

К ПРОБЛЕМЕ АНАЛИЗА ДОСТИЖИМОСТИ ЦЕЛЕЙ ПРИНИМАЕМЫХ РЕШЕНИЙ

Рассматриваются проблемы достижимости целей решений, которые принимаются в нечетком пространстве состояния процессов управления и принятия решений. Формулируются условия и предлагается комплекс утверждений, которые определяют свойства достижимости целей принимаемых решений с использованием нечеткой сетевой модели, основанной на аппарате нечетких сетей Петри и теории нечетких множеств.

1. Введение

Проблема анализа достижимости целей принимаемых решений является одной из главных задач анализа процессов принятия решений. Сложность решения такой задачи усугубляется влиянием свойств нечеткости на развитие процессов в структурах баз знаний и принятия решений на их основе [1-3].

Существующие подходы, например [4, 7, 8], учитывая сложность и оценку возможностей, нельзя эффективно применять на практике. Это требует поиска новых подходов и решений, в первую очередь ориентированных на решение прикладных задач.

Рассмотрим вопросы анализа достижимости целей принимаемых решений, которые формируются на основе существенно нечетких процессов и могут быть представлены в виде отношений "условие - действие".

2. Постановка задачи

Пусть существует множество взаимодействующих нечетких процессов $\{\tilde{\Pi}_i\}, i \in I$. Пространство состояний взаимодействующих процессов определено на множестве $\{\tilde{A}_i\}, i \in I$.

Начальное состояние развития процессов определим пространством начальных состояний $\{\tilde{A}_{oi}\} \subset \{\tilde{A}_i\}$, конечное состояние - пространством конечных состояний: $\{\tilde{A}_{ki}\} \subset \{\tilde{A}_i\}$.

Утверждение 1. Если определено множество процессов $\{\tilde{\Pi}_i\}, i \in I, \{\tilde{\Pi}_i\} \neq \emptyset$, пространство начальных состояний $\{\tilde{A}_{oi}\}, \{\tilde{A}_{oi}\} \neq \emptyset$, то цели принимаемых решений достижимы, если справедливо

$$\forall \tilde{\Pi}_i \in \{\tilde{\Pi}_i\}, \forall \tilde{A}_{oi} \in \{\tilde{A}_{oi}\} \left| \left| \{\tilde{A}_{ki}\} \neq \emptyset. \right. \right. \quad (1)$$

Следствие 1. Если справедливо (1), то

$$\forall \tilde{\Pi}_i \in \{\tilde{\Pi}_i\} \left| \left| \{\tilde{D}_{sj}\} = true, j \in J, \right. \right. \quad (2)$$

где $\{\tilde{D}_{sj}\}$ - множество достижимых целей принимаемых решений.

Таким образом, решение задачи анализа достижимости целей принятия решений включает исследование пространства состояний $\left\{ \tilde{A}_i \right\}$, взаимодействующих нечетких процессов $\left\{ \tilde{\Pi}_i \right\}$ и выявление факта справедливости условий (1), (2).

3. Подходы к решению задачи анализа достижимости целей принимаемых решений

Определим факторы, которые существенным образом могут влиять на достижимость целей принятия решений в нечеткой среде развития процессов.

Утверждение 2. Подмножество целей принимаемых решений $\left\{ \tilde{D}_{s_j} \right\}$ при заданном пространстве начальных состояний $\left\{ \tilde{A}_{oi} \right\}$ недостижимо, если справедлива хотя бы одна из следующих ситуаций:

$$а) \quad \exists \tilde{\Pi}_i \in \left\{ \tilde{\Pi}_i \right\} \left| \mu_{\tilde{\Pi}_i} (k_0) < \mu_{\tilde{\Pi}_i} (k_0)^* , \quad (3)$$

где $\mu_{\tilde{\Pi}_i} (k_0)^*$ – минимально допустимое, исходя из рассматриваемой сущности,

значение функции принадлежности для $\tilde{\Pi}_i$ процесса; k_0 – значение переменной k , определяющее конкретное значение функции $\mu_{\tilde{\Pi}_i} (k)$;

б) существует по крайней мере один процесс $\tilde{\Pi}_i \in \left\{ \tilde{\Pi}_i \right\}$, который не может быть разрешен и

$$\exists \tilde{\Pi}_i \in \left\{ \tilde{\Pi}_i \right\} \left| \left\{ \tilde{D}_{s_j} \right\} = false, \left\{ \tilde{D}_{s_j} \right\} \neq \emptyset ; \quad (4)$$

в) существует непрекращающееся состояние взаимного ожидания двух или более процессов (задач) и

$$\exists \tilde{\Pi} \in \left\{ \tilde{\Pi}_i \right\} \left| \left\{ \tilde{D}_{s_j} \right\} = false, \left\{ \tilde{D}_{s_j} \right\} \neq \emptyset . \quad (5)$$

Следствие 2. Достигнутыми процессами $\left\{ \tilde{\Pi}_i \right\}$ будем называть такое подмножество процессов $\left\{ \tilde{\Pi}_i' \right\} \subset \left\{ \tilde{\Pi}_i \right\}$, $\left\{ \tilde{\Pi}_i' \right\} \neq \emptyset$, для которых не выполняется ни одно из условий утверждения 2.

Замечание. В дальнейшем, если не будут возникать затруднения в восприятии материала, символ “|” в элементах подмножеств $\left\{ \tilde{\Pi}_i' \right\}$, $\left\{ \tilde{D}_{s_j} \right\}$ будем опускать.

Анализ характерных ситуаций дает возможность сформулировать следующее:

Следствие 3:

– **ситуация а)** утверждения 2 определяет, что для решения задачи достижимости целей (1), (2) требуется модификация значений $\mu_{\tilde{\Pi}_i}(k_0)$ в (3) таким образом, чтобы

$$\forall \tilde{\Pi}_i \in \left\{ \tilde{\Pi}_i \right\} \left| \mu_{\tilde{\Pi}_i}(k_0) \geq \mu_{\tilde{\Pi}_i}(k_0)^* \right. . \quad (6)$$

Для решения (6) в реальных системах обычно привлекают некоторые дополнительные ресурсы, характер, объемы и трудозатраты которых определяются конкретной предметной областью;

– **ситуации б) и в)** утверждения 2 отображают логическую неадекватность целей процессов принятия решений предметной области, что вызывает необходимость модификации законов взаимодействия нечетких процессов, а в ряде случаев также и повышения их четкости.

4. Анализ достижимости целей принимаемых решений с использованием нечетких сетевых моделей

Для решения поставленной задачи применим эффективный аппарат нечетких сетевых моделей (НСМ), основанный на теории нечетких расширенных интерпретированных сетей Петри [3, 5, 6, 7] и теории нечетких множеств [1].

Кратко приведем правила интерпретации нечетких процессов $\left\{ \tilde{\Pi}_i \right\}$ реальных систем в терминах НСМ: множество нечетких переходов $\tilde{t}_i \in \tilde{T}$ НСМ $\tilde{S}(f)$ интерпретирует множество нечетких действий $\left\{ \tilde{d}_r \right\}$ моделируемых нечетких процессов $\left\{ \tilde{\Pi}_i \right\}$; множество нечетких позиций $\tilde{p}_j \in \tilde{P}$ НСМ $\tilde{S}(f)$ интерпретирует множество нечетких условий $\left\{ \tilde{U}_l \right\}$ выполнения множества действий $\left\{ \tilde{d}_r \right\}$; динамика и множества состояний $\left\{ \tilde{A}_i \right\}$ моделируемых процессов интерпретируются перемещением нечетких меток $\tilde{M}\left(\tilde{p}_j\right) \left| z_{\tilde{p}_j}(k_0) > z_{\tilde{p}_j}(k_0)^* \right.$ из множества вводных нечетких позиций $\left\{ \tilde{p}_i(in) \right\}$ разрешенного нечеткого перехода $\tilde{t}_i \in \tilde{T}$ в множество выходных нечетких позиций $\left\{ \tilde{p}_i(out) \right\}$ рассматриваемого перехода $\tilde{t}_i \in \tilde{T}$; множества векторов начальной маркировки $\left\{ \tilde{M}_0(f)_u \right\}$, $u, \in U$ и векторов конечной маркировки $\left\{ \tilde{M}_k(f)_u \right\}$ отображают соответственно множества пространства начальных $\left\{ \tilde{A}_{0i} \right\}$ и конечных состояний $\left\{ \tilde{A}_{ki} \right\}$.

Определение. Нечеткую функцию инцидентностей определим как:

$$\tilde{F}(f): \left(\tilde{P} \times \tilde{X} \right) \cup \left(\tilde{T} \times \tilde{P} \right) \rightarrow \left\{ x_{ij}(k), y_{ij}(k) \right\}, \quad (7)$$

где $x_{ij}(k), y_{ij}(k)$ – соответственно функции принадлежности нечетких позиций $\tilde{p}_j \in \tilde{P}$ и нечетких переходов $\tilde{t}_i \in \tilde{T}$.

Исходя из приведенного выше, проблема достижимости в терминах НСМ включает анализ, по крайней мере, следующих аспектов:

– структурной логической неадекватности взаимодействия процессов $\left\{ \tilde{\Pi}_i \right\}$ предметной области, которая приводит к отсутствию маркирования $\exists \tilde{p}_j \in \tilde{P} \left| \tilde{M}(\tilde{p}_j) = 0 \right.$ и нарушения безопасности [8] некоторых позиций $\tilde{p}_j \in \tilde{P}$, а также к запрещенности и конфликтности [8] некоторых переходов $\exists \tilde{t}_i \in \tilde{T}$;

– нечеткости процессов $\left\{ \tilde{\Pi}_i \right\}$, которая исходя из предметной области, определяет запрещенность некоторых переходов $\exists \tilde{t}_i \in \tilde{T}$ вследствие

$$\left(\exists \tilde{t}_i \in \tilde{T} \left| \mu_{\tilde{t}_i}(k_0) < \mu_{\tilde{t}_i}(k_0)^* \right. \right) \vee \left(\exists \tilde{p}_j \in \tilde{P} \left| \mu_{\tilde{p}_j}(k_0) < \mu_{\tilde{p}_j}(k_0)^* \right. \right); \quad (8)$$

– нечеткости взаимодействия процессов $\left\{ \tilde{\Pi}_i \right\}$, которая, исходя из предметной области, определяет запрещенность некоторых переходов $\exists \tilde{t}_i \in \tilde{T}$ вследствие

$$\left(\exists x_{ij}(k_0) \in \{x_{ij}(k_0)\} \mid x_{ij}(k_0) < x_{ij}(k_0)^* \right) \vee \left(\exists y_{ij}(k_0) \in \{y_{ij}(k_0)\} \mid y_{ij}(k_0) < y_{ij}(k_0)^* \right); \quad (9)$$

– нечеткости маркирования позиций \tilde{P} НСМ, которая, исходя из предметной области, определяет запрещенность некоторых переходов $\exists \tilde{t}_i \in \tilde{T}$ вследствие:

$$\exists \tilde{M} \left(\tilde{p}_j \right) \subset \tilde{M} \left(\tilde{p}_j \right) \left| z_{\tilde{p}_j}(k_0) < z_{\tilde{p}_j}(k_0)^* \right., \quad (10)$$

где $z_{\tilde{p}_j}(k_0), z_{\tilde{p}_j}(k_0)^*$ – значение соответственно функции принадлежности и минимально допустимого ее значения для \tilde{p}_j позиции НСМ;

– выполнения истинности некоторого предиката L , отображающего свойства множеств \tilde{T}, \tilde{P} , функций $\tilde{F}(f)$ и пространства состояний $\{\tilde{M}(f)\}$ НСМ.

Утверждение 3. Если НСМ адекватно описывает нечеткие взаимодействующие процессы $\left\{ \tilde{\Pi}_i \right\}$, тогда достижимость целей принятия решений (1), (2) может быть определена как разрешенность $\forall \tilde{t}_i \in \tilde{T}$ и достижимость маркирования $\forall \tilde{p}_j \in \left\{ \tilde{p}_{is}(out) \right\}$ НСМ, где $\left\{ \tilde{p}_{is}(out) \right\}$ – множество выходных (терминальных) позиций НСМ $\tilde{S}(f)$.

Следствие 4. Если выполняются условия утверждения 3 и существует по крайней мере хотя бы одно конечное подмножество векторов

$$\{\tilde{M}_0(f)u'\} \subset \left\{ \tilde{M}_0(f)u \right\}, u' \in U', U' \subset U, \left\{ \tilde{M}_0(f)u' \right\} \neq \emptyset$$

из множества допустимых, из которого достижимо маркирование всего множества выходных (терминальных) позиций $\left\{ \tilde{p}_{is}(out) \right\}$ НСМ

$$\forall \tilde{p}_j \in \left\{ \tilde{p}_{is}(out) \right\} \mid \tilde{M}(\tilde{p}_j) = 1 \quad (11)$$

и справедливо

$$- \forall \tilde{M} \left(\tilde{p}_j \in \left\{ \tilde{p}_{is}(out) \right\} \right) \in \left\{ \tilde{M}_k(f)u \right\} \left| z_{p_j} \sim(k_0) \geq z_{p_j} \sim(k_0)^* \right. ; \quad (12)$$

$$- \forall \tilde{p}_j \in \left\{ \tilde{p}_{is}(out) \right\} \left| \mu_{p_j} \sim(k_0) \geq \mu_{p_j} \sim(k_0)^* \right. ; \quad (13)$$

$$- \forall \tilde{p}_j \in \left\{ \tilde{p}_j \right\} \mid M(\tilde{p}_j) \leq 1, \quad (14)$$

то задача достижимости целей принимаемых решений разрешима.

Условие (14) накладывает требование безопасности [8] позиций $\forall \tilde{p}_j \in \tilde{P}$ НСМ, при его нарушении и принятой интерпретации может возникнуть ситуация, которая приведет к возможной потере информации о развитии процессов. Разумеется, такая ситуация приводит к тому, что нарушается адекватность представления процессов и решение задачи достижимости в практических задачах анализа теряет практический смысл.

Утверждение 4. Если для $\forall t_i \in T$ НСМ $\tilde{S}(f)$ выполнены условия разрешимости и справедливы (12)–(14), то конъюнкция (11)–(14) определяет условия достижимости целей принимаемых решений $\left\{ \tilde{D}_{S_j} \right\}$ при решении практических задач анализа.

В теоретических и практических задачах анализа важно не только выявить и локализовать факт отсутствия свойств достижимости (2) целей принимаемых решений, но и определить пути и способы модификации процессов в целях устранения причин, приведших к неразрешимости задачи достижимости.

Утверждение 5. Если определено, что задача достижимости целей (2) на НСМ $\tilde{S}(f)$ и заданном пространстве $\left\{ \tilde{M}_0(f) \right\}$ не разрешима и по крайней мере одно из условий (12)–(14) не выполняется, то необходимо:

- модифицировать структуру НСМ $\tilde{S}(f)$ в целях адекватного отображения предметной области;
- модифицировать элементы множества векторов таким образом, чтобы

$$\forall M_0(f)u \in \left\{ \tilde{M}_0(f)u \right\} \left| z_{p_j} \sim(k_0) \geq z_{p_j} \sim(k_0)^* \right. ; \quad (15)$$

- модифицировать НСМ $\tilde{S}(f)$ таким образом, чтобы:

$$\forall \tilde{p}_j \in \tilde{P} \mid \mu_{\tilde{p}_j} \sim(k_0) \geq \mu_{\tilde{p}_j} \sim(k_0)^* ; \quad (16)$$

$$\forall t_i \in T \left| \mu_{t_i}^{\sim}(k_0) \geq \mu_{t_i}^{\sim}(k_0)^* \right. ; \quad (17)$$

$$\forall \tilde{M}(p_j) \in \left\{ \tilde{M}(f)_u \right\} \left| z_{p_j}^{\sim}(k_0) \geq z_{p_j}^{\sim}(k_0)^* \right. ; \quad (18)$$

$$\forall x_{ij}(k) \in \left\{ x_{ij}(k) \right\} \left| x_{ij}(k_0) \geq x_{ij}(k_0)^* \right. ; \quad (19)$$

$$\forall y_{ij}(k) \in \left\{ y_{ij}(k) \right\} \left| y_{ij}(k_0) \geq y_{ij}(k_0)^* \right. . \quad (20)$$

Справедливость утверждения 5 непосредственно следует из постановки задачи и критериев достижимости.

Требование модификации структуры НСМ $\tilde{S}(f)$ совместно с выполнением условий (15)–(20) обеспечивает решение задачи (2) в большинстве практических приложений моделирования и анализа достижимости целей в реальных технологических объектах.

Следует отметить, что решение задачи достижимости целей в нечетких процессах принятия решений является во многом определяющим для решения некоторых других задач анализа на сетевых моделях [5–7]. Оно может быть положено в основу решения комплекса прикладных задач моделирования и анализа процессов.

Выводы

- 1 В терминах пространства состояний взаимодействующих нечетких процессов сформулирована задача достижимости целей принятия решений.
- 2 Сформулированы условия, система утверждений, определяющие свойства достижимости целей принятия решений с использованием аппарата нечетких расширенных интерпретированных сетей Петри и теории нечетких множеств.
- 3 Предложены пути и способы модификации нечетких сетевых моделей при отсутствии свойств достижимости целей в процессах принятия решений.
- 4 Широкий класс задач анализа нечетких процессов в реальных системах может быть представлен аппаратом нечетких сетевых моделей. Для их решения целесообразно использовать результаты анализа достижимости целей принятия решений.

Список литературы: 1. Кофман А. Введение в теорию нечетких множеств: Пер. с франц. М.: Радио и связь, 1982. 432с. 2. Обработка нечеткой информации в системах принятия решений. / А. Н. Борисов, А. В. Алексеев, Г. В. Меркулева и др. М.: Радио и связь, 1989. 304с. 3. Кучеренко Е.И. Фадеев В.А. Инструментальные средства моделирования процессов управления технологическими комплексами машиностроения // Авиационно-космическая техника и технология. Труды государственного аэрокосмического университета им. Н.Е. Жуковского "ХАИ". Вып. 14. Харьков, Государственный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского "ХАИ", 2000. С. 166 – 168. 4. Питерсон Дж. Теория сетей Петри и моделирование систем: Пер. с англ. М.: Мир, 1984. 264 с. 5. Кононенко И.В., Кучеренко Е.И. Методы и алгоритмы планирования развития систем на основе нечетких сетевых моделей // Теоретические и практические проблемы моделирования предметных областей в системах баз данных и знаний: Тез. докл. 3-го междунар. науч.-техн. семинара. К.: Concept. LTD, 1994. С. 52–56. 6. Pedzycz W., Gomide F. A. Generalized Fuzzy Petri Net Model // IEEE Trans of Fuzzy System, vol.2, no. 4, 1994. – P.295–301. 7. Korien S.M. A Fuzzy Petri Net Tool For Modeling and Verification of Knowledge-Based Systems // The Computer Journal, vol. 43, № 3, 2000. P.206–223. 8. Мурата Т. Сети Петри: Свойства, анализ, приложения // ТИИЭР, т.77, №4, апрель 1989. С. 41–85.

Поступила в редколлегию 17.12.2000

Кучеренко Евгений Иванович, канд. техн. наук, доцент, старший научный сотрудник кафедры искусственного интеллекта ХТУРЭ. Адрес: Украина, 61204, Харьков, пр. Победы, 78, кв. 168, тел. 38–77–03, 40–93–37.