УДК 004.318 DOI: 10.30748/soi.2017.148.03

В.П. Бурдаев

Харьковский национальный экономический университет им. С. Кузнеца, Харьков

СЛОЖНЫЕ ДИНАМИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ, ОСНОВАННЫЕ НА РАССЛОЕНИИ ЗНАНИЙ

Рассматривается модель иерархической функциональной системы динамической предметной области на основе понятия расслоения базы знаний. Предложен, реализован и исследуется механизм интерпретации модели иерархической функциональной системы в условиях динамического изменения ее параметров (базового класса, связей между классами и взаимодействия объектов классов).

Ключевые слова: *иерархическая функциональная система, онтология, динамические базы знаний, фильтрация, сложность, связность, устойчивость баз знаний.*

Введение

Необходимость построения динамических моделей предметной области является одной из причин их использования, как людьми, так и программными агентами. Например, консорциум W3C разрабатывает OWL (ontology web language), с помощью которого предметная область может быть представлена в виде модели объект-свойство для программных агентов, которые осуществляют поиск информации. В этом смысле онтологии представляют собой интеллектуальные средства для развития и совершенствования сети Интернет.

Интеллектуализация компьютерного обучения предполагает использование методов и моделей представления знаний на базе систем, основанных на знаниях. В связи с развитием Web-технологий экспертные системы (ЭС) и экспертные обучающие системы (ЭОС) мигрируют в дистанционное обучение и поддерживают парадигму мультиагентных систем, которая базируется на способности таких систем к развитию и общению в соответствии с объективными изменениями предметной области[1].

Целью данной работы является исследование модели иерархической функциональной системы на основе понятия расслоения базы знаний предметной области, обладающих динамической структурой и с возможностью самоадаптации в процессе эксплуатирования. Данная работа является развитием исследований [2–7].

Постановка задачи. Разработать эффективную математическую модель обработки динамических баз знаний.

Основная часть

Проблема выявления темпоральных знаний является насущной при решении многих задач в области искусственного интеллекта. Имеется несколько путей ее решения, например, традиционное направление – это использование в явном виде времени в темпоральных моделей знаний [8; 9] и другой подход – это использование времени в неявном виде на идеи расслоения базы знаний [2–7].

Последний подход подразумевает представления динамических свойств моделей темпоральных знаний, зависящих от внешних воздействий. Типичным представителем такого класса моделей являются открытые динамические системы, заданные неавтономными дифференциальными уравнениями. Однако, обладая замечательными свойствами описывать сложную динамику нелинейных процессов, они плохо приспособлены для выявления особенностей этой динамики непосредственно из данных в форме элементов базы знаний в силу слабой интерпретационной пригодности дифференциальных уравнений. Кроме того, открытые динамические системы теряют свои преимущества при работе со слабо структурированными временными данными в условиях априорной нехватки информации или когда ее значительная часть доступна лишь в виде экспертно-эвристических описаний.

Динамические системы. Описание конечномерных детерминированных процессов, протекающих в изолированной (автономной) системе, задается в виде дифференциального уравнения

$$\frac{dx}{dt} = F(x) \ (x \in M), \qquad (1)$$

где M – некоторое дифференцируемое многообразие (например, область евклидового пространства). Уравнение (1) является локальной записью глобального объекта – векторного поля X на M, т. е. сечения $X: M \to TM$ касательного расслоения (TM, τ_M, M). При некоторых общих предположениях векторное поле определяет (согласно теоремам существования, единственности и продолжаемости решений дифференциальных уравнений) фазовый поток на M, т.е.

однопараметрическую группу $\{f^t \mid t \in T\}$ преобразований $f^t: M \to M$ фазового пространства. Фазовый поток в свою очередь определяет слоение, т.е. разбиение M на траектории потока (M,R,f), которое называется фазовым портретом системы. Формально автономность означает, что в правую часть уравнения (1) не входит независимая переменная t, которая интерпретируется как время.

Определение 1. Пусть M – топологическое пространство, T – топологическая группа (с аддитивной записью операции), $f: M \times T \to M$ – непрерывное отображение, удовлетворяющее условиям:

1) $f(x,0)=x$ ($x \in M$, 0 – нуль группы T),

2) $f(f(x,t),s)=f(x,t+s)$ ($x \in M$, $t,s \in T$).

Тогда триплет (M,T,f) называют топологической группой преобразований или общей динамической системой.

В дальнейшем предполагаем, что M – компактное метрическое пространство (с метрикой d), а T – либо группа R вещественных чисел, либо группа Z целых чисел. В первом случае динамическая система называется потоком, во втором – каскадом.

Динамическую систему (M,T,f) будем обозначать одной буквой f. Наряду с f будем рассматривать систему f*, определенную равенством

$$f^*(x,t)=f(x,-t) \ (x \in M,\ t,s \in T).$$

Поскольку M – компактное пространство, то справедливо свойство (равномерной) интегральной непрерывности: для любых двух чисел $\varepsilon>0$ и $L>0$ можно указать число $\delta>0$ так, что $d(f(x,t),f(y,t))<\varepsilon$ при всех $t \in [-L, L]$, если $d(x,y)<\delta$.

Определение 2. Подмножество A⊂ M называется аттрактором динамической системы (M,R,f), если существует такая замкнутая окрестность $\overline{S}$ подмножества A, что $A=\bigcap\limits_{t>0} f\left(\overline{S}(A),[t,+\infty)\right)$.

Аттрактор — это геометрическая структура, характеризующая поведение динамической системы в фазовом пространстве в конце длительного времени. Другими словами, аттрактор — это то, к чему стремится прийти система, к чему она притягивается.

Отметим, что множество A является аттрактором тогда и только тогда, когда оно асимптотически устойчиво в положительном направлении. Обозначим $W^s(A)=\{x \in M \mid \omega$-предельное множество точки x содержится в $A\}$, $A^*=M \backslash W^s(A)$. Множество A* называют репеллером двойственным к A. Это множество асимптотически устойчиво в отрицательном направлении.

Обозначим через $\mathfrak{M}$ множество непрерывных потоков, наделенное C^0-топологией, которая задается метрикой D:

$D(f,g) = \sup \min \{\sup d(f(x,t),g(x,t)),\ 1/\ell\}$ $(\ell>0,\ |t| \le \ell,\ x \in M)$.

Лемма 1. Пусть A – аттрактор системы f и S окрестность множества A. Существует такое число $\delta>0$, что если система g принадлежит δ–окрестности системы f в $\mathfrak{M}$ – то она имеет аттрактор, содержащийся в U.

Доказательство. Окрестность S(A) считаем столь малой, что $S \subset W^s(A,f)$. Тогда найдется число $t_0>0$, для которого $f(\overline{S},t_0) \subset S$. Если динамическая система $g \in S(f,\delta) \subset$, то $g(\overline{S},t_0) \subset S$. Следовательно, $\bigcap\limits_{t>0} g\left(\overline{S},[t,+\infty)\right)=\tilde{A}$ – аттрактор системы g, причем $\tilde{A} \subset S$.

В зависимости от сложности колебательного режима, аттракторы делятся на простые и сложные.

Простейшим одномерным аттрактором является точка имеющий вид или фокуса или узла. Такой аттрактор характерен для маятника при наличии трения. Независимо от начальной скорости и положения, такой маятник всегда придет в состояние покоя, т.е. в точку.

Двумерным аттрактором является предельный цикл, имеющий вид замкнутой кривой линии. Примером такого аттрактора может служить периодическая замкнутая траектория уравнения Ван дер Поля.

Заметим, что одномерный и двумерный аттракторы структурно устойчивые. Понятие структурной устойчивости (грубости) в современной математики динамических систем является центральным, которое подразумевает выявление качественных изменений в траектории движения при изменениях структуры самой системы. Другими словами, изучаются свойства поведения данной системы по отношению к поведению всех "близких" к ней аналогичных систем, т.е. малые возмущения структурно устойчивой системы должны приводить к соответственно малым изменениям в динамике ее поведения.

В случае трехмерных аттракторов встречаются как структурно устойчивые (аттрактор Плыкина), так не структурно устойчивые (аттрактор Лоренца). Трехмерные аттракторы, называют странными (хаотическими), поскольку представляют собой более сложную траекторию и характерны для самоорганизующихся систем. Такие аттракторы имеют фрактальную структуру.

В диссипативных системах при стремлении системы к аттрактору происходит сжатие фазового объёма:

– в точку, если аттрактор – узел или фокус;

– в замкнутую траекторию, соответствующую устойчивому периодическому движению, если аттрактор – предельный цикл;

– в тор, соответствующий устойчивому квазипериодическому движению, если аттрактор – двумерный тор.

В случае странного аттрактора также происходит сжатие фазового объёма диссипативной динамической системы, но на самом аттракторе движение является неустойчивым.

Заметим, что одномерный и двумерный аттракторы структурно устойчивые, то есть для них выполнено условие трансверсальности пересечения их устойчивого и неустойчивого многообразий. Напомним, что трансверсальность или свойство общего (естественного) положения влечет структурную устойчивость.

Наряду с понятием структурной устойчивости динамической системы важным свойством системы является ее персистентность (сохранение), т.е. возможность сохранять инвариантное многообразие для всех близких к ней систем. Другими словами, способность системы, адаптироваться к внешним воздействиям, т.е. проявлять живучесть. Например, согласно леммы 1 динамическая система имеющая аттрактор обладает свойством персистентности в C^0 топологии, поскольку все достаточно близкие к ней системы также имеют аттрактор.

На качественном уровне динамическая система тем сложнее, чем больше в ней аттракторов типа фракталов.

Открытые системы. Отличительная особенность объектов, изучаемых в биологии, химии, синергетике – в их открытости, не изолированности от внешней среды, неавтономности, т.е. эволюция объектов задается уравнениями вида

$$\frac{dx}{dt} = F(x,t) \ (x\in M,\ t\in R). \qquad (2)$$

Поскольку правая часть уравнения (2) не инвариантна относительно сдвигов переменной t, то решения (2) не определяют в M ни слоения, ни группы преобразований. Это затрудняет исследований неавтономных уравнений.

Закон эволюции уравнения (2) можно описать следующими уравнениями

$$\begin{cases} \dfrac{dx}{dt} = f(x,b); \\ \dfrac{db}{dt} = g(b), \end{cases} \quad (x\in F,\ b\in B,\ t\in R) \qquad (3)$$

на гладком расслоении $(B x F, pr_1, B)$. Именно, если $b=\varphi(b_0,t)$, $b_0=\varphi(b_0,t)$, – решение второго уравнения

$$\frac{db}{dt} = g(b) \quad (b\in B,\ t\in R), \qquad (4)$$

то получаем семейство неавтономных дифференциальных уравнений

$$\frac{dx}{dt} = f(x,\ \varphi(b_0,t)) \quad (x\in F,\ b_0\in B,\ t\in R), \qquad (5)$$

зависящих от параметра b϶B. Пространство F интерпретируем как фазовое пространство изучаемого объекта, состояние которого описывает переменная x, а B – как внешнюю среду. Так как уравнение (4) не зависит от переменной x, то изучаемый объект не влияет на внешнюю среду, то время как он сам подвержен воздействиям этой среды. Таким образом, с содержательной точки зрения не автономность системы (2) заключается в том, что изучаемый объект зависит от изменения внешней среды.

Приведем не вполне строгое определение этого понятия, ограничиваясь для простоты моделью (3).

Обычно изменения внешней среды, описываемые уравнением (4), являются значительно более медленными по сравнению с изменениями состояния изучаемого объекта. Поэтому под структурной устойчивостью гладкого расширения понимают структурную устойчивость фазового потока системы (3) при возмущениях, не меняющих поток поля (4), причем сопрягающий гомеоморфизм должен накрывать тождественное отображение многообразия B. Более подробно, расширение (3) структурно устойчиво, если для всех достаточно малых гладких возмущений система (6):

$$\begin{cases} \dfrac{dx}{dt} = f(x,b) + r(x,b); \\ \dfrac{db}{dt} = g(b), \end{cases} \qquad (6)$$

сопряжена системе (3), причем сопрягающий гомеоморфизм имеет вид $h(x,b) = (\bar{h}(x,b),b)$. Глобальное определение структурной устойчивости неавтономных дифференциальных уравнений дано в §3 [2]. Отметим, что если база B расслоения $(B x F, pr_1, B)$ состоит из одной периодической траектории, то приведенное определение совпадает с принятым в теории периодических дифференциальных уравнений.

Приведем описание модели (3) в терминах глобального анализа. Тройка объектов (M,p,B) образует расслоение, где $p:M\to B$ непрерывное отображение (проекция), B – база расслоения, $M_b\equiv p^{-1}(b)$ – слой расслоения.

Пусть (M,p,B) – гладкое расслоение и $X:M\to TM$ и $Y:B\to TB$ - два векторных поля, причем $Tp(X(m))=Y(p(m))$, $(m\in M)$. В локальных координатах поле X задается системой вида (3), поле Y – вторым уравнением этой системы.

Пусть (M,R,π) и (B,R,ρ) – фазовые потоки векторных полей X и Y соответственно. Тогда отображение $p:M\to B$ является гомоморфизмом потока (M,R,π) на (B,R,ρ), т.е.

$$p(\pi^t(m))=\rho^t(p(m)) \ (m\in M,\ t\in R).$$

В таком случае говорят, что поток (M,R,π) является расширением потока (B,R,ρ). Часто само отображение $p:(M,R,\pi)\to(B,R,\rho)$ расширением динамических систем. При этом база B интерпретируется как фазовое пространство среды, а фазовые состояния изучаемого объекта при фиксированном состоянии $b\in B$ внешней среды изображаются точками слоя $M_b\equiv p^{-1}(b)$.

Математическая модель иерархической функциональной системы расслоения базы знаний. Для изучения глобальных свойств динамических процессов в предметных областях применяют математические структуры из дифференциальной топологии – многообразия, которые интерпретируются как "пространство состояний", а динамический процесс моделируют с помощью дифференцируемых отображений (диффеоморфизмов или гладких потоков).

Техника глобального анализа во многом опирается на предположение о компактности многообразия без края, что не выполняется для информационных потоков в предметных областях. Поэтому использовать классическое определение динамической системы, которая рассматривается, как однопараметрическая группа преобразований топологического пространства M не приходится.

Модель предметной области (ПрО) − это часть реального мира, отображаемая как класс или совокупность классов реальных объектов, в которой выделяют следующие категории:

– сущности − это объекты;

– отношения − это связи между объектами;

– атрибуты − это характеристики объектов.

Класс – это совокупность похожих объектов, которые имеют один или несколько атрибутов. Экземпляр класса − это объект, однозначно идентифицирующийся значениями атрибутов.

Каждый класс может обладать любым количеством отношений с другими классами. Класс является независимым, если каждый экземпляр его может быть однозначно идентифицирован без определения его отношений с другими классами.

Атрибут − это характеристика, описывающая что-либо в объекте. Каждому атрибуту присваивается уникальное имя, обозначающее его смысл и значение. Атрибут может иметь список возможных значений. Объект может обладать любым количеством атрибутов.

Построение модели ПрО основывается на понятии онтологии, которая состоит из объектов ПрО, разбитых на кластеры в соответствии с некоторыми критериями, их определений и атрибутов, а также связанных с ними правил вывода.

Объект описывается с помощью данных, именуемых свойствами или атрибутами объекта. Как правило, атрибуты являются определениями в высказывании об объекте и обозначаются именами существительными естественного языка. Объекты вступают в связи друг с другом через свои атрибуты. Каждая группа атрибутов, описывающих одно реальное проявление объекта, представляет собой экземпляр объекта. Иными словами, экземпляры объекта − это реализации объекта, отличающиеся друг от друга и допускающие однозначную идентификацию. Однотипные объекты объединяются в классы.

Физическая модель БЗ хранит экземпляры классов, объектов, значения атрибутов объектов и логические связи между классами, объектами.

Различают однозначные и многозначные атрибуты. Однозначными являются атрибуты, которые в пределах конкретного экземпляра, объекта имеют только одно значение. В противном случае они считаются многозначными.

Каждый атрибут имеет домен (domain). Домен − это выражение, определяющее значения, разрешенные для данного атрибута. Иными словами, домен − это область значений атрибута.

Пусть $A=\{a_1,a_2,...,a_n\}$ – множество атрибутов предметной области, V_j – множество возможных значений j-го атрибута (домен). Атрибуты могут быть измерены в разных шкалах (количественной, порядковой, качественной, смешанной).

Между атрибутом a_j и его значением v_j определим следующие операции:

1) $a_j=v_j$, = — знак операции означивания;

2) $a_j<v_j$, < — знак операции отношения (>, >=, <=);

3) $a_j\in[v_{j1},...,v_{jm}]$, $\in$ знак — операции принадлежности ([ ), ( ), ( ]).

Атрибут, его значение и операция между ними определяют высказывание. Через $Q=\{q\}$ обозначим множество высказываний, на котором определим функцию $\mu:Q\to[0,\ldots,1]$, которая позволяет интерпретировать высказывание q с точки зрения его истинности. Тогда пару $f=(q,\mu(q))$, где $q\in Q$, назовем фактом предметной области.

Когнитолог БЗ должен проконтролировать, чтобы в модели БЗ для каждого атрибута объекта был определен домен.

Объекты (а точнее цели и подцели системы) не существуют отдельно друг от друга. Между ними имеются реальные отношения, и они должны быть отражены в модели БЗ предметной области. При выделении отношений акцент делается на фиксацию связей и их характеристик. Отношение (связь) представляет собой соединение (взаимоотношение) между двумя или более объектами, которое формирует фильтрацию БЗ. Каждая связь реализуется через значения атрибутов объектов.

Мощность связи − это отношение числа объектов, участвующих в образовании связи.

Класс принадлежности объекта − это характер участия объекта в связи. Различают обязательные и необязательные классы принадлежности объекта к связи. Обязательным является такой класс принадлежности, когда экземпляры объекта участвуют в установлении связи в обязательном порядке. В противном случае объект принадлежит к необязательному классу принадлежности.

Некоторую аналогию можно привести с построением расслоения. Тройка объектов (M,p,B) образует расслоение, где p:M→B проекция, B – база расслоения, $X=p^{-1}(b)$ – слой расслоения. Например, имеем два домена атрибутов V_1 и V_2 и рассмотрим тривиальное расслоение pr_2: $V_1 \times V_2 \to V_2$. Выделим в V_2 объект $b:=g_{11}$, который будет определять цель достижения во время функционирования системы. Тогда сечение указанного расслоения можно представить в виде графика b→(b, s(b)), где $b \in V_2$ и $pr_2 \circ s(b)=b$. А само сечение интерпретируем, как правило (продукцию), например, если атрибут a_1 принимает значение $v_{11} \in V_1$, тогда цель b принимает значение g_{11} (правило 1: если $a_1:=v_{11}$ (антецедент), то $b:=g_{11}$ (консеквент), cf:=1) с коэффициентом уверенности cf равным 1.

$$\begin{array}{c} V_1 \times V_2 \\ pr_2 \downarrow\ \uparrow s \\ V_2. \end{array}$$

Для создания правил с одной целью $b:=g_{11}$ в антецеденте перебираем все возможные пары $a_1:=v_{1i}$ (i=1,…,m), следовательно, получаем m различных правил. Эксперт среди этих правил отбирает только те, которые считает нужными для достижения цели системы. Отобранные правила различаются друг от друга коэффициентом уверенности cf, который принимает значения из диапазона от 0 по 1. Такую процедуру создания правил назовем вертикальным возмущением правила 1. В случае если домен V_2 состоит из одной цели, то определение вертикальных возмущений совпадает с обычным определением возмущения правил.

Этот вариант представления правила принятия решения можно распространить на случай, когда имеется n атрибутов, характеризующих цель достижения системы. База расслоения в этом случае интерпретируется как множество главных целей системы.

Пусть каждый из n атрибутов предметной области принимает соответственно m_n значений, тогда для целевого объекта $g_0 \in V_n$ можно получить число $m_n \times n$ всевозможных правил для достижения цели.

$$\begin{array}{c} V_1 \times_{\dots} \times V_n \\ pr_2 \downarrow\ \uparrow s \\ V_n. \end{array}$$

Другими словами, представлена полная база знаний для определения достижения цели функционирования системы. Ясно, что среди этих правил есть те, которые не позволяют достичь цели системы. Поэтому эксперт из этого множества правил отбирает только те правила, которые соответствуют цели системы, а остальные правила может пометить для удаления, и они не будут использоваться далее в системе для достижения цели.

Если в некотором домене V_k экспертом выделяется подцель g_k, то аналогично рассуждая, как и выше, получаем, что расслоение с базой V_k, другими словами второй уровень для достижения цели системы.

$$\begin{array}{c} \tilde{V}_\ell \times V_{1м\dots} V_{k\dots} \times V_n \\ pr_k \downarrow\ \uparrow s_k \\ V_1 \times_{\dots} V_{k\dots} \times V_n \\ pr_2 \downarrow\ \uparrow s \\ V_n. \end{array}$$

Таким образом, строится сложная иерархическая фильтрация базы знаний.

Продолжая этот процесс выделения подцелей, получаем сложную систему базы знаний. В системе "КАРКАС" [10] процесс построения базы знаний осуществляется с помощью иерархической функциональной системы, пример, иерархической функциональной системы для определения риска возникновения ишемической болезни сердца приведен на рис. 1.

Один из вариантов иерархической функциональной системы для определения риска ИБС представлен на рис. 1.

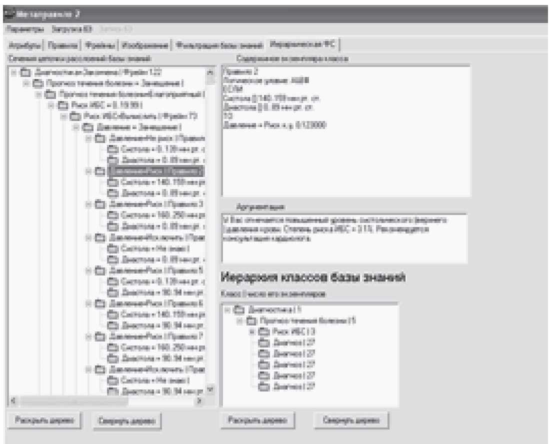

Рис. 1. Вариант иерархической функциональной системы для определения риска ИБС

Иерархия классов в онтологии строится путем выделения так называемого базового класса (основных целей системы), располагающего на самом верхнем уровне цепочки расслоений базы знаний. Далее, выделяются подклассы, находящиеся на следующем уровне и так далее. Базовый класс можно рассматривать как логическую конструкцию модели для представления множество объектов и связей между ними как единого целого.

Функциональные системы. Функциональная система по П.К. Анохину (ФС) – это система, сформированная для достижения заданного полезного результата (целевой функции) в процессе своего функционирования. Следовательно, ее системообразующим фактором является конкретный результат ФС. Другими словами, цель рассматривается как заданный результат, а ограничения – как степень свободы, необходимая для достижения результата.

Модель предметной области рассматривается как ФС, в которой результат оказывает организующее влияние на все этапы формирования онтологии. Классы и связи между ним можно рассматривать как логическую конструкцию ФС.

Отличительной особенностью ФС – в их открытости, не автономности, не изолированности от внешней среды. Математической моделью описывающей эволюцию таких систем служат неавтономные дифференциальные уравнения. В системе "КАРКАС" модель ФС реализована на основе использования онтологии предметной области.

ФС можно рассматривать, например, как совокупность функций с некоторым набором операций, применяемых к этим функциям.

Роль функций играют правила БЗ, а основные операции – это сопоставление атрибута с образцом и определения условий применимости правил.

В системе "КАРКАС" ФС является формализованным отражением предметной области в виде иерархической структуры набора управляющих компонент, которые взаимодействуют между собой для достижения главной цели.

С другой стороны ФС можно рассматривать как систему высказываний с логическими операциями над ними.

Важной особенностью ФС является ее контент предметной области.

Пусть задано расширение $p:(M,R,\pi)\rightarrow(B,R,\rho)$ разлагающееся в цепочку расширений $p_i:(X_i,R,\pi_i) \rightarrow (X_{i+1},R,\pi_{i+1})$ $(i=0,1,...,n-1)$ т.е. $(X_0,R,\pi_0) = (M,R,\pi)$, $(X_n,R,\pi_n) = (B,R,\rho)$ и $p_{n-1} \circ \ldots \circ p_1 \circ p_0=p$.

Задание этой цепочки можно интерпретировать как выделение в системе (M,R,π) иерархии уровней (X_i,R,π_i) $(i=0,1,...,n-1)$.

Другими словами, модель иерархической ФС представлена сечениями следующей коммутативной диаграммой $p \circ \pi=\rho \circ p$ на рис. 2

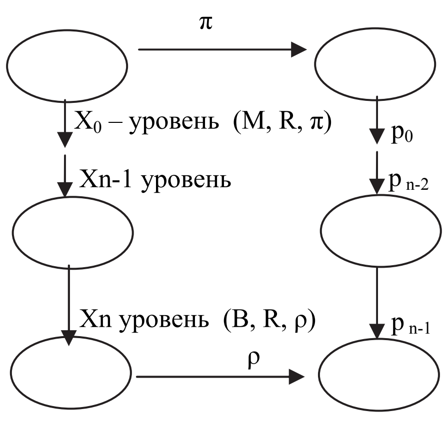

Рис. 2. Модель иерархической ФС

При этом каждое сечение цепочки расслоений (ФС) имеет вид орграфа изучаемого целевого объекта при фиксированном $b\in B$, другими словами, состояние ФС описывается в заданный момент времени.

Заметим, что в системе "КАРКАС" формирование орграфа осуществляется динамически во время работы машины вывода консультации.

Изменение сечения (правил БЗ) прообразов цепочки расслоения базы знаний (иерархической ФС) вовремя обработки их машиной вывода в динамике представлено на рис. 3. Орграф иерархической функциональной системы можно интерпретировать как пример модели искусственной нейронной сети.

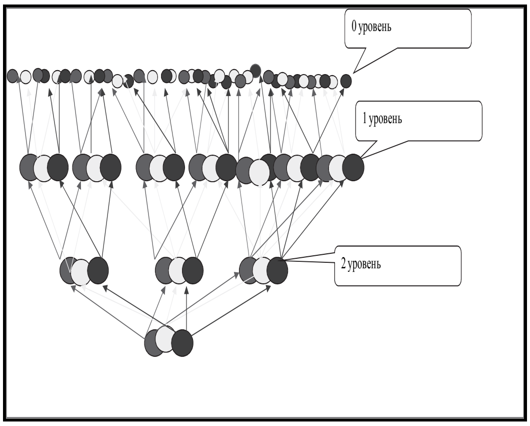

Рис. 3. Динамическое изменение сечения расслоения базы знаний

ФС характеризуется следующими свойствами:

– связностью – цепочка расслоений базы знаний;

– сложностью – иерархия уровней локальных баз знаний;

– устойчивостью (адаптивное поведение системы) – структура орграфа ФС не меняется при вертикальных возмущений правил.

Связность ФС выражается в фильтрации базы знаний. Пусть B_i – это локальная база знаний, то есть содержит правила продукций для определения подцели Gi, которая находится на i-м уровне в иерархии ФС.

Фильтрация базы знаний – это конечная система локальных баз знаний B_i:

$$B_0<=B_1<=\ldots<=B_k,$$

частично-упорядочных (<=) следующим образом: консеквент каждого правила из B_i содержится в антецеденте правила из B_j.

Чтобы построить фильтрацию базы знаний, достаточно указать цепочку правил ФС для достижения основной цели.

Заметим, что размерность ФС (множество состояний или множество правил принятия решений) не означает большую сложность ее и наоборот.

Таким образом, под динамической системой будем понимать именно иерархическую функциональную систему предметной области, в которой правила принятия решения не разбросаны, а представляют собой набор отфильтрованных локальных баз знаний, которые позволяют машине вывода системы "КАРКАС" достичь локальной цели на каждом уровне иерархии и соответственно – глобальной цели.

Заключение

Научная новизна результатов работы состоит в разработке оригинальной иерархической функциональной модели для представления онтологии предметной области, основанной на понятии расслоения базы знаний и ее фильтрации.

Список литературы

1. Рассел С. Искусственный интеллект: современный поход / С. Рассел, П. Норвиг. – 2-е изд. пер. с англ. – М.: ИД "Вильямс", 2006. – 1408 с.

2. Бурдаев В.П. Сложность динамических систем / В.П. Бурдаев. – LAMBERT Academic Publishing, 2015. – 140 с.

3. Burdaev V.P. About one concept of constructing a temporal knowledge base / V.P. Burdaev // Proceeding of the 1st International Congress "Fundamental and Applied Studies in the Pacific and Atlantic Oceans Countries". – Tokyo University Press –2014. – V.2. – С. 272-276.

4. Бурдаєв В.П. Системи навчання з елементами штучного інтелекту / В.П. Бурдаєв. – Харків: Вид. ХНЕУ, 2010. – 400 с.

5. Бурдаєв В.П. Моделі баз знань / В.П. Бурдаєв. – Харків: Вид. ХНЕУ, 2010. – 300 с.

6. Бурдаев В.П. Модель функциональной системы динамической предметной области / В.П. Бурдаев // Искусственный интеллект. – 2011. – №3. – С. 439-448.

7. Бурдаев В.П. Формирование правил базы знаний для функциональной системы / В.П. Бурдаев // Искусственный интеллект. – 2012. – №3. – С. 355-365.

8. Еремеев А.П. Логика ветвящегося времени и ее применение в интеллектуальных системах поддержки принятия решений / А.П. Еремеев // Десятая национальная конференция по искусственному интеллекту с междунар. участием КИИ-2006: Труды конф. В 3-х томах. – М.: Физматлит, 2006. – Т.3.

9. Осипов Г.С. Динамические интеллектуальные системы / Г.С. Осипов // Искусственный интеллект и принятие решений. – 2008. – № 1. – С. 47-54.

10. Компьютерная система "КАРКАС". [Электронный ресурс]. – Режим доступа к ресурсу: http://www. it-karkas.com.ua.

Поступила в редколлегию 23.02.2017

Рецензент: д-р техн. наук проф. Л.М. Любчик, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», Харьков.

СКЛАДНІ ДИНАМІЧНІ СИСТЕМИ, ЗАСНОВАНІ НА РОЗШАРУВАННЯ ЗНАНЬ

В.П. Бурдаєв

У статті розглядається модель ієрархічної функціональної системи динамічної предметної області, на основі поняття розшарування бази знань. Запропоновано, реалізований і досліджується механізм інтерпретації модель ієрархічної функціональної системи в умовах динамічної зміни її параметрів (базового класу, зв'язків між класами і взаємодії об'єктів класів).

Ключові слова: *ієрархічна функціональна система, онтологія, динамічні бази знань, фільтрація, складність, зв'язність, стійкість баз знань.*

COMPLICATED DYNAMICAL SYSTEMS BASED ON BUNDLE KNOWLEDGE

V.P. Burdaev

It is considered the model of hierarchial functional dynamic system domain, based on the concept of bundle of knowledge bases. Proposed, implemented and studied the mechanism of interpretation of the hierarchical model of the functional system under conditions of dynamic changes of its parameters (base class, relations between classes and the interaction of classes of objects).

Keywords: *hierarchical functional system, ontology, dynamic knowledge base, filtration, complexity, connectivity, stability of knowledge bases.*