

УДК 519.71

Е.И. Кучеренко, Д.Е. Краснокутский

Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Харьков

ОБ ОДНОМ ПОДХОДЕ К ПОСТРОЕНИЮ НЕЧЕТКИХ ГИБРИДНЫХ МОДЕЛЕЙ СЛОЖНЫХ СИСТЕМ

Рассмотрены задачи и особенности построения моделей анализа состояния сложных технологических объектов, характеризующихся распределенностью и иерархичностью взаимодействующих динамических процессов. Предложена структура новой гибридной модели описания и анализа процессов, функционирующих в условиях неопределенности. Сформулированы рекомендации по практическому применению теоретических положений работы в интеллектуальных системах по принятию решений.

гибридная модель, нечеткие сети Петри, динамические процессы, интеллектуальная система

Введение

В настоящее время при построении систем управления и обработки данных сложных объектов

с использованием идей и подходов искусственного интеллекта [1] часто возникают проблемы адекватного, на основе принципов минимальной сложности

[2], отображения реальных процессов предметных областей.

Пространство состояний сложных объектов обычно характеризуется множеством параметров, которые достаточно сложно учесть, так как эти параметры не всегда четко определены, к ним предъявляются достаточно высокие, часто противоречивые требования. Пространство состояний таких объектов часто является нечетким, что требует дополнительных исследований, привлечения знаний экспертов.

Используя принцип минимальной сложности [2], современные подходы на основе идей и технологий искусственного интеллекта, модели анализа состояний такого объекта и процессов управления целесообразно строить на основе подходов стратифицированного описания [3]. К сожалению, в настоящее время отсутствуют конструктивные решения, учитывающие также нечеткое пространство состояний иерархических структур, существенную неопределенность в представлении процессов предметных областей.

В связи с этим предлагаемые исследования являются актуальными. Целью работы является повышение достоверности принимаемых решений о состоянии объекта управления, функционирующего в условиях неопределенности, нечеткого пространства состояний.

Постановка задачи. Пусть существует множество процессов

$$\{PR_{\alpha}\}, \alpha \in A, \quad (1)$$

которые характеризуются иерархической подчиненностью, параллельно-последовательным взаимодействием. Некоторые их характеристики могут быть заданы в детерминированном $\{d_{\alpha}\}$, вероятностном $\{p_{\alpha}\}$ и (или) нечетком $\{f_{\alpha}\}$ пространстве состояний. Некоторое подмножество процессов

$$\{PR'_{\alpha}\} \subseteq \{PR_{\alpha}\}, \alpha \in A,$$

функционирующих в некотором пространстве из

$$d_{\alpha} \in \{d_{\alpha}\}, p_{\alpha} \in \{p_{\alpha}\}, f_{\alpha} \in \{f_{\alpha}\}, \alpha \in A,$$

определены и развиваются во времени

$$\{\tau_{\alpha}\}, \alpha \in A.$$

Необходимо, исходя из особенностей исследуемых процессов (1), предложить и обосновать структуру модели, которая адекватно отображает множество процессов реальных объектов.

Разработка структуры модели

В задачах управления и принятия решений сложных объектов обычно можно выделить несколько уровней детализации. К ним, в первую очередь, следует отнести:

– уровень задач организационного управления и принятия решений;

– уровень задач управления и контроля технического состояния объекта;

– уровень задач управления, прогнозирования и оценки технического состояния объекта.

Каждый уровень определяется различной глубиной детализации описания процессов и особенностями представления пространства состояний.

На основе приведенного выше краткого анализа по существу вопроса становится очевидным, что только подходы с использованием гибридных моделей, которые бы учитывали особенности выделенных уровней, а также интегрировали преимущества составляющих их моделей при одновременном исключении их недостатков, являются перспективными.

Таким образом, для моделирования процессов (1) может быть предложена следующая структура модели представления выделенных уровней (рис. 1).

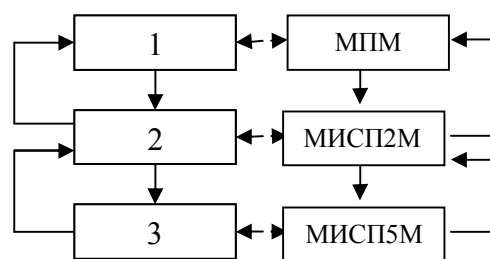


Рис. 1. Структура гибридной модели при описании выделенных уровней 1 – 3

Так уровень 1 (рис. 1), представляющий задачи организационного управления, администрирования и принятия решений характеризуется минимальной неопределенностью, но требует учета большого количества определяющих факторов. Это связано с тем, что содержание задач в значительной степени предопределено взаимодействующими процессами директивного характера, что глубоко изучено в классических постановках. Для моделей этого уровня (МПМ) целесообразным является использование расширений предикатных раскрашенных сетей Петри [4].

Уровень задач 2 (рис. 1), описывающий задачи управления и контроля технического состояния объекта, как показали исследования и анализ существующих подходов [5, 6], в значительной степени может быть характеризоваться нечетким пространством состояний и существенной неопределенностью. Решения задач на этом уровне требуют дополнительных разработок и исследований с целью учета в моделях указанных важных свойств. Наиболее приемлемыми решениями могут быть применения моделей (МИСП2М) на основе модификации интегрированных нечетких сетей Петри класса ИСП₂ [6].

Уровень задач 3 (рис. 1), представляющий задачи управления, прогнозирования и оценки технического состояния объекта, в силу особенностей комплекса решаемых задач, обычно характеризуется значительной неопределенностью, требует применения дополнительных средств контроля и прогнозирования в условиях неопределенности. Для таких моделей (МИСП5М) характерно использование искусственных нейро-фаззи сетей и нейро-фаззи сетей Петри [6], а также их расширения [7].

Очевидно, что связи между уровнями описания предметной области (рис. 1) должны быть адекватно отображены соответствующими связями на модели. В связи с этим важно определить особенности связей между моделями МПМ, МИСП2М, МИСП5М в составе гибридной модели (ГМ).

Для связи между моделями более высокого уровня представления и нижележащего уровня могут быть рассмотрены, по крайней мере, нижеперечисленные случаи.

А. Требуется синхронизация функционирования моделей на рассматриваемых уровнях таким образом, что моделирование процессов на более низком уровне возможно лишь при наличии соответствующих данных от процессов более высокого уровня. На рис. 2 – переход t_1 принадлежит модели более высокого уровня, переходы t_2, t_4 и позиции p_2, p_3 принадлежат модели более низкого уровня, позиция p_1 , переход t_3 принадлежат элементам междууровневой связи.

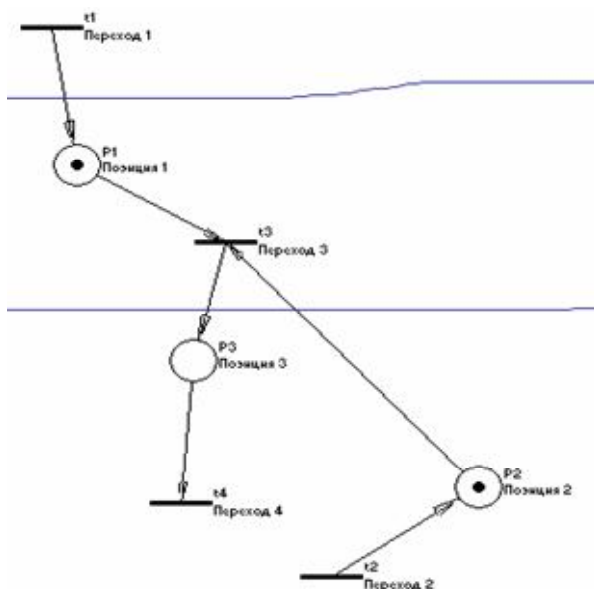


Рис. 2. Связь между уровнями моделей типа А

Б. Требуется координация функционирования моделей на рассматриваемых уровнях таким образом, что моделирование процессов на более низком уровне может использовать соответствующие данные от процессов более высокого уровня.

На рис. 3 – переход t_1 и позиция p_1 принадлежат модели более высокого уровня, переходы t_3, t_4 и позиция p_3 принадлежат модели более низкого уровня, p_1 , переход t_2 принадлежат элементам междууровневой связи. Для связи между моделями более низкого уровня представления и вышележащего уровня, как показал анализ, может быть рассмотрен по крайней мере случай, когда на нижнем уровне формируются отчетные данные о результатах моделирования и некоторые исходные дополняющие данные для принятия решений. В этом случае элементы междууровневых связей могут быть представлены в виде модификаций типа А (рис. 4), типа Б (рис. 5), типа В (рис. 6).

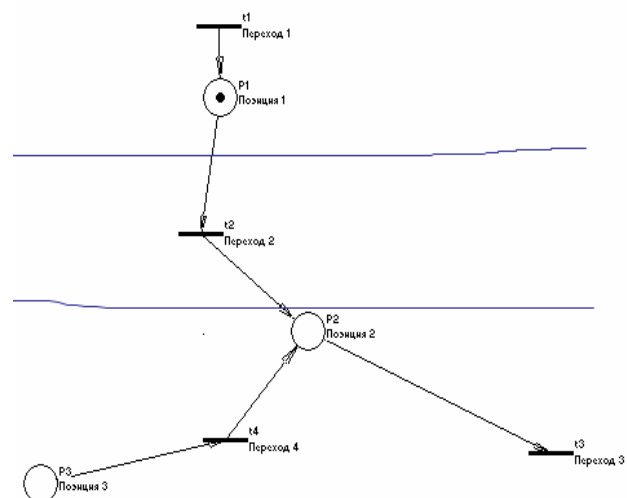


Рис. 3. Связь между уровнями моделей типа Б

На рис. 4 – переходы t_1, t_2 и позиция p_1 принадлежат модели более высокого уровня, переход t_4, t_5 и позиция p_2 принадлежат модели более низкого уровня, переход t_3 принадлежит элементам междууровневой связи.

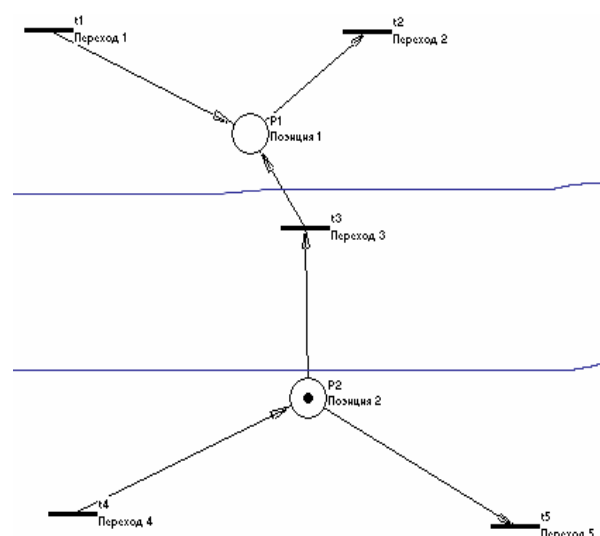


Рис. 4. Связь между моделями нижележащего и вышележащего уровней типа А

На рис. 5 – переходы t_1 , t_2 и позиция p_1 принадлежат модели более высокого уровня, переход t_4, t_5, t_6 и позиции p_3, p_4 принадлежат модели более низкого уровня, переход t_3 и позиция p_2 принадлежат элементам междууровневой связи.

Особенностью связей между моделями нижележащего и вышележащего уровней типа В является то, что принятие решений на верхнем уровне возможно лишь при наличии решений (данных, знаний) более низкого уровня (рис. 6).

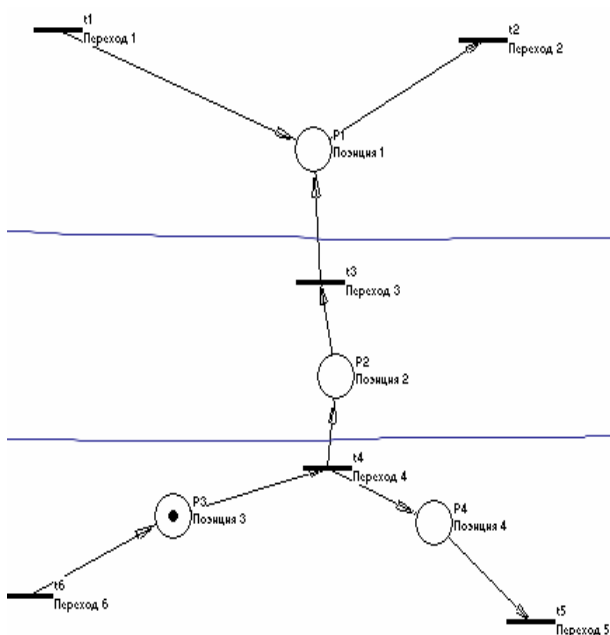


Рис. 5. Связь между моделями нижележащего и вышележащего уровней типа В

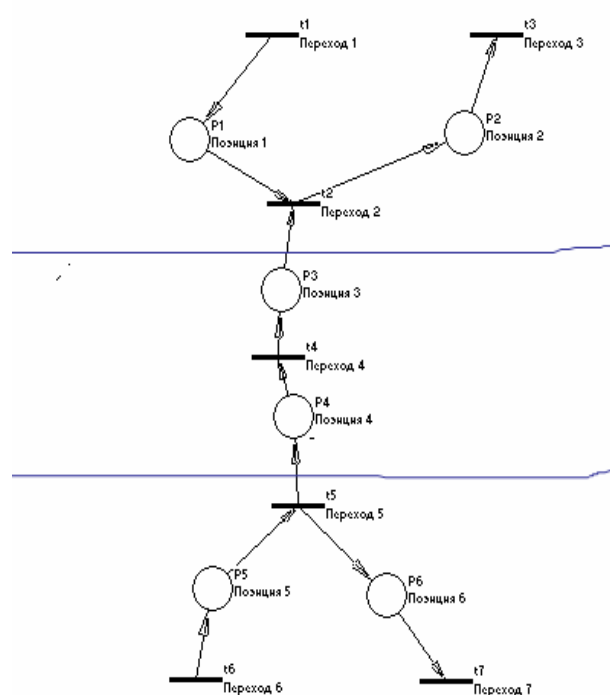


Рис. 6. Связь между моделями нижележащего и вышележащего уровней типа В

На рис. 6 – переходы t_1 , t_2 , t_3 и позиции p_1, p_2 , принадлежат модели более высокого уровня, переход t_5, t_6, t_7 и позиции p_5, p_6 принадлежат модели более низкого уровня, переход t_4 и позиции p_3, p_4 принадлежат элементам междууровневой связи.

Учитывая разнообразие и важность междууровневых связей в предлагаемых моделях, определим особенности выполнения элементов междууровневых связей гибридной модели.

Свойства элементов междууровневых связей гибридной модели

Как показали предварительные исследования, особенностями элементов междууровневых связей ГМ является то, что:

– переходу t_i может быть, с учетом цвета маркера, поставлен в соответствие некоторый предикат PR , когда переход t_i может быть разрешен, если справедливо

$$t_i \in T | ((M_{p_1} = 1) \& (M_{p_2} = 1) \& (PR = \text{true})), \quad (2)$$

причем

$$PR = \begin{cases} \text{true if } ((\mu_{t_i} \geq \mu^{\text{ad}}) \& (\mu_{p_j \in p_i(\text{in})} \geq \mu^{\text{ad}}) \& \\ & (\tau \geq \tau^{\text{ad}}) \& (ex \leq ex^{\text{ad}})) \\ \text{false else} \end{cases} \quad (3)$$

где M_{p_1} – маркирование входной позиции рассматриваемого перехода; μ_{t_i} – значение функции принадлежности рассматриваемого перехода; $\mu_{p_j \in p_i(\text{in})}$ – значение функции принадлежности входной позиции рассматриваемого перехода; μ^{ad} – допустимое значение функции принадлежности; τ – значение времени реализации действия; τ^{ad} – допустимое значение времени реализации действия; ex – стоимостные показатели; ex^{ad} – допустимое значение стоимостных и некоторых других показателей;

– дуга сети между позицией p_j и переходом t_i может быть ингибиторной, когда переход t_i с учетом (3) может быть разрешен, если справедливо

$$t_i \in T | ((M_{p_j} = 0) \& (M_{p_k} = 1) \& (PR = \text{true})). \quad (4)$$

Решения с использованием положений согласно (2) – (4) являются основой разработки средств решения прикладных задач.

Приложения полученных результатов

Положения работы имеют важное практическое значение для решения актуальных задач принятия решений в системах и средствах искусственного

интеллекта. Особенно это актуально для задач анализа и контроля состояния сложных объектов, где не существует или приобретение затруднительно в силу различных причин объективного и субъективного характера достоверных детерминированных данных об их состоянии.

Для решения таких задач целесообразно разработать алгоритмические, методические и инструментальные средства их реализации.

Как отмечено в работе [7], в ряде случаев структуру модели на основе сетей Петри полезно представить матрицей инцидентности H в пространстве состояний [8].

Для построения алгоритмических и программных инструментальных средств была применена матрица инцидентности H , которая рассматривалась в работе совместно с вектором начальной маркировки $\{\tilde{M}(\tilde{p}_j)\}$. Элемент матрицы H может быть представлен в виде:

$$\alpha_H = \begin{cases} -1, & \text{if } p_j \in \{p_i(\text{in})\} \text{ and } p_j \notin \{p_i(\text{out})\}; \\ 1, & \text{if } p_j \notin \{p_i(\text{in})\} \text{ and } p_j \in \{p_i(\text{out})\}; \\ 0, & \text{if } p_j \notin \{p_i(\text{in})\} \text{ and } p_j \notin \{p_i(\text{out})\}, \end{cases} \quad (5)$$

где α_H – элемент матрицы H ; $\{p_i(\text{in})\}$ – множество входных позиций i -го перехода; $\{p_i(\text{out})\}$ – множество выходных позиций i -го перехода.

Для нечетких сетей Петри в ряде случаев применена модификация матрицы H [7], что подтвердило эффективность предлагаемых подходов.

Важным направлением является разработка также средств адаптации к широкому кругу задач с учетом особенностей предметных областей. Апробация разработки для распределенных комплексов показала адекватность и эффективность принятых в работе решений [9].

Выводы

1. На основе анализа особенностей взаимодействующих процессов предметной области и выделенных уровней определено, что процессы часто характеризуются иерархичностью, значительной сложностью, функционируют в условиях неопределенности нечеткого пространства состояний.

2. Для таких процессов предложена и обоснована структура новой гибридной модели описания и анализа процессов предметной области, функционирующих в условиях неопределенности нечеткого пространства состояний. Гибридная модель основана на взаимодействующих модифицированных предикатных раскрытых сетях Пет-

ри, расширений классов интегрированных нейрофаззи сетей Петри. С целью адекватного отображения особенностей предметной области определены и обоснованы особенности и типы связей между частными моделями.

3. Сформулированы рекомендации по практическому применению теоретических положений работы в интеллектуальных системах по принятию решений в сложных технологических комплексах.

4. Перспективным направлением развития исследований является разработка методов эффективного использования разработки в практических приложениях предметных областей.

Список литературы

1. Люгер Д.Ф. Искусственный интеллект. Стратегия и методы решения сложных проблем. *Artificial Intelligence. Structures and Strategies for Complex Problem Solving*: Пер. с англ. 4 изд. – М. – С.-Пб. – К.: Изд. дом «Вильямс», 2005. – 864 с.
2. Солодовников В.В., Тумаркин В.И. Теория сложности и проектирование систем управления. – М.: Наука, 1990. – 162 с.
3. Месарович М., Мако Д., Такахара И. Теория иерархических многоуровневых систем. – М.: Мир, 1973. – 344 с.
4. Rokyta P., Fengler W., Hummel T. Electronic system design automation using high level Petri nets // *Workshop for Hardware Design and Petri Nets, Lisboa, June 22 - 26, 1998*. – 1998. – P. 129-138.
5. Дмитриев А.К., Мальцев П.А. Основы теории построения и контроля сложных систем. – Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1988. – 192 с.
6. Бодянский Е.В., Кучеренко Е.И., Михалев А.И. Нейро-фаззи сети Петри в задачах моделирования сложных систем (монография – наукове видання). – Дніпропетровськ: Системні технології, 2005. – 311 с.
7. Кучеренко Е.И., Краснокутский Д.Е. Гибридные математические модели на основе расширений нечетких сетей Петри // *Бионика интеллекта*. – Х.: ХНУРЭ, 2007. – № 1 (66). – С. 64-67.
8. Мурата Т. Сети Петри: Свойства, анализ, приложения // *ТИИЭР*, апрель 1989г. – 77. – № 4. – С. 41-85.
9. Кучеренко Е.И., Краснокутский Д.Е. Моделирование процессов принятия решений в производствах с использованием интеллектуальных технологий // *Международная научная конференция "Теория и техника передачи, приема и обработки информации"*. Сб. тезисов докладов. – Х.: ХНУРЭ. – 2004. – Ч. 2. – С. 56-57.

Поступила в редколлегию 15.11.2007

Рецензент: д-р техн. наук, проф. О.Г. Руденко, Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Харьков.