

УДК 004.78

Я.Г. Киселева, С.Ю. Шабанов-Кушнарченко

Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Харьков

МЕТОДЫ И АЛГОРИТМЫ ОРГАНИЗАЦИИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ КОМПОНЕНТ В СОСТАВЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ПРОГНОЗА И ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПРИ БОРЬБЕ С ЧРЕЗВЫЧАЙНЫМИ СИТУАЦИЯМИ

Проблемы, связанные с лесными пожарами, очень остро стоят в настоящее время, так как они значительно влияют на окружающую среду. Авторы статьи пытаются объяснить свою точку зрения на эту проблему. Главными аспектами статьи являются важность проблемы борьбы с лесными пожарами и другими чрезвычайными ситуациями, моделирование лесных пожаров, актуальность разработки интеллектуальной эффективной системы прогноза и поддержки принятия решений при борьбе с чрезвычайными ситуациями (ИЭСППР ЧС).

Ключевые слова: динамическая экспертная система, чрезвычайная ситуация, интеллектуальная система, геоинформационная система, система поддержки принятия решений.

1. Роль и функции когнитивной компоненты в типовых блоках поддержки принятия решений УС СОТО

Организация процесса функционирования БППР предусматривает реализацию ряда специфических задач, не присущих традиционным экспертным системам [1, 2]. Эти подзадачи, в общем, составляют задачу учета в реальном времени поведения СОТО, формирования и реализации решений в темпе, который задается динамикой изменений его состояния. Одна из наиболее важных подзадач - отображение в эпистемологической компоненте типового БППР текущего состояния СОТО и окружающей среды как результата действия на объект внешних возмущений. Текущее состояние окружающей среды, в котором функционирует ИЭСППР, как правило, изменяется случайно, так как зависит от множества случайных факторов [3]. Текущее состояние объекта тоже изменяется

случайно, поскольку оно зависит как от воздействия возмущающих факторов окружающей среды, так и от управляющих воздействий со стороны УС.

При формировании управляющего воздействия путем вывода на знаниях с использованием продукционной БЗ необходимо, чтобы переменные в предикатах antecedентов правил продукции соответствовали значениям последних измерений системы мониторинга. К следующему измерению переменных в системе мониторинга должны быть закончены формирования управляющих операций на основе вывода на знаниях. В этом случае, в момент следующего измерения, результаты предшествующего измерения уже будут учтены в сформированном решении и управляющие действия будут запущены (то есть отображение в БЗ текущих данных предшествующего измерения уже осуществится к моменту следующего измерения).

На рис. 1 приведены последовательности замера переменных на двух соседних временных интервалах функционирования системы мониторинга.



Рис. 3.1. Мониторинг текущего состояния СОТО

Таким образом, в интервал времени между соседними измерениями, системой мониторинга должны быть осуществлены: отображение в БЗ результатов предшествующего измерения, формирование последовательности управляющих операций (с учетом результатов предшествующего измерения) путем вывода на знаниях. В пределах этого интервала должно начаться выполнение сформированной последовательности управляющих операций. На соседнем интервале, после очередного измерения, описанные выше действия будут повторяться. Как видно из рис. 1, время формирования последовательности управляющих операций путем вывода на знаниях не может превышать период времени между соседними замерами. Из этого вытекает вторая подзадача функционирования ИС – подзадача сокращения времени вывода на знаниях. Решение этой задачи связано с динамической декомпозицией БЗ на подмножества правил продукции в каждый момент реального времени функционирования ИС. Совокупность подмножеств правил продукции базы знаний ИС определяет текущее состояние БЗ. При этом, вывод на знаниях осуществляется не на всей БЗ, а только на одном подмножестве указанной совокупности, что позволяет резко сократить количество правил продукций, которые рассматриваются при формировании последовательности управляющих действий путем вывода на знаниях после каждого измерения, которое осуществляется системой мониторинга.

При использовании продукционной БЗ в качестве эпистемологической компоненты БППР интерфейс между БД системы мониторинга и БЗ целесообразно строить на основе совокупности метаправил, которые отражают, с одной стороны, состав БД, наполняемой системой мониторинга, а со второго – структуру продукционной БЗ, которая определяется переменными, которые входят в состав предикатов антецедентов правил продукции БЗ.

В дальнейшем будем использовать следующие обозначения:

Ω – множество всех правил продукции БЗ вместе с метаправилами, $\Omega = \{\omega_r\}, r = [1, v]$, где v – количество правил продукции; Υ^* – множество сменных, что входят в состав предикатов антецедентов правил продукции БЗ $\Upsilon^* \subseteq \Upsilon$; P – множество предикатов, которые входят в антецеденты и консеквентов правил продукции из множества Ω ; P_r – множество всех предикатов, которые входят в состав антецедента $\{p_{rs}^{(a)}\}, s \in v_r^{(a)}$ и консеквента $\{p_{rh}^{(k)}\}, h \in v_r^{(k)}$ правила ω_r . Здесь $v_r^{(a)}$, $v_r^{(k)}$ – множества индексов предикатов соответственно антецедента и консеквента правила ω_r .

Определение 1. Правило $\omega_i^{(1)}, i = [v+1, m]$ называется метаправилом первого рода (МПР), если

антецедент этого правила состоит из предиката следующего вида:

$$p_{rs}^{(a)}(|\tilde{y}_i(t_n) - \tilde{y}_i(t_{n-1})| \geq \delta_i), \quad (1)$$

где $\tilde{y}_i(t_n)$ – значение переменной $y_i, y_i \in \Upsilon^*$ в текущий момент замера t_n ; δ_i – пороговая оценка прироста y_i на интервале времени $[t_n - t_{n-1}]$, а консеквент МПР $\omega_i^{(1)}$ содержит предикат вида:

$$p_{ih}^{(k)}(y_i = \tilde{y}_i(t_n)) = 1, \quad (2)$$

что свидетельствует о занесении нового значения $\tilde{y}_i(t_n)$ в БД в момент времени t_n .

Значение пороговой оценки δ_i относительно каждой переменной y_i определяется согласно допустимой погрешности измерительного канала, а также значением данного параметра и заносится в предикаты антецедентов соответствующего МПР при отладке интерфейса между БД и БЗ для конкретной системы.

Понятно, что для конкретной БЗ количество МПР в БЗ отвечает количеству переменных Υ^* , которые входят в предикаты антецедентов БЗ:

$$|\Omega^{(1)}| = |\Upsilon^*|, \Omega^{(1)} \subset \Omega. \quad (3)$$

Как видно из (3.3), МПР $\omega_i^{(1)}$ определяет факт существенного для БЗ ДЕС изменения значения y_i , которое контролируется системой мониторинга.

Определение 2. Отражение БД в БЗ продукционного типа – это процесс вычисления значений предикатов антецедентов $\{p_{rs}^{(a)}\}, s \in v_r^{(a)}$, для каждого из правил $\omega_r \in \Omega$, которые зависят от значения переменной $\tilde{y}_i(t_n), i = [1, m]$, измеренной в момент реального времени t_n .

Определение 3. Продукционное правило $\omega_i^{(2)}$ называется метаправилом второго рода (МВР), если антецедент этого правила является предикатом вида $p_j^{(a)}(y_i = \tilde{y}_i(t_n)) = 1$ и совпадает с консеквентом соответствующего МПР $\omega_i^{(1)}$, а консеквент МВР $\omega_i^{(2)}$ определяется условием вида:

$$\forall p_g^{(k)}(y_i = \tilde{y}_i(t_n)) = 1, \quad (4)$$

где каждый предикат $p_g^{(k)}$ отвечает определенному предикату антецедентов правил продукции БЗ, зависящих от $y_i, g \in G_i$.

Для данной БЗ любому МПР $\omega_i^{(1)} \in \Omega^{(1)}$ должно отвечать свое МВР $\omega_i^{(2)} \in \Omega^{(2)}$.

Как видно из определений 1 – 3, метаправила $\omega_i^{(1)}, \omega_i^{(2)}$ могут быть объединены в одном, обобщенном метаправиле.

Определение 4. Метаправило $\omega_i^{(u)}$ называется обобщенным метаправилом (УМП), если его antecedent совпадает с antecedentом МПР $\omega_i^{(1)}$, а консеквент – из консеквентом МДР $\omega_i^{(2)}$.

Таким образом, изложенный выше метод организации взаимодействия между БД и БЗ с использованием метаправил дает возможность непрерывно отражать, почти без запаздывания, в БЗ текущее состояние объекта управления с целью обеспечения функционирования эпистемологической компоненты каждого типового БППР и всей ИЭСППР в реальном времени, поскольку отражение значений переменных БД в БЗ осуществляется практически в моменты каждого существенного изменения значений соответствующих параметров.

2. Метод динамической декомпозиции продукционных баз знаний, образующих эпистемологические компоненты типовых блоков поддержки принятия решений

Для объединения продукционных БЗ, которые образуют эпистемологические компоненты отдельных БППР, в рамках всей ИЭСППР и создания на этой основе единого пространства знаний, необходима разработка специального метода.

В процессе функционирования БППР среди множества правил $\Omega = \{\omega_r\}, r = \overline{1, V}$, продукционной БЗ образуются такие подмножества: $\Omega^{(K)}$ – правила конфликтного набора; $\tilde{\Omega}^{(K)}$ – правила-претенденты на включение в конфликтный набор; $\Omega^{(B)}$ – правила, которые выполняются в данный момент; $\Omega^{(3)}$ – правила продукции, операции которых завершились в текущий момент; $\Omega^{(HB)}$ – правила продукции, операции которых не выполнены в текущий момент в пределах допустимого временного интервала; $\Omega^{(AE)}$ – правила, заблокированные на установленное время для предупреждения их повторного срабатывания.

Допустимая продолжительность выполнения операций, которая обусловлена экспертами, в правилах подмножества $\Omega^{(HB)}$ на данный момент может быть превышена, в частности, из-за неисправности элементов системы. Состав элементов указанных выше подмножеств постоянно изменяется таким образом, что в любой t_n -й момент в БЗ БППР можно выделить следующие подмножества:

$$\hat{\Omega}_n = \Omega_n^{(K)} \cup \tilde{\Omega}_n^{(K)} \cup \Omega_n^{(B)} \cup \Omega_n^{(3)} \cup \Omega_n^{(HB)} \cup \Omega_n^{(AE)}, \quad (5)$$

$$\Omega_n^* = \Omega / \hat{\Omega}_n.$$

Подмножество $\hat{\Omega}_n$ уместно назвать активной частью БЗ эпистемологической компоненты в мо-

мент t_n , а Ω_n^* – пассивной частью этой компоненты в t_n -й момент времени. Подмножества $\Omega_n^{(K)}$, $\tilde{\Omega}_n^{(K)}$, $\Omega_n^{(B)}$, $\Omega_n^{(3)}$, $\Omega_n^{(HB)}$, $\Omega_n^{(AE)}$ и Ω_n^* характеризуют статус каждого правила БЗ в текущий t_n -й момент функционирования эпистемологической компоненты каждого БППР и, таким образом, состояние эпистемологической компоненты ИЭСППР в целом.

Определение 5. Текущее состояние продукционной БЗ в t_n -й момент функционирования БППР определяется составом подмножеств активной части $\hat{\Omega}_n$ БЗ, который зависит от текущего состояния объекта и имеющейся экспертной информации.

Роль каждого из указанных подмножеств состоит в ускорении процесса вывода на знаниях в БППР благодаря уменьшению количества правил продукции, рассматриваемых в каждый момент времени, а также в выявлении отклонений в работе системы и объекта управления (в результате формирования подмножества $\Omega^{(HB)}$).

Подмножество конфликтного набора $\Omega^{(K)}$ дает возможность с помощью вывода на знаниях сформировать решение в виде последовательности операций, которые запускаются непосредственно в результате измерения в текущий момент t_n переменных на объекте.

Подмножество правил-претендентов на включение в конфликтный набор $\tilde{\Omega}^{(K)}$ служит для быстрого формирования конфликтного набора $\Omega^{(K)}$ в текущий момент измерения параметров объекта системой мониторинга.

Состав элементов подмножества $\Omega^{(B)}$ правил, которые выполняются, определяется всеми операциями, реализованными на объекте в текущий момент времени.

Подмножество $\Omega^{(3)}$, завершающихся в текущий момент времени операций выделяется с $\Omega^{(B)}$ и может быть использовано в подсистеме объяснений отдельных БППР для определения пути формирования решений.

Подмножество $\Omega^{(B)}$ содержит в своем составе подмножество $\Omega^{(HB)}$ правил, которые не выполнены, т.е. тех правил, для которых соответствующие операции не завершились в пределах допустимого временного интервала (заданного априорно экспертами) вследствие, например, нарушений в работе системы.

Результат измерения $y_i(t_n)$ системой мониторинга в текущий момент времени t_n любого параметра $y_i \in \mathcal{T}, i = \overline{1, n}$, объекта может вызвать в общем случае изменение значений предикатов, которые зависят от этого параметра, $P_m(y_i, \dots) \in P, m \in V_m$, и, таким образом, изменения в antecedентах $\{p^{(a)}\}$ и

консеквентах $\{p^{(k)}\}$ правил БЗ, куда входят данные предикаты; здесь V_m – множество индексов предикатов, которые зависят от y_i .

Сформулируем условия включения и исключения правил продукций для описанных выше подмножеств БЗ непосредственно после измерения параметров в t_n -й момент функционирования ДЕС.

Очевидно, во $\Omega^{(K)}$ включаются правила продукции, все предикаты антецедентов которых удовлетворяются, т.е.

$$\omega_p \in \Omega_n^{(K)} \mid (\forall p_\alpha \in \{p_{p\alpha}^{(a)}\}) \mid p_\alpha = 1, \alpha \in v_p^{(a)}, \quad (6)$$

где $v_p^{(a)}$ – множество предикатов антецедента правила ω_p .

В конфликтный набор $\Omega_n^{(K)}$ могут быть включены правила продукции только из подмножества $\tilde{\Omega}_n^{(K)}$, поскольку условие удовлетворения всех предикатов антецедента (достаточное условие) содержит условие удовлетворения в данный момент времени t_n любой части множества предикатов антецедента (необходимое условие).

Подмножество правил-претендентов $\tilde{\Omega}_n^{(K)}$ на включение в конфликтный набор $\tilde{\Omega}_n^{(K)}$ формируется из условия, которое в антецедентах этих правил существует хотя бы один предикат, который изменил свое значение с нуля на единицу в результате последнего измерения в момент времени t_n :

$$\omega_m \in \tilde{\Omega}_n^{(K)} \mid (\exists p_\beta(y_i, \dots) \in \{p_{m\beta}^{(a)}\}) \wedge (p_\beta(y_i, \dots) = 1), \quad (7)$$

$$\Gamma \in v_m^{(a)},$$

где $v_m^{(a)}$ – множество индексов предикатов антецедента правил ω_m .

В случае, если в результате измерения в текущий момент t_n значения сменной $y_i(t_n)$ все предикаты антецедента не будут удовлетворены, тогда соответствующие правила продукции должны быть исключены с подмножества $\tilde{\Omega}_n^{(K)}$ непосредственно после измерения (к началу следующего измерения).

К подмножеству $\Omega_n^{(B)}$ правил, которые выполняются в текущий момент времени t_n , включаются правила $\Omega_n^{(K)}$ только из конфликтного набора (в порядке, обусловленном схемой и стратегией вывода на знаниях), $\Omega_n^{(K)} \subset \Omega_n^{(B)}$; в $\Omega_n^{(B)}$ также содержатся все раньше запущенные на выполнения правила, для которых справедливо:

$$\omega_j \in \Omega_n^{(B)} \mid (P(\delta_j - \tau_j \geq 0) = 1) \wedge (\exists p_\gamma \in \{p_{j\sigma}^{(K)}\} \mid p_\gamma = 0), \quad (8)$$

$$\tau_j = t_n - t_j, \sigma \in v_j^{(K)}, \quad (9)$$

где $\delta_j \in \psi, j = \overline{1, V}$ – установленная продолжительность реализации операции, которая отвечает правилу ω_j ; t_j – момент запуска на выполнение правила ω_j ; $v_j^{(K)}$ – множество индексов предикатов консеквента ω_j .

Завершенные правила с $\Omega_n^{(3)}, \Omega_n^{(3)} \subset \Omega_n^{(B)}$, для которых выполнено условие:

$$\omega_l \in \Omega_n^{(3)} \mid (\forall P_\eta \in \{P_{l\rho}^{(K)}\} \mid P_\eta = 1), \rho \in v_l^{(K)}, \quad (10)$$

где $v_l^{(K)}$ – множество индексов предикатов консеквента у правила ω_l , изымаются из подмножества $\Omega_n^{(B)}$ и включаются в $\Omega_n^{(\Delta E)}$, т.е. предикаты консеквентов этих правил оказались выполненными по данным измерения на объекте, проведенного после выполнения соответствующей операции.

Правила типа $\omega_\xi \in \Omega^{(3)}$, которые уже завершены, для предотвращения их повторного срабатывания (если антецеденты этих правил были когда-то удовлетворены) должны быть заблокированы на определенный эксперт или предусмотренный регламентом время $\{\lambda_\gamma\} = \Lambda, \gamma = \overline{1, V}$ поэтому в t_n -й момент времени в $\Omega_n^{(\Delta E)}$ необходимо включить правила с $\Omega_n^{(3)}$ и все раньше завершенные правила, для которых:

$$\omega_\xi \in \Omega_n^{(\Delta E)} \mid (P(\lambda_\xi - \bar{\tau}_\xi \geq 0) = 1), \bar{\tau}_\xi = t_u - \bar{t}_\xi, \quad (11)$$

где \bar{t}_ξ – момент завершения операции, которая отвечает правилу ω_ξ .

Подмножество $\Omega_n^{(HB)}$ правил продукции, которые не выполняются на допустимом временном $\Omega_n^{(B)}$ интервале, $\Omega_n^{(HB)} \subset \Omega_n^{(B)}$, целесообразно выделять из подмножества с целью использования этих правил для анализа причин нарушений в работе объекта.

Во $\Omega_n^{(HB)}$ включаются правила с недовольным консеквентом, для которых продолжительность реализации δ_q в текущий момент t_n оказалась превышенной, т.е.

$$\omega_q \in \Omega_n^{(HB)} \mid (P(\delta_q - \tau_q \geq 0) = 0) \wedge (\exists p \in \{p_{q\theta}^{(K)}\} \mid p = 0), \quad (12)$$

$$\tau_q = t_n - t_q, \Theta \in v_q^{(K)}, \quad (13)$$

где $v_q^{(K)}$ – множество индексов предикатов консеквента правила ω_q ; t_q – момент начала операции, которая отвечает правилу ω_q .

Очевидно, правила $\hat{\Omega}_n$ активной части БЗ, которые не удовлетворяют в момент t_n ни одному из условий (6) – (13), включаются в пассивную часть Ω_n^* .

Для обеспечения нормальной работы БППР принципиально важно, чтобы время Δ_u формирования подмножеств активной части $\hat{\Omega}_n$ в любой t_n -й момент функционирования системы был меньше за интервал между измерениями параметров объекта системой мониторинга:

$$[t_{n+1} - t_n]_{\min} > \Delta_n. \quad (14)$$

Процесс формирования подмножеств активной части происходит на основе принципа динамической декомпозиции БЗ.

Определение 6. Динамическая декомпозиция эпистемологической компоненты БППР в момент времени t_n – это процесс формирования множеств на основе перехода правил из одного подмножества в другое в рамках:

$$\begin{aligned} & \Omega_n^{(K)} \cup \tilde{\Omega}_n^{(K)} \cup \Omega_n^{(B)} \cup \Omega_n^{(3)} \cup \\ & \cup \Omega_n^{(HB)} \cup \Omega_n^{(AE)} \cup \Omega_n^* \cup \Omega \end{aligned} \quad (15)$$

по условиям (6) – (13) за время, которое удовлетворяет условию (15).

Декомпозиция эпистемологической компоненты типовых блоков поддержки принятия решений УС СОТО

Для формирования текущего состояния эпистемологической компоненты БППР в форме БЗ продукционного типа после измерений значений переменных функционирования СОТО в каждый из моментов времени t_{n+1} и t_{n+2} было достаточно проверить лишь два правила (ω_1, ω_3 и ω_9, ω_{10} соответственно), что в пять раз меньше общего коли-

чества правил в БЗ. Сокращение количества правил возможно за счет того, что формирование конфликтного набора происходит только в результате вычисления значений предикатов в антецедентах правил-претендентов, т.е. правил, в которых в результате измерения хотя бы один предикат антецедента изменил свое значение с 0 на 1.

Выводы

Таким образом, приведенный выше подход к организации функционирования эпистемологической компоненты в форме продукционной БЗ на основе динамической декомпозиции дает возможность существенным образом сократить количество правил продукций, которые проверяются на каждом такте работы УС СОТО, а также за счет формирования конфликтного набора на основе множества правил претендентов ускорить процесс вывода на знаниях как в отдельном типом БППР, так и в рамках всей ИЭСППР.

Список литературы

1. Стихийные бедствия: изучение и методы борьбы: пер. с англ. / Под ред. С.Б. Лаврова и Л.Г. Никифорова. – М.: Прогресс, 1978. – 440 с.
2. Кошкарев А.В. Геоинформатика / А.В. Кошкарев, В.С. Тикунов; под ред. Д.В. Лисицкого. – М.: Картогеоцентр-Геоиздат, 1993. – 213 с.
3. Махутов Н.А. Межгосударственное сотрудничество России и государств-участников СНГ в области совместных научных исследований по проблемам обеспечения безопасности при чрезвычайных ситуациях / Н.А. Махутов, В.В. Зацаринный, А.А. Надубов, М.К. Прокофьев. – М.: ВИНТИ, 1996. – Вып. 6. – С.85 – 101.

Поступила в редколлегию 3.02.2011

Рецензент: д-р техн. наук, проф. И.В. Шостак, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков.

МЕТОДИ І АЛГОРИТМИ ОРГАНІЗАЦІЇ ВЗАЄМОДІЇ КОМПОНЕНТ У СКЛАДІ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ СИСТЕМИ ПРОГНОЗУ І ПІДТРИМКИ УХВАЛЕННЯ РІШЕНЬ ПРИ БОРОТЬБІ З НАДЗВИЧАЙНИМИ СИТУАЦІЯМИ

Я.Г. Кісельова, С.Ю. Шабанов-Кушнаренко

Проблеми, пов'язані з лісовими пожежами, дуже гостро стоять в даний час, оскільки вони значно впливають на навколишнє середовище. Автори статті намагаються пояснити свою точку зору на цю проблему. Головними аспектами статті є важливість проблеми боротьби з лісовими пожежами і іншими надзвичайними ситуаціями, моделювання лісових пожеж, актуальність розробки інтелектуальної ефективної системи прогнозу і підтримки ухвалення рішень при боротьбі з надзвичайними ситуаціями.

Ключові слова: динамічна експертна система, надзвичайна ситуація, інтелектуальна система, геоінформаційна система, система підтримки прийняття рішень.

METHODS AND ALGORITHMS OF COMPONENT INTERACTION ORGANIZATION IN COMPOSITION THE INTELLECTUAL SYSTEM OF PROGNOSIS AND SUPPORT OF MAKING A DECISION AT A FIGHT IN EMERGENCY SITUATION

Ya.G. Kiseleva, S.Yu. Shabanov-Kushnarenko

Problems, related to the forest fires, very sharply stand presently, because they considerably influence on an environment. The authors of the article try to explain the point of view on this problem. The main aspects of the article it is been importance of problem of fight against forest fires and other extraordinary situations, design of forest fires, actuality of development of the intellectual effective system of prognosis and support of making a decision at a fight against extraordinary situations.

Keywords: dynamic expert system, an extreme situation, intellectual system, geoinformation system, system of support of decision-making.