

МОДИФИКАЦИЯ НЕЧЕТКИХ СЕТЕВЫХ МОДЕЛЕЙ В ЗАДАЧАХ АНАЛИЗА ДОСТИЖИМОСТИ ЦЕЛЕЙ ПРИНИМАЕМЫХ РЕШЕНИЙ НА ВЗАИМОДЕЙСТВУЮЩИХ НЕЧЕТКИХ ПРОЦЕССАХ

КУЧЕРЕНКО Е.И.

Формулируется постановка задачи модификации нечетких сетевых моделей при анализе свойств достижимости целей принимаемых решений, управления и обработки данных и знаний. Предлагается комплекс утверждений, определяющий подходы к совершенствованию нечетких сетевых моделей на основе модификации структуры, вектора начальной маркировки пространства, повышения свойств четкости отдельных компонент, фрагментов и модели в целом.

1. Введение

Важным этапом решения комплекса прикладных задач на взаимодействующих процессах является обеспечение достижимости целей и адекватности процессов некоторым заданным критериям. Поэтому возникает проблема модификации применяемых моделей по результатам моделирования и содержательного анализа отображаемых на моделях процессов обработки данных, знаний, управления и принятия решений.

В связи с этим важно для рассматриваемого класса задач определить пути модификации моделей и моделируемых процессов предметной области. Возможные подходы к решению этой проблемы существенно зависят от аппарата моделирования взаимосвязанных нечетких процессов, представленных на множестве отношений “условие-действие”, и особенностей предметной области.

2. Постановка задачи

Пусть существует множество нечетких взаимодействующих процессов $\{\tilde{\Pi}_i\}, i \in I$, которые можно представить в виде отношений “условие-действие”. Комплекс решаемых задач, определяющих корректное эффективное взаимодействие нечетких процессов, определен в работе [1]. К этим задачам в первую очередь следует отнести анализ и выявление свойств достижимости целей принимаемых решений $\{Ds_j\}, j \in J$ [2].

Согласно [2], свойство достижимости целей принимаемых решений может быть представлено на множестве процессов $\{\tilde{\Pi}_i\}, i \in I$, как:

$$\forall \tilde{\Pi}_i \in \{\tilde{\Pi}_i\} \mid \{Ds_j\} = true. \quad (1)$$

Используя формальное представление нечеткой сетевой модели (НСМ) свойств достижимости [2], необходимо определить пути устранения на модели

соответствующих неадекватностей с помощью ее модификации.

Подходы должны быть ориентированы на применение вычислительных средств и современных информационных технологий.

3. Исследование подходов к решению поставленной задачи

Анализ формализованного представления свойств достижимости [2], которые существенно влияют на эффективность моделируемых процессов, дает возможность выделить, по крайней мере, три аспекта решения поставленной задачи.

Рассмотрим эти составляющие.

Первая составляющая отображает структуру НСМ.

Существует несколько подходов к интерпретации компонент НСМ. Выбрав наиболее рациональную и достаточно глубоко исследованную [1,5], найдем интерпретацию некоторых характерных процедур, определяющих особенности взаимодействия процессов.

НСМ может включать следующие фрагменты: процесс вычисления, обработки данных, управления, принятия решения:

$$\exists \tilde{t}_i \in \tilde{T} \mid \|\{\tilde{p}_i(in)\}\| = \|\{\tilde{p}_i(out)\}\| = 1; \quad (2)$$

– выходное условие для действия $\{\tilde{t}_j(in)\}$, которое одновременно является входным условием для действия

$$\{\tilde{t}_j(out)\} \quad \exists \tilde{p}_j \in \tilde{P} \mid \|\{\tilde{t}_j(in)\}\| = \|\{\tilde{t}_j(out)\}\| = 1; \quad (3)$$

– окончание развития нескольких параллельных нечетких взаимодействующих процессов:

$$\exists \tilde{t}_i \in \tilde{T} \mid (\|\{\tilde{p}_i(in)\}\| > 1) \& (\|\{\tilde{p}_i(out)\}\| = 1); \quad (4)$$

– распараллеливание нескольких нечетких взаимодействующих процессов:

$$\exists \tilde{t}_i \in \tilde{T} \mid (\|\{\tilde{p}_i(in)\}\| = 1) \& (\|\{\tilde{p}_i(out)\}\| > 1); \quad (5)$$

– начало или окончание выполнения процессов (некоторой процедуры):

$$\exists \tilde{p}_j \in \tilde{P} \mid (\|\{\tilde{t}_j(in)\}\|) \vee (\|\{\tilde{t}_j(out)\}\|) = 0; \quad (6)$$

– развитие процессов по окончанию по крайней мере одного из предыдущих:

$$\exists \tilde{p}_j \in \tilde{P} \mid (\|\{\tilde{t}_j(in)\}\| > 1) \& (\|\{\tilde{t}_j(out)\}\| = 1); \quad (7)$$

– развитие процессов по результатам выполнения логического условия:

$$\exists \tilde{p}_j \in \tilde{P} \mid (\|\{\tilde{t}_j(in)\}\| = 1) \& (\|\{\tilde{t}_j(out)\}\| > 1); \quad (8)$$

– функцию инцидентности (отношения) взаимодействующих процессов:

$$\tilde{F}(f) : (\tilde{P} \times \tilde{T}) \cup (\tilde{T} \times \tilde{P}) \rightarrow [0,1]. \quad (9)$$

Здесь $\{\tilde{p}_i(in)\}$ – множество входных позиций \tilde{t}_i перехода; $\{\tilde{p}_i(out)\}$ – множество выходных позиций \tilde{t}_i перехода; $\{\tilde{t}_j(in)\}$ – множество входных

переходов позиции \tilde{p}_j ; $\{\tilde{t}_j(out)\}$ – множество выходных переходов позиции \tilde{p}_j .

Утверждение 1. Фрагменты модели (2)-(8) и функция инцидентностей (9) адекватно и полностью отражают структуру НСМ $\tilde{S}(f)$ при моделировании взаимодействующих нечетких процессов.

Доказательство утверждения 1 непосредственно следует из интерпретации нечетких взаимодействующих процессов НСМ [1].

Замечание 1. Если в некоторой НСМ $\tilde{S}(f)$ существуют фрагменты, для которых справедливо:

$$\exists \tilde{t}_i \in \tilde{T} \mid (|\{\tilde{p}_i(in)\}| > 1) \& (|\{\tilde{p}_i(out)\}| > 1); \quad (10)$$

$$\exists \tilde{p}_j \in \tilde{P} \mid (|\{\tilde{t}_j(in)\}| > 1) \& (|\{\tilde{t}_j(out)\}| > 1), \quad (11)$$

тогда очевидно, что фрагмент (10) может быть представлен в виде последовательно соединенных фрагментов (4), (5), причем выходной переход $\{\tilde{t}_j(out)\}$ фрагмента (4) является входным переходом $\{\tilde{t}_j(in)\}$ фрагмента (5). Фрагмент (11) может быть представлен в виде последовательно соединенных фрагментов (7), (8), причем выходная позиция $\{\tilde{p}_j(out)\}$ фрагмента (7) является входной позицией $\{\tilde{p}_j(in)\}$ фрагмента (8).

Вторая составляющая решения поставленной задачи представляет собой множество векторов маркировки $\{\tilde{M}(f)\}$ позиций $\tilde{S}(f)$.

Утверждение 2. Если справедливо условие утверждения 1, тогда множество векторов маркировки $\{\tilde{M}(f)\}$ позиций $\tilde{p}_j \in \tilde{P}$ сети $\tilde{S}(f)$ при моделировании взаимодействующих нечетких процессов однозначно и полностью отображает динамику моделируемых нечетких процессов в пространстве состояний НСМ $\tilde{S}(f)$.

Третья составляющая решения поставленной задачи представляет собой множество функций принадлежности $\{\mu(k)\}$.

Утверждение 3. Множество функций принадлежности $\{\mu(k)\}$, отнесенных на модели $\tilde{S}(f)$ к множествам позиций \tilde{P} , переходов \tilde{T} , векторам маркировки $\{\tilde{M}(f)\}$ позиций $\tilde{S}(f)$, компонент $x_{ij}(k)$ и $y_{ij}(k)$ [1] функции инцидентностей $\tilde{F}(f)$, при моделировании взаимодействующих нечетких процессов однозначно и полностью отображает свойства нечеткости моделируемых процессов в пространстве состояний НСМ $\tilde{S}(f)$.

Доказательство утверждения 3 непосредственно следует из интерпретации процессов на НСМ и сущности функции принадлежности.

Эти три составляющие решения поставленной задачи (раздел 2) и определяют пространство модификации НСМ $\tilde{S}(f)$ при решении прикладных задач.

4. Формализация процессов модификации нечеткой сетевой модели

При исследовании проблемы достижимости на НСМ $\tilde{S}(f)$ в [2] определено, что если

$$\forall \tilde{\Pi}_i \in \{\tilde{\Pi}_i\} \mid \{Ds_j\} = false, \quad (12)$$

тогда необходимо выполнить процедуры модификации НСМ одним из следующих путей [2]:

– модифицировать структуру НСМ $\tilde{S}(f)$ в целях адекватного отображения предметной области;

– модифицировать элементы множества векторов маркирования таким образом, чтобы

$$\forall M_0(f)_u \in \left\{ \tilde{M}_0(f)_u \right\} \mid z_{\tilde{p}_j}(k_0) \geq z_{\tilde{p}_j}(k_0)^*, u \in U; \quad (13)$$

– модифицировать НСМ $\tilde{S}(f)$ так, чтобы:

$$\forall \tilde{p}_j \in \tilde{P} \mid \mu_{\tilde{p}_j}(k_0) \geq \mu_{\tilde{p}_j}(k_0)^*, j \in J; \quad (14)$$

$$\forall \tilde{t}_i \in \tilde{T} \mid \mu_{\tilde{t}_i}(k_0) \geq \mu_{\tilde{t}_i}(k_0)^*, i \in I; \quad (15)$$

$$\forall \tilde{M}(\tilde{p}_j) \in \left\{ \tilde{M}(f)_u \right\} \mid z_{\tilde{p}_j}(k_0) \geq z_{\tilde{p}_j}(k_0)^*; \quad (16)$$

$$\forall x_{ij}(k) \in \{x_{ij}(k)\} \mid x_{ij}(k_0) \geq x_{ij}(k_0)^*; \quad (17)$$

$$\forall y_{ij}(k) \in \{y_{ij}(k)\} \mid y_{ij}(k_0) \geq y_{ij}(k_0)^*. \quad (18)$$

Рассмотрим первую и вторую составляющие при решении поставленной задачи исследования свойств достижимости [2]. С целью рассмотреть адекватность отображения предметной области и решить задачу достижимости (1) сформулируем следующее утверждение.

Утверждение 4. Если существует НСМ $\tilde{S}(f)$, а также

$$\forall \tilde{p}_j \in \tilde{P}, \tilde{t}_i \in \tilde{T}, M_0(f), \tilde{F}(f) \mid \mu(k_0) \geq \mu(k_0)^*, \quad (19)$$

где $\mu(k_0)^*$ – минимально допустимое, исходя из предметной области, значение функции принадлежности для соответствующей компоненты НСМ, а также справедливо (12) и (13)-(18), тогда в НСМ $\tilde{S}(f)$ необходимо фрагменты (4) и (5) заменить соответственно фрагментами (7) и (8).

Доказательство утверждения 4 основано на том, что модифицированная сеть будет автоматной сетью [3], в которой по определению достижимы все конечные (терминальные) позиции $\{\tilde{p}_i(out)_s\}$ модели $\tilde{S}(f)$.

Замечание 2. Модификация НСМ $\tilde{S}(f)$ в соответствии с положениями утверждения 4 может привести к неадекватности отображения предметной области, что обусловлено исключением из НСМ

$\tilde{S}(f)$ параллелизма во взаимодействующих процессах.

Определение 1. Если существует НСМ $\tilde{S}(f)$ и справедливо (19), тогда путь из некоторой позиции \tilde{p}_j к переходу $\tilde{t}_i - \tilde{C}^0_1(\tilde{p}_j, \tilde{t}_i)$ будет образован упорядоченным набором пар инцидентных вершин $\tilde{p}_{j_l} \in \tilde{P}_1, \tilde{t}_{i_l} \in \tilde{T}_1$.

Сформулируем следующее утверждение.

Утверждение 5. Если существует НСМ $\tilde{S}(f)$, а также справедливо (12), (19), тогда в НСМ $\tilde{S}(f)$ необходимо выделить фрагменты (8) и (4), между которыми существуют, по крайней мере, два пути $\tilde{C}^0_1(\tilde{p}_j, \tilde{t}_i)$, причем они не пересекаются в некотором ином фрагменте (2) - (8), и выполнить одну из процедур:

- а) фрагмент (8) заменить фрагментом (5);
- б) фрагмент (4) заменить фрагментом (7).

Доказательство утверждения 5 основано на том, что в результате выполнения процедуры а) образуются

пути $\tilde{C}^0_1(\tilde{t}_{i_l}, \tilde{t}_{k_l})$ [4], что обеспечивает разрешенность перехода фрагмента (4). В результате выполнения процедуры б) образуется фрагмент автоматной сети, в которой все переходы по определению разрешимы.

Замечание 3. При выполнении процедуры а) утверждения 5 дополнительно необходимо:

– на входе фрагмента (5) включить переход

$$\tilde{t}_i \in \tilde{T} \parallel \{ \tilde{p}_l(in) \} \mid \{ \tilde{p}_l(out) \} \mid = 1;$$

– на выходе фрагмента (5) включить позиции

$$\tilde{p}_j \in \tilde{P} \parallel \{ \tilde{t}_j(in) \} \mid \{ \tilde{t}_j(out) \} \mid = 1.$$

Замечание 4. При выполнении процедуры б) утверждения 5 дополнительно необходимо:

– на входе фрагмента (7) включить позиции

$$\tilde{p}_j \in \tilde{P} \parallel \{ \tilde{t}_j(in) \} \mid \{ \tilde{t}_j(out) \} \mid = 1;$$

– на выходе фрагмента (5) включить позицию

$$\tilde{p}_j \in \tilde{P} \parallel \{ \tilde{t}_j(in) \} \mid \{ \tilde{t}_j(out) \} \mid = 1.$$

Замечание 5. Выбор процедуры а) или б) утверждения 5 определяется на основе содержательного анализа предметной области.

Утверждение 6. Если существует НСМ $\tilde{S}(f)$ и контур \tilde{C}_{k2} [4], включающий некоторые переходы \tilde{t}_i, \tilde{t}_k , а также справедливо (12), (19), причем свойство (12) отнесено к контуру \tilde{C}_{k2} , тогда необходимо выполнить одну из процедур:

– некоторый переход $\tilde{t}_i \in \tilde{T}_{\tilde{C}_{k2}} \cap \tilde{T}_{\tilde{C}_{k2}}(in)$, где $\tilde{T}_{\tilde{C}_{k2}}$ – множество переходов, охваченных контуром \tilde{C}_{k2} ; $\tilde{T}_{\tilde{C}_{k2}}(in)$ – множество входных переходов

РИ, 2002, № 2

контура \tilde{C}_{k2} , причем $\tilde{T}_{\tilde{C}_{k2}} \cap \tilde{T}_{\tilde{C}_{k2}}(in) \neq \emptyset$, необходимо заменить фрагментом (7);

– вектор $\tilde{M}_0(f)$ необходимо модифицировать так, чтобы

$$\exists \tilde{p}_j \in \tilde{P}_{\tilde{C}_{k2}} \mid \tilde{M}(\tilde{p}_j) > 0; \quad (21)$$

– исключить из контура \tilde{C}_{k2} некоторый переход $\tilde{t}_i \in \tilde{T}_{\tilde{C}_{k2}}$ таким образом, чтобы устранить рассматриваемый контур.

Доказательство утверждения б) основано на том, что включение в НСМ $\tilde{S}(f)$ фрагмента (7) исключает условия, препятствующие достижимости целей принятия решений. Кроме того, если в некоторой позиции \tilde{p}_j контура \tilde{C}_{k2} существует по крайней мере одна метка (21), то она обеспечит условия разрешенности некоторых ранее заблокированных переходов $\exists \tilde{t}_i \in \tilde{T}_{\tilde{C}_{k2}}$. Также очевидно, что устранение контура \tilde{C}_{k2} решает для этого фрагмента модели проблему достижимости.

Рассмотрим еще один случай, который может привести к (12).

Определение 2. Если существует НСМ $\tilde{S}(f)$ и справедливо (19), тогда путь из некоторого перехода \tilde{t}_i к позиции $\tilde{p}_j - \tilde{C}^0_1(\tilde{t}_i, \tilde{p}_j)$ будет образован упорядоченным набором пар инцидентных вершин $\tilde{t}_{i_l} \in \tilde{T}_1, \tilde{p}_{j_l} \in \tilde{P}_1$.

Определение 3. Если существует НСМ $\tilde{S}(f)$, а также справедливо (19), и для некоторого перехода \tilde{t}_i

$$\begin{aligned} \exists \tilde{t}_i \in \tilde{T}_{\tilde{C}^0_1(\tilde{t}_i, \tilde{p}_j)} \mid \tilde{p}_j \in (\tilde{P}_{\tilde{C}^0_1(\tilde{t}_i, \tilde{p}_l)}(in) \cap \\ \cap \tilde{P}_{\tilde{C}^0_1(\tilde{t}_i, \tilde{p}_j)}(out) \cap \{ \tilde{p}_i(in) \}), \end{aligned} \quad (22)$$

причем

$$(\tilde{P}_{\tilde{C}^0_1(\tilde{t}_i, \tilde{p}_l)}(in) \cap \tilde{P}_{\tilde{C}^0_1(\tilde{t}_i, \tilde{p}_j)}(out) \cap \{ \tilde{p}_i(in) \}) \neq \emptyset,$$

где $\tilde{t}_{\tilde{C}^0_1(\tilde{t}_i, \tilde{p}_j)}(in)$ – входной переход пути $\tilde{C}^0_1(\tilde{t}_i, \tilde{p}_j)$; $\tilde{t}_{\tilde{C}^0_1(\tilde{t}_i, \tilde{p}_j)}(out)$ – выходной (терминальный) переход пути $\tilde{C}^0_1(\tilde{t}_i, \tilde{p}_j)$, тогда подмножества позиций $\{ \tilde{p}_{j_l} \in \tilde{P}_{\tilde{C}^0_1(\tilde{t}_i, \tilde{p}_j)} \}$ и переходов

$\{ \tilde{t}_{i_l} \in \tilde{T}_{\tilde{C}^0_1(\tilde{t}_i, \tilde{p}_j)} \}$ образуют контур \tilde{C}_{k3} .

Очевидно следующее утверждение.

Утверждение 7. Если существует НСМ $\tilde{S}(f)$ и некоторый контур \tilde{C}_{k3} , а также справедливо (12) и (19), причем свойство (12) отнесено к контуру \tilde{C}_{k3} , тогда необходимо выполнить одну из процедур:

– переход $\tilde{t}_i \in \tilde{T}_{\tilde{C}_l^0(\tilde{t}_i, \tilde{p}_j)}$, для которого справедливо (22), необходимо заменить фрагментом (7);

– вектор $\tilde{M}_0(f)$ необходимо модифицировать так, чтобы $\exists \tilde{p}_j \in \tilde{P}_{\tilde{C}_{k2}} \mid \tilde{M}(\tilde{p}_j) > 0$;

– исключить из контура \tilde{C}_{k3} некоторый переход $\tilde{t}_i \in \tilde{T}_{\tilde{C}_{k3}}$ таким образом, чтобы устранить рассматриваемый контур.

Доказательство утверждения 7 основано на том, что включение в НСМ $\tilde{S}(f)$ фрагмента (7) исключает условия, препятствующие достижимости целей принятия решений. Кроме того, если в некоторой позиции контура \tilde{C}_{k3} существует по крайней мере одна метка (23), то она обеспечит условия разрешенности некоторых ранее заблокированных переходов $\exists \tilde{t}_i \in \tilde{T}_{\tilde{C}_{k3}}$. Также очевидно, что устранение контура \tilde{C}_{k3} решает для этого фрагмента модели проблему достижимости.

Замечание 6. Необходимо учитывать, что приведенные выше пути модификации НСМ часто приводят к изменению размерности модели и вектора начальной маркировки.

Конкретная процедура модификации НСМ $\tilde{S}(f)$ определяется содержательным анализом предметной области на множестве возможных путей модификации согласно утверждениям 4-7.

Выводы

1. Сформулирована постановка задачи модификации нечетких сетевых моделей при анализе свойств достижимости целей принимаемых решений, управления и обработки данных и знаний.

2. Определено, что модификация нечетких сетевых моделей может осуществляться путем модификации структуры модели, вектора начальной маркировки пространства состояний нечеткой сетевой модели, повышения четкости отдельных компонент и фрагментов модели.

3. Предложен комплекс утверждений, определяющих подходы к модификации нечетких сетевых моделей в целях адекватного отображения нечетких взаимодействующих процессов в сложных системах.

Литература: 1. Кучеренко Е.И. Проблемы моделирования и анализа нечетких процессов управления // Радиоэлектроника и информатика. 2001. №2. С. 118-121. 2. Кучеренко Е.И. К проблеме анализа достижимости принимаемых решений // АСУ и приборы автоматики. 2001. Вып.114. С. 11-16. 3. Мурата Т. Сети Петри: свойства, анализ, приложения // ТИИЭР. 1989. Т.77, №4. С.41-85. 4. Кучеренко Е.И. К проблеме выбора альтернатив динамических процессов на нечетких сетевых моделях // Радиоэлектроника и информатика. 2001. №4. С. 63-66. 5. Кучеренко Е. Сіткові моделі в задачах аналізу складних систем / Навч. посібник. Харків: ХТУРЕ. 1999. 100 с.

Поступила в редколлегию 27.11.2001

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Гриб О.Г.

Кучеренко Евгений Иванович, канд. техн. наук, ст. научн. сотр., доцент кафедры искусственного интеллекта ХНУРЭ. Научные интересы: анализ, разработка и исследование интеллектуальных систем. Адрес: Украина, 61166, Харьков, пр. Ленина, 14, тел. 40-93-37.

УДК 621.327

МЕТОД ВОССТАНОВЛЕНИЯ ЦВЕТОВЫХ КООРДИНАТ И ДЛИН СЕРИЙ

КОРОЛЕВ А.В., БАРАННИК В.В., ГИНЕВСКИЙ А.М.

Излагается метод восстановления изображений на основе декодирования полиадических кодов цветовых координат и длин серий, обеспечивающий декодирование комбинированных и простых кодов цветовых координат и длин серий, а также сопоставление длин серий соответствующим цветовым координатам.

Введение

Разработка метода восстановления необходима для получения исходного изображения с заданным качеством. Для этого требуется восстановить структурные формы объектов и заполнить их исходными значениями цветовых координат [1]. Для разрабатываемого метода восстановления информация о формах и размерах объектов изображения содержится в массивах длин серий. Сведения о цветовом наполнении структуры объектов находятся в массивах цветовых координат. Поэтому для достоверного воспроизведения исходного изображения не-

обходимо по компактно представленным видеоданным [2] восстановить массивы длин серий L и массивы цветовых координат C. Для метода сжатия, изложенного в [2], компактное представление массивов C и L обеспечивалось за счет полиадического кодирования. Поэтому метод восстановления должен обеспечить взаимоднозначное декодирование обобщенных и простых полиадических кодов массивов цветовых координат и массивов длин серий. Обобщенная граф-схема метода восстановления представлена на рис. 1. Она демонстрирует последовательность выполнения основных этапов восстановления изображения. Рассмотрим основные особенности метода восстановления.

1. Восстановление служебной информации о комбинированных кодах

Служебной информацией для комбинированных кодов являются значения признаков столбцов массивов цветовых координат и длин серий, а также основания полиадических чисел цветовых координат и длин серий. *Рассмотрим восстановление значений признаков столбцов*. Значения признаков столбцов $g(c)_j$ массивов цветовых координат и признаков $g(l)_j$ массивов длин серий являются дополнительной информацией для декодирования комбинированных кодов (см. рис. 1). Значение