} \qquad (26)$$

Или обозначив $\beta/\alpha = k$ и $1/\alpha = T$, получим передаточную функцию канала накопления информации:

$$\begin{aligned}
&I_\varepsilon(p) = W(p) I_x(p);\\
&W(p) = \frac{k}{Tp+1}.
\end{aligned} \qquad (27)$$

Следовательно, математическая модель процесса накопления знаний, в простейшем случае может быть описана процессом накопления 1 и потери 2 информации, рис. 1

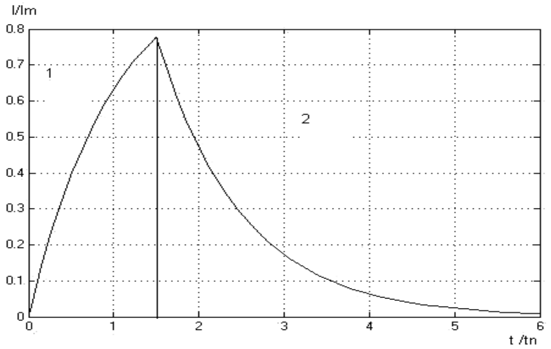

Рисунок 1 – Процесс накопления и потери информации.

Однако реальная ситуация усложняется связями между различными объектами и их информацией. В этом случае необходимо учитывать связность и влияние различных информационных объектов, накопленных системой. Предположив, что данный объект связан с n объектами, можем охарактеризовать количество информации n мерным вектором:

$$\vec{I}_{\varepsilon} = \mathbf{I}_{\varepsilon} = \begin{bmatrix} I_{\varepsilon 1} \\ I_{\varepsilon 2} \\ \vdots \\ I_{\varepsilon n} \end{bmatrix}. \qquad (28)$$

Тогда динамика накопления и потери информации описывается системой дифференциальных уравнений:

$$\dot{\mathbf{I}}_{\varepsilon} = A\mathbf{I}_{\varepsilon} + B\mathbf{I}_{x}. \qquad (29)$$

При этом элемент a_{ij} описывает связь i – го и j-го компонентов вектора информации, а элемент матрицы B описывает влияние входной информации на процесс накопления и потери информации.

В процессе накопления информации происходит накопление информации, описываемое изменением или траекторией вектора $\boldsymbol{I}_{\varepsilon}(t)$. Существенно, что ожидаемое количество информации связано с ожидаемым выигрышем от наличия этой информации. Предположив, для простоты, что максимальное количество информации постоянно – случай плановых занятий, можем записать

$$M\left\{\mathbf{I}_{\varepsilon}\right\} = \mathbf{H}_{\varepsilon} = \begin{bmatrix} M\left\{\mathbf{I}_{\varepsilon 1}\right\} \\ M\left\{\mathbf{I}_{\varepsilon 2}\right\} \\ \vdots \\ M\left\{\mathbf{I}_{\varepsilon n}\right\} \end{bmatrix}. \qquad (30)$$

Следовательно, энтропии, оценивающей ожидаемую информацию $\boldsymbol{H}_{\varepsilon}$, соответствует траектория $\boldsymbol{I}_{\varepsilon}(t)$, и, с другой стороны, предположение постоянства максимальной информации позволяет оценивать ожидаемую полезность накопленной информации:

$$M\left\{\frac{1}{I_m^2}\mathbf{I}_{\varepsilon}^T\mathbf{I}_{\varepsilon}\right\} = M\left\{\sum_{i=1}^{n}\frac{f_i}{f_m}\right\}. \qquad (31)$$

ВЫВОДЫ

Таким образом, для решения задачи определения оптимальной стратегии формирования информационного потока в процессе накопления знаний и обучения предложена математическая модель процесса накопления информации в информационном пространстве, которая представлена линейной динамической системой. Энтропия системы описывает ожидаемую информацию, накопленную в системе, и связана с ожидаемой полезностью накопленной информации. Входная информация, выполняющая роль управления в модели динамики, может значительно перегружать каналы поступления информации, что требует согласования пропускной способности канала управления с потоком входной информации, для чего потребуются дополнительные исследования.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Bardachjov Ju.N. Integrirovannaja komp'juterizirovannaja sistema upravlenija universitetom na baze Internet/ Intranet tehnologij/ Ju.N. Bardachjov, A.E. Sokolov// Visnik Hersons'kogo nacional'nogo universitetu. – 2008. – № 1(30). – s. 112-116..
2. Meteshkin K.A. Teoreticheskie osnovy postroenija intellektual'nyh sistem upravlenija uchebnym processom v vuze/ K.A. Mateshkin/ Har'kov: Jekograf, 2000. -276s.
3. Sokolov A.E. Modelirovanie processa prinjatija pedagogicheskogo reshenija pri komp'juterizirovannom obuchenii/ A.E. Sokolov, E.O. Mahova// Avtomatika. Avtomatizacija. Jelektrotehnicheskie kompleksy i sistemy. – 2010. – №1(25). – s. 59-61.