16 (2014)

АБДУКТИВНАЯ МОДЕЛЬ ВЫВОДА ПО ПРЕЦЕДЕНТАМ В ДИНАМИЧЕСКОЙ СЦЕНАРНО-ПРЕЦЕДЕНТНОЙ СИСТЕМЕ

УДК 004.986

ШЕРСТЮК Владимир Григорьевич
д.т.н., доцент, доцент кафедры информационных технологий Херсонского национального технического университета.
Научные интересы: методы и модели поддержки принятия решений реального времени, принятие решений на основе прецедентов, мультиагентные системы, комбинированные логические системы представления знаний.
e-mail: v_sherstyuk@bigmir.net

ВВЕДЕНИЕ

Динамические сценарно-прецедентные системы (ДСПС) предназначены для решения трудноформализуемых задач в слабоструктурированных предметных областях, вследствие чего функционируют в условиях неопределенности исходной информации, а также дефицита времени [1]. Соответственно, к ДСПС предъявляются особые требования по обработке неполной и неточной исходной информации (событий) от нескольких независимых источников в условиях воздействия шумов и искажений, при обеспечении быстродействия, достаточного для функционирования ДСПС в реальном времени.

В [2] показано, что функционирование ДСПС в реальном времени является процессом правдоподобных рассуждений в соответствии со «здравым смыслом». В качестве основы представления знаний для этого была предложена ситуационно-событийная модель, над которой построены формализмы правдоподобных древовидных сетей событий (ПДСС) [3] и правдоподобной дескрипционной логики (ПДЛ) [4]. В то же время, требуется реализация методов извлечения и отбора прецедентов, адекватных правдоподобным формализмам представления знаний в ДСПС. Особенности слабоструктурированных предметных областей в отношении динамики, неполноты и неточности исходной информации не позволяют использовать известные методы извлечения, основанные на статических моделях с четкими описаниями прецедентов, имеющими четко обозначенные временные рамки и определенные на множестве достоверных и статичных параметров проблемной ситуации. Таким образом, исследование принципов извлечения и отбора прецедентов в динамике, по ходу получения событий («на лету»), и синтез соответствующих методов представляют собой актуальную научно-техническую задачу, решению которой посвящена данная статья.

Цель статьи состоит в разработке абдуктивного механизма поиска решений, основанного на использовании формализма представления знаний в виде ПДСС, для извлечения подобных и отбора уместных прецедентов в ДСПС.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Для адекватного выражения динамики прецедент необходимо рассматривать как развивающийся во времени процесс, причем анализировать необходимо полное множество одновременно и совместно проистекающих в предметной области процессов. Это означает, что прецеденты могут быть зависимыми, «растянутыми», пересекаться во времени, а наблюдения могут поступать из различных источников, возможно, с некоторым запаздыванием относительно момента свершения реального события.

Рассмотрение множества наблюдаемых событий должно производиться параллельно, при этом необходим учет возможного изменения наблюдаемых параметров проблемной ситуации непосредственно в ходе поиска прецедента. Необходимо также ослабление временных зависимостей между связанными событиями, например, вместо четкой информации о временных интервалах использование нечетких оценок либо установление порядка появления событий на качественном уровне.

Разработка абдуктивного механизма вывода по прецедентам требует:

1) обоснования принципов организации абдуктивного вывода;
2) формализации абдуктивной модели вывода по прецедентам;
3) разработки метода решения задачи формирования гипотез в абдуктивной модели вывода.

ПРИНЦИПЫ ОРГАНИЗАЦИИ АБДУКТИВНОГО ВЫВОДА ПО ПРЕЦЕДЕНТАМ

Одной из основных проблем при поиске решений является параллельное развитие процессов при неполной наблюдаемости объектов предметной области. Это означает, что в каждый момент времени t описание текущей ситуации s_t доступно лишь частично, а наблюдаемые события ψ поступают случайным образом, разрозненно, порциями от различных источников, возможно, в течение длительных периодов времени и без строгих временных границ. Соответственно, правдоподобный прецедентный вывод на ПДСС в определенном смысле похож на «склеивание» потоков событий, подобных найденным прецедентам, из наблюдаемых событий «по кусочкам».

Пусть задана событийная модель E с сигнатурой $\mathcal{Z}$ [3].

ДСПС должна функционировать так, чтобы множество одновременно наблюдаемых потоков событий $\{\mathrm{S}_1,\ldots\mathrm{S}_i,\ldots\mathrm{S}_n\}\in\mathrm{E}.\mathcal{Z}$ обрабатывалось параллельно и непрерывно.

В процессе независимой обработки каждого потока событий $\mathrm{S}_i\in\mathrm{E}.\mathcal{Z}$, необходимо пошагово, по мере поступления очередного события $\psi_t\in\mathrm{S}_i$, «продвигать» наблюдаемые последовательности $[\psi_{t-m},\ldots\psi_{t-1},\psi_t]$ входного потока относительно имеющихся в ХП прецедентов $\{e_1,e_2,\ldots e_n\}$. Соответственно, на каждом шаге необходимо оценивать подобие наблюдаемого потока событий S_i с эталонным потоком событий R_j, входящим в состав каждого из прецедентов $\{e_j\}_{j=1}^{n}$, имеющихся в ХП.

Динамическая оценка подобия [5] формируется при сравнении суффикса наблюдаемого потока событий $\mathbf{suffix}(\mathrm{S}_i)$ с префиксом каждого эталонного потока событий $\mathbf{prefix}(\mathrm{R}_j)$. Суффикс наблюдаемого потока $\mathbf{suffix}(\mathrm{S}_i)=[\psi_{t-m},\ldots\psi_{t-1},\psi_t]$ представляет собой «временные ворота», содержащие *эпизод* проблемной ситуации, представимый с помощью сегмента потока событий.

Поскольку на основании указанного сравнения могут быть обнаружены совпадения с идентичными префиксами значительного множества эталонных потоков прецедентов $\{\mathrm{R}_{k-l},\ldots\mathrm{R}_k\}$, далее необходимо одновременно отслеживать все совпавшие прецеденты множества $\{e_{k-l},\ldots e_k\}$. Для выполнения вывода по прецедентам, сводимого к процессу поиска прецедентов, описание ситуации в которых подобно проблемной ситуации, может быть использован известный «объяснительный» (*explanation*) подход [6], суть которого сводится к поиску причин для наблюдаемых фактов с помощью абдуктивных механизмов [7] формирования гипотез и построении вывода для их последующего подтверждения или опровержения [8].

Соответственно, суффикс $\mathbf{suffix}(\mathrm{R}_j)=\mathrm{R}_j-\mathbf{prefix}(\mathrm{R}_j)$ эталонного потока событий, для которого справедливо $\mathrm{SIM}(\mathrm{S}_i,\mathbf{prefix}(\mathrm{R}_j))>\theta$, где θ - заданный порог подобия, становится *гипотезой* h_j, основанной на частичном совпадении (рис. 1).

На каждом шаге вывода ДСПС генерирует множество правдоподобных гипотез $H^t=\{h_1,\ldots h_m\}$, в которое входят все *активные* прецеденты e_j, суффиксы эталонных потоков событий в которых являются гипотезами, т.е. $(\mathbf{suffix}(\mathrm{R}_j)\subset e_j)\in H^{(t)}$.

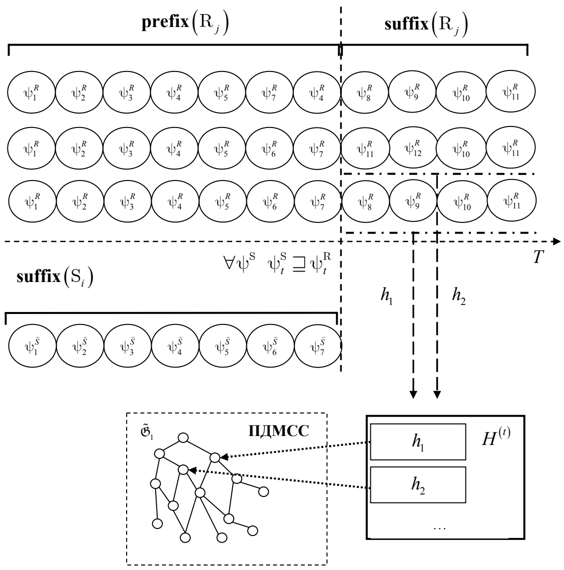

Рисунок 1 – Формирование активных гипотез h_1 и h_2 (момент t)

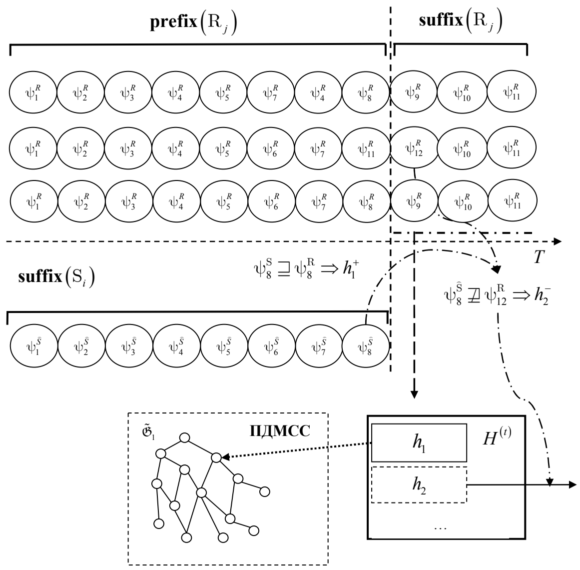

Рисунок 2 – Опровержение гипотезы h_1 (момент $t+1$)

По мере получения потоком S_i очередных событий ψ_{t+1} его суффикс $\mathbf{suffix}(\mathrm{S}_i)=[\psi_{t-m},\ldots\psi_{t-1},\psi_t,\psi_{t+1}]$ изменяется, динамическая оценка подобия $\mathrm{SIM}\left(\mathrm{S}_i,\mathbf{prefix}(\mathrm{R}_j)\right)$ также меняет свое значение. Соответственно, некоторые гипотезы, обозначаемые h^-, будут *опровергаться* очередным событием ψ_{t+1}, и исключаться из множества гипотез $H^{(t+1)}=H^{(t)}-\{h^-\}$, а другие гипотезы, обозначаемые h^+, будут, наоборот, *подтверждаться* (рис. 2).

По ходу процесса будет повышаться уровень рассматриваемого куста ПДСС $e_j \lhd^* \tilde{\mathfrak{G}}_1$ [2] (куст будет расти вверх), продвижение по ПДСС $\tilde{\mathfrak{G}}_1$ будет захватывать новые вершины $\mathfrak{v}_l \in \tilde{\mathfrak{G}}_1$ более высокого уровня, $l>j$, соответствующие искомым сценариям Σ_l.

При дальнейшем развитии процесса достигается одна из корневых вершин $\mathfrak{h}_k \in \tilde{\mathfrak{G}}_1$, отражающая искомую *цель* g_i, к которой стремится наблюдаемый поток событий S_i. Отсчет каждого нового $(l+1)$-го сегмента в потоке событий S_i начинается с того момента t^*, когда в результате получения очередного события ψ_{t+1} достигается очередная вершина $\mathfrak{v}_l$ ПДСС $\tilde{\mathfrak{G}}_1$, подтверждающая распознавание сценария Σ_l. После этого процесс циклически повторяется.

Последовательное повышение оценки подобия гипотезы на основании получения очередных событий составляет *доказательство* гипотезы. Доказанная гипотеза становится *фактом*. Проблемой в данном случае является то, что оценка подобия гипотезы, ведущей к цели g_i, достигнет максимума в тот самый момент t_{gi}, когда будет получено последнее событие $\psi_{t_{gi}}$ из последовательности $\left[\psi_{t_{gi}-m},\ldots\psi_{t_{gi}}\right]$, ведущей к данной цели (т.е. когда цель g_i и без того станет очевидна). До этого любые выводы о целях, планах, сценариях развития событий носят лишь предположительный характер, и оцениваются правдоподобными значениями уверенности (возможности, доверия), что и определяет правдоподобный характер вывода в ДСПС.

АБДУКТИВНАЯ МОДЕЛЬ ВЫВОДА ПО ПРЕЦЕДЕНТАМ

Формализуем необходимые для построения абдуктивной модели вывода понятия гипотезы и заключения на основе [9].

Определение 1. *Активным в момент времени t прецедентом* называется прецедент e_X, эталонный поток событий которого $\mathrm{R}\in e_X$ имеет моментальную оценку подобия с наблюдаемым потоком $\mathrm{S}\in\mathrm{E}.\mathcal{Z}$, значение которой в момент t выше заданного порога θ, т.е. $\mathrm{SIM}(\mathrm{S},\mathrm{R})^{(t)} > \theta$.

Определение 2. *Гипотезой* h называется результат распространения входного (наблюдаемого) потока событий $\mathrm{S} \in \mathrm{E}.\mathfrak{Z}$ на эталонный поток событий $\mathrm{R} \in \mathrm{E}.\mathfrak{Z}$ активного прецедента e_X, представленный в виде кортежа

$$h = \langle \vec{e}_X, \hat{a}, \mathring{a}, \hat{e}, \acute{y}, \ddot{y}, t \rangle, \tag{1}$$

где $\vec{e}_X$ – указатель (ссылка) на рассматриваемый прецедент $e_X \in \{e_S\}$;

$\hat{a}$ – куст прецедента e_X, представляющий собой префикс эталонного потока событий $\left[\psi_1^{\mathrm{R}}, \psi_2^{\mathrm{R}}, \ldots \psi_m^{\mathrm{R}}\right] \in \mathrm{R},\ \mathrm{R} \in e_X$, включающий суффикс наблюдаемого потока событий $\left[\psi_i^{\mathrm{S}}, \psi_{i+1}^{\mathrm{S}}, \ldots \psi_{i+m}^{\mathrm{S}}\right] \in \mathrm{S},\ \mathrm{S} \in \mathrm{E}.\mathfrak{Z}$, такой что $\mathrm{S} \sqsubseteq \mathrm{R}$;

$\mathring{a}$ – суффикс (остаток) эталонного потока событий $\left[\psi_{m+1}^{\mathrm{R}}, \psi_{m+2}^{\mathrm{R}}, \ldots \psi_{m+l}^{\mathrm{R}}\right] \in \mathrm{R},\ \mathrm{R} \in e_X$, содержащий события, которые на момент времени t еще не наблюдались, но предполагаются исходя из динамической оценки подобия потоков событий S и R;

$\hat{e}$ – нормализованная динамическая оценка подобия потоков событий S и R, $\hat{e} = \mathrm{SIM}(\mathrm{S},\mathrm{R})$

$\acute{y}$ – степень уверенности в том, что последующие наблюдаемые события $\left[\psi_{i+m+1}^{\mathrm{S}}, \psi_{i+m+2}^{\mathrm{S}}, \ldots \psi_{i+m+l}^{\mathrm{S}}\right] \in \mathrm{S}$ вложены в суффикс эталонного потока событий $\left[\psi_{m+1}^{\mathrm{R}}, \psi_{m+2}^{\mathrm{R}}, \ldots \psi_{m+l}^{\mathrm{R}}\right] \in \mathrm{R},\ \mathrm{R} \in e_X$ (*оценка правдоподобия гипотезы*);

$\ddot{y}$ – степень уверенности в наступлении ожидаемого события ψ_{t+1}^{*}, такого что $\psi_{t+1}^{*} = \mathbf{prefix}\left(h_i^{(t)}.\mathring{a}\right)$;

t – момент времени, когда наблюдалось последнее событие ψ_{i+m}^{S}.

Таким образом, $\hat{a}$ соответствует той части активного прецедента e_X, события которой уже случились (наблюдаемы), и является основанием для вывода с уверенностью $\acute{y}$, что остаток $\mathring{a}$ является частью прецедента e_X, события которой еще не случились, но предполагаются в будущем.

Соответственно,

$$\hat{a} \lhd e_X,\ \mathring{a} \lhd^{*} e_X,\ e_X = \hat{a} \cup \mathring{a},\ \hat{a} \Rightarrow^{\acute{y}} \mathring{a} \tag{2}$$

Определение 3. Поток событий $\mathrm{S} \in \mathrm{E}.\mathfrak{Z}$ называется *ограничиваемым* параметром $\mathrm{x}_k \in \mathrm{E}.\mathfrak{Z}.\mathrm{X}$, если для всех пар событий $\psi_i \in \mathrm{S}$, $\psi_j \in \mathrm{S}$ существует такой x_k, что $\rho(\psi_i, \mathrm{x}_k) = \rho(\psi_j, \mathrm{x}_k)$.

Определение 4. Поток событий $\mathrm{S} \in \mathrm{E}.\mathfrak{Z}$ называется *ограничиваемым* множеством $\mathrm{X} = \{\mathrm{x}_1, \ldots \mathrm{x}_i, \ldots \mathrm{x}_m\}$, где $\mathrm{x}_i \in \mathrm{E}.\mathfrak{Z}.\mathrm{X}$, если для всех пар событий $\psi_i \in \mathrm{S}$, $\psi_j \in \mathrm{S}$ и для всех $\mathrm{x}_k \in \mathrm{X}$ выполняется $\rho(\psi_i, \mathrm{x}_k) = \rho(\psi_j, \mathrm{x}_k)$.

Соответственно, можно определить функции:

$$\mathbf{Const?}(\mathrm{S}, \mathrm{x}_k) = \begin{cases} \mathit{true} \ \text{если} \ \exists\, \mathrm{x}_k \in \mathrm{E}.\mathfrak{Z}.\mathrm{X}\ \forall \psi_i, \\ \qquad \rho(\psi_i, \mathrm{x}_k) = \rho(\psi_j, \\ \mathit{false} \ \text{во всех остальных слу} \end{cases} \tag{3}$$

,

$$\mathbf{Const?}(\mathrm{S}, \mathrm{X}) = \begin{cases} \mathit{true} \ \text{если} \ \forall \mathrm{x}_k \in \mathrm{X}\ \forall \psi_i, \psi_i \in \\ \qquad \rho(\psi_i, \mathrm{x}_k) = \rho(\psi_j, \\ \mathit{false} \ \text{во всех остальных слу} \end{cases} \tag{4}$$

.

Выполнение (4) гарантирует, что все события потока S имеют одни и те же значения на множестве общих параметров $\mathrm{X} = \{\mathrm{x}_1, \ldots \mathrm{x}_i, \ldots \mathrm{x}_m\}$.

Определение 5. Две гипотезы $h_i = \langle \vec{e}_i, \hat{a}_i, \mathring{a}_i, \hat{e}_i, \acute{y}_i, \ddot{y}_i, t_i \rangle$ и $h_j = \langle \vec{e}_j, \hat{a}_j, \mathring{a}_j, \hat{e}_j, \acute{y}_j, \ddot{y}_j, t_j \rangle$ называются *компонуемыми, если*:

1) взаимодействующие прецеденты не включают повторяющихся событий.

$$(\hat{a}_i \cup \hat{a}_j) = \varnothing, \text{ и} \tag{5}$$

2) все ограничения, наложенные на взаимодействующие прецеденты, выполняются

$$(\hat{a}_i \cup \hat{a}_j) = \varnothing, \text{ и} \tag{6}$$

3) обе гипотезы относятся к одному и тому же классу прецедентов

$$\vec{e}_i = \vec{e}_j, \text{ либо:} \tag{7}$$

- одна из гипотез относится к классу прецедентов, абстрактному относительно класса прецедента другой гипотезы

$$\begin{aligned} &\mathbf{abstract}(\vec{e}_i, \vec{e}_j) = \\ &= \mathit{true} \ \wedge\ \mathbf{abstract}(\vec{e}_j, \vec{e}_i) = \mathit{true} \end{aligned}, \text{ либо:} \tag{8}$$

- обе гипотезы относятся к абстрактным классам прецедентов, для которых существует обобщение, включающее оба класса прецедентов

$$\exists \vec{e}_k : \vec{e}_k \sqsubseteq \left(\hat{a}_i \cup \hat{a}_j\right) \ \wedge \ \mathbf{abstract?}\left(\vec{e}_i, \vec{e}_k\right) = \\ = true \ \wedge \ \mathbf{abstract?}\left(\vec{e}_j, \vec{e}_k\right) = true , \quad (9)$$

Определим соответствующую функцию:

$$\mathbf{compose?}\left(h_i, h_j\right) = \\ = \begin{cases} true & \text{если } (5) \wedge (6) \wedge ((7) \vee (8) \vee (9)) \\ false & \text{во всех остальных случаях} \end{cases} , \quad (10)$$

оценивающую возможность компоновки двух заданных гипотез h_i и h_j.

Введем операцию композиции на множестве гипотез.

Определение 6. *Операцией композиции* двух гипотез $h_i = \left\langle \vec{e}_i, \hat{a}_i, \mathring{a}_i, \hat{e}_i, \acute{y}_i, \ddot{y}_i, t_i \right\rangle$ и $h_j = \left\langle \vec{e}_j, \hat{a}_j, \mathring{a}_j, \hat{e}_j, \acute{y}_j, \ddot{y}_j, t_j \right\rangle$, обозначаемой как $h_i \odot h_j$, называется результат следующего преобразования:

$$h_i \odot h_j = \left\langle \vec{e}_i, \hat{a}_i \bullet \hat{a}_j, \mathring{a}_i - \mathring{a}_j, \mathrm{SIM}\left(\vec{e}_i, \hat{a}_i \bullet \hat{a}_j\right), \acute{y}_i \cdot \acute{y}_j, \ddot{y}_i \cdot \ddot{y}_j, \max\left(t_i, t_j\right) \right\rangle, \quad (11)$$

где $\bullet$ — оператор композиции потоков событий [2].

Если две гипотезы являются компонуемыми, можно выполнить их слияние.

Определение 7. *Слиянием* двух гипотез $h_i = \left\langle \vec{e}_i, \hat{a}_i, \mathring{a}_i, \hat{e}_i, \acute{y}_i, \ddot{y}_i, t_i \right\rangle$ и $h_j = \left\langle \vec{e}_j, \hat{a}_j, \mathring{a}_j, \hat{e}_j, \acute{y}_j, \ddot{y}_j, t_j \right\rangle$, обозначаемым как $h_i \uplus h_j$, называется

1) в случае компонуемости h_i и h_j – композиция гипотез:

$$h_i \uplus h_j = h_i \odot h_j , \quad (12)$$

2) в случае некомпонуемости h_i и h_j – объединение гипотез:

$$h_i \uplus h_j = \\ = \left\{ \left\langle \vec{e}_i, \hat{a}_i, \mathring{a}_i, \hat{e}_i, \acute{y}_i, \ddot{y}_i, t_i \right\rangle, \left\langle \vec{e}_j, \hat{a}_j, \mathring{a}_j, \hat{e}_j, \acute{y}_j, \ddot{y}_j, t_j \right\rangle \right\} . \quad (13)$$

Использование операции слияния гипотез предоставляет возможность сократить число активных гипотез, находящихся в процессе рассмотрения.

Понятие слияния индуктивно расширим до объединения n гипотез.

Пусть множество H представляет собой слияние n активных гипотез, $H = \left\{h_{i1}, ..., h_{in}\right\}$.

Определение 8. *Слияние* гипотезы $h_j = \left\langle \vec{e}_j, \hat{a}_j, \mathring{a}_j, \hat{e}_j, \acute{y}_j, \ddot{y}_j, t_j \right\rangle$ с множеством гипотез H определяется как

$$H \uplus h_j = \begin{cases} H \cup \left\{h_j\right\} & \text{если } \nexists h_i \in H \ : \ \mathbf{compose?}\left(h_i, h_j\right) \\ \left\{h_{ik} \uplus h_j\right\}_{k=1}^{n} & \text{во всех остальных случаях} \end{cases} . \quad (14)$$

Отметим, что множество вновь активированных гипотез в случае их компонуемости подвергается слиянию с множеством активных гипотез.

Определение 9. Для двух заданных множеств гипотез $H_i = \left\{h_{i1}, ..., h_{in}\right\}$ и $H_j = \left\{h_{j1}, ..., h_{jm}\right\}$ их *слияние* определяется как

$$H_i \uplus H_j = \bigcup_{k=1}^{m} \left(H_i \uplus h_{jk}\right) . \quad (15)$$

Определение 10. *Доказательством* h_j^+ гипотезы h_j является событие $\psi_{i+1}^{\mathrm{S}} \in \mathrm{S}$, изменяющее динамическую оценку подобия потоков $\mathrm{SIM}\left(\mathbf{suffix}\left(\mathrm{S}\right), \mathbf{prefix}\left(\mathrm{R}\right)\right)$ в сторону увеличения так, что

$$\mathrm{SIM}\left(\left[\psi_{t-m}, ..., \psi_{t+1}\right], \mathbf{prefix}\left(\mathrm{R}\right)\right) > \mathrm{SIM}\left(\left[\psi_{t-m}, ..., \psi_{t}\right], \mathbf{prefix}\left(\mathrm{R}\right)\right). \quad (16)$$

Определение 11. *Опровержением* h_j^- гипотезы h_j является событие $\psi_{i+1}^{S} \in S$, изменяющее динамическую оценку подобия потоков $\mathrm{SIM}(\mathbf{suffix}(S), \mathbf{prefix}(R))$ в сторону уменьшения так, что

$$\mathrm{SIM}([\psi_{t-m}, ..., \psi_{t+1}], \mathbf{prefix}(R)) < \mathrm{SIM}([\psi_{t-m}, ..., \psi_t], \mathbf{prefix}(R)). \quad (17)$$

Как только очередное опровержение h_j^- уменьшит динамическую оценку подобия потоков до значения $\mathrm{SIM}(\mathbf{suffix}(S), \mathbf{prefix}(R)) < \theta$, гипотеза h_j исключается из множества гипотез $H^{t+1} = H^t - \{h_j^-\}$. В то же время, доказательство h_j^+ может перевести гипотезу h_j в категорию объяснения.

Определение 12. Полностью доказанная гипотеза h_j, такая что ($\mathrm{SIM}(\mathbf{suffix}(S), \mathbf{prefix}(R)) = 1$), называется *фактом*.

Определение 13. Множество гипотез $\boldsymbol{y}_i$ *объясняет* событие наблюдаемого потока $\psi_i^{S} \in S$ (обозначается как $\boldsymbol{y}_i \rightarrowtail \psi_i^{S}$), если $\boldsymbol{y}_i$ включает в себя по меньшей мере одну активную гипотезу h_j, такую что $S \sqsubseteq R \in h_j.\vec{e}_X$.

Определение 14. *Заключением* $\boldsymbol{y}_m^{S}$ для потока событий S называется подмножество активных гипотез $H^{(t)} \subseteq H$, объясняющих все наблюдаемые в точке t события наблюдаемого потока $[\psi_1^{S}, \psi_2^{S}, ...\psi_m^{S}] \in S$, так что $\forall \psi_i^{S} \in S \; \boldsymbol{y}_m^{S} \rightarrowtail \psi_i^{S}$.

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ ФОРМИРОВАНИЯ ГИПОТЕЗ В АБДУКТИВНОЙ МОДЕЛИ

Задача формирования множества правдоподобных гипотез заключается в создании и непрерывном обновлении множества гипотез, представляющих описание текущего состояния предметной области.

Зададим функцию слабого извлечения $\mathbf{return}(c_i, \theta) : \{o_j\}_{j=1}^{m}$, $o_j \sqsubseteq c_i$, возвращающую события заданного класса c с заданным порогом правдоподобия θ.

Введем также функцию $\mathbf{get}(S^j) : \psi_t^{S}$, возвращающую очередное событие ψ_t^{S} j-го сегмента наблюдаемого потока событий S.

Предположим, что $H^{(t)} \subseteq H$ содержит множество *рассматриваемых* (активных) *гипотез* в момент времени t, $H^{(0)} = \varnothing$; $\mathcal{U}^{(t)}$ содержит множество *новых* (активированных) *гипотез*, порожденных в момент времени t; $\mathcal{P}^{(t)}$ обозначает множество потоков событий *активированных* в момент времени t прецедентов, $\mathcal{E}^{(t)}$ – множество указателей (ссылок) на активированные в момент времени t прецеденты.

Исходя из потока классов событий, возвращаемых функцией $\mathbf{root}$, найдем прецедент $e^{(t)}$, содержащий поток событий вида

$$\mathcal{P}^{(t)} = \mathbf{retrieve}\left(\mathbf{root}\left(\mathbf{get}\left(S^j\right)\right), \mathcal{E}^{(t-1)}, \theta\right), \quad (18)$$

исходя из нормированных оценок подобия

$$\mathcal{P}^{(t)} = \left\{ \vec{e}_i \in \mathcal{E}^{(t-1)} : \frac{\mathrm{SIM}\left(\mathbf{root}\left(\mathbf{get}\left(S^j\right)\right), \vec{e}_i\right)}{\mathrm{SIM}(\vec{e}_i, \vec{e}_i)} \right\}. \quad (19)$$

Далее в отношении каждого $\mathcal{P}^{(t)}$, исходя из вновь полученного события ψ_t^{S}, генерируется новая гипотеза $h_i^{(t)} = \langle \vec{e}_i, \hat{a}_i, \mathring{a}_i, \hat{e}_i, \acute{y}_i, \ddot{y}_i, t \rangle$ с использованием ссылки на соответствующий активированный прецедент $\vec{e}_i$. Все сгенерированные в момент t гипотезы $h_i^{(t)}$ проверяются на компонуемость и производится слияние с множеством активированных в момент t гипотез $\mathcal{U}^{(t)}$:

$$\mathcal{U}^{(t)} = \left\{ \mathcal{U}^{(t)} \uplus h_i : h_i.\vec{e}_i \in \mathcal{P}^{(t)} \right\}, \quad (20)$$

Введем множество гипотез, покрытых прецедентами $\mathcal{D}^{(t)}$.

Определение 15. *Покрытие* $\mathcal{D}^{(t)}(\psi_t^{S})$ гипотезы $h_i^{(t)}$ относительно вновь полученного события ψ_t^{S} есть подмножество ссылок на прецеденты $\mathcal{E}^{(t)}$, каждый из которых включает событие класса, абстрактного $\mathbf{root}(\psi_t^{S})$:

$$\mathcal{D}^{(t)}(\psi_t^{S}) = \left\{ \vec{e}_j \in \mathcal{E}^{(t-1)} : \mathbf{root}(\psi_t^{S}) \lhd^* e_j \right\}, \quad (21)$$

Множество $\mathcal{D}^{(t)}$ может быть получено с использованием дедуктивного механизма ПДЛ [2] как

$$\mathcal{D}^{(t)}(\psi_t^{S}) = \mathbf{return}\left(\mathbf{root}(\psi_t^{S}), \theta\right). \quad (22)$$

Определение 16. Вновь полученное событие ψ_t^{S} называется *непокрытым* гипотезами, если $\mathcal{D}^{(t)}(\psi_t^{S}) = \varnothing$.

Наличие непокрытого гипотезой события означает, что сегментация j-го сегмента наблюдаемого потока событий S произведена неправильно, поэтому происходит перестройка суффикса наблюдаемого потока, участвующего в сравнении с префиксами эталонных потоков согласно (19):

$$\mathbf{suffix}(\mathrm{S}) = \psi^{\mathrm{S}}_{t-n-1} \cup \left[\psi^{\mathrm{S}}_{t-n}, \ldots \psi^{\mathrm{S}}_{t}\right], \tag{23}$$

после чего выполнение функции $\mathbf{retrieve}$ (22) повторяется циклически до тех пор, пока существуют непокрытые гипотезы.

Когда в результате порождения гипотез достигается отсутствие непокрытых гипотез, производится слияние множества гипотез $\mathcal{U}^{(t)}$, порожденных в момент времени t, с множеством активных гипотез $H^{(t-1)}$:

$$H^{(t)} = H^{(t-1)} \uplus \mathcal{U}^{(t)} . \tag{24}$$

Сформированное множество $H^{(t)}$ проверяется на выполнение установленных ограничений $\mathfrak{k}_j : \mathfrak{r}_i \to \mathrm{E}.r$ и с помощью функции $\mathbf{Const?}(\mathfrak{v}_i, \mathfrak{k}_j)$ (4).

Все гипотезы, ограничения которых не удовлетворяются, исключаются из дальнейшего рассмотрения:

$$\begin{gathered} H'^{(t)} = \left\{h_i^{(t)} \in H^{(t)} \mid \mathbf{Const?}(\mathfrak{v}_i, \mathfrak{k}_j) = \perp\right\}, \\ \forall h_i^{(t)} \in H^{(t)} \;\; \mathfrak{v}_i = h_i^{(t)}.\hat{a}, \; \left\{\mathfrak{k}_j\right\} \in h_i^{(t)}.\hat{a}.\mathfrak{k}, \\ H^{(t)} = H^{(t)} - H'^{(t)} \end{gathered} \tag{25}$$

Кроме того, удаляются просроченные гипотезы, - те, для которых время ожидания подтверждения превысило установленный лимит χ. Таким образом, в результате решения задачи извлечения прецедентов формируется актуальное на момент времени t множество удовлетворяющих всем наложенным ограничениям $\mathfrak{k}$ гипотез $H^{(t)}$, которое может быть использовано далее в процессе отбора уместных прецедентов [2].

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

В статье предложена формальная модель абдуктивного вывода по прецедентам в ДСПС, описывающая процесс правдоподобного вывода на основе ПДСС. Модель основана на принципе инкрементного формирования заключений для множества активных гипотез, построенных абдуктивным путем в соответствии с динамической оценкой подобия наблюдаемого потока событий эталонным потокам, содержащимся в прецедентах. Предложенная модель может быть использована для отбора уместных прецедентов путем непрерывного анализа множества активных гипотез, сформированного в процессе извлечения подобных прецедентов, согласовании и формировании на их основе множества заключений, абдуктивно объясняющих процесс, наблюдаемый в виде потока событий, что позволяет адекватно отобразить динамику предметной области.

ЛИТЕРАТУРА

1. Sherstjuk, V. Scenarno-precedentnoe upravlenie jergaticheskimi dinamicheskimi ob'ektami /V.G. Sherstjuk. – Saarbrücken, Deutschland: Lambert Academic Publishing, 2013. – 407 p.
2. Sherstjuk, V. Osnovy teorii dinamicheskih scenarno-precedentnyh intellektual'nyh sistem /V.G. Sherstjuk. – Herson: Feniks, 2012. – 476 s.
3. Sherstjuk, V. Ispol'zovanie derev'ev sobytij dlja predstavlenija znanij v dinamicheskih precedentnyh intellektual'nyh sistemah /V.G. Sherstjuk //Vestnik Hersonskogo nacional'nogo tehnicheskogo universiteta. – 2011. – #2 (41). – S.100-111.
4. Sherstjuk, V. Postroenie deskripcionnoj logiki na osnove reshetki znachenij istinnosti i procedury logicheskogo vyvoda /V.G. Sherstjuk //Problemy informacionnyh tehnologij. – 2013. – #1(13). – S.132-141.
5. Sherstjuk, V. Metod dinamicheskoj ocenki podobija potokov sobytij /V.G. Sherstjuk //Algoritmy, metody i sistemy obrabotki dannyh. – 2013. – #2(24). – S.82-103.
6. McSherry, D. Explanation in recommender systems /D. McSherry //Artificial Intelligence Review. – 2005. – Vol.24. – #2. – Pp.179-197.
7. Vagin, V. Organizacija abduktivnogo vyvoda sredstvami teorii argumentacii /V.N. Vagin, A.A. Zagorjanskaja /Intellektual'nye sistemy: pod red. V.M. Kurejchika. – M.: Fizmatlit, 2005. – S.129-143.
8. Vagin, V. Sistemy argumentacii i abduktivnyj vyvod /V.N. Vagin, A.A. Zagorjanskaja //Izvestija RAN. Teorija i sistemy upravlenija. – 2004. – #1. – S.125-137.
9. Martin, F. Case-Based Sequence Analysis in Dynamic, Imprecise, and Adversarial Domains: tesi doctoral /F.J. Martin. – Barcelona: Universitat Politecnica De Catalunya, 2004. – 285 p.

Рецензент: *д.т.н., проф. Крючковский В.В., Херсонский национальный технический университет.*