ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАДАЧИ СТАБИЛИЗАЦИИ СЛОЖНЫХ СИСТЕМ В МОДЕЛИ СЕТЕЙ ПЕТРИ

RESEARCH OF THE STABILITY OF COMPLEX SYSTEMS IN A MODEL OF PETRI NETS

Белкин Виктор Юрьевич / Victor Yu. Belkin,
ведущий программист, Кубанский государственный университет / lead programmer, Kuban State University,
belkin@kubsu.ru

Аннотация

Статья посвящена изучению задачи управления состояниями сложной системы с использованием специального класса сетей Петри. Определено понятие стабильного состояния системы. Приведено исследование задачи достижимости стабильного состояния из произвольного начального состояния, рассмотрены обобщения. Рассмотрены подходы к созданию онтологического описания сети Петри. Предложен алгоритм построения модели сложной системы на основе данного описания, приведены примеры.

Abstract

The article is dedicated to studying the problem of the complex system states management by means of special class of Petri nets. The concept of the system stable state is determined. The problem of the stable state achievement from the initial state is researched, generalizations are examined. The approaches to the creation of the ontological presentation of Petri net are viewed. The algorithm of constructing of the model of complex system based on this description is proposed with examples.

Ключевые слова: система, воздействие на систему, состояние системы, устойчивость, сеть Петри, онтология.

Keywords: system, influence on system, system state, stability, Petri net, ontology.

Введение

Одной из актуальных задач теории интеллектуальных систем является моделирование знаний о процессах и состояниях сложных систем. Существуют различные подходы к решению данной задачи. Как правило, они связаны с трудностями формализации профессиональных знаний о процессах, происходящих в сложных системах [2]. Кроме того, создание качественной модели осложняется отсутствием чёткой формализации в связи с вариативностью возможных изменений системы и отсутствием чётких представлений о способах воздействия и их результатах.

В статье предлагается специальный подход к моделированию задачи управления функционированием сложных систем. Он основан на следующих предположениях:

- Система функционирует в дискретном времени и обладает конечным числом свойств, причём для каждого свойства указано множество принимаемых им значений.
- Состояние системы в каждый момент времени определяется конечным набором значений свойств. Существует конечное множество методов воздействия, изменяющих значения свойств, определяемое семейством вычислимых функций. При этом реализация воздействия состоит в одновременном применении связанных с ним функций.
- Задана совокупность условий на значения свойств и их комбинаций, истинность которых означает, что система находится в стабильном состоянии. В общем случае такие условия отражают аналитиче-

ские, технологические или экспертные представления.

Выделение значимых элементов и параметров функционирования сложной системы и их дискретизация позволяют сформулировать задачу целенаправленного воздействия на систему с целью достижения заданных состояний. В статье рассматривается проблема устойчивости, связанная с существованием конечных последовательностей воздействий, возвращающих систему в стабильное состояние. Сложная система, значения свойств которой выходят за допустимые рамки, находится в нестабильном состоянии. Задача стабилизации состоит в нахождении такой последовательности воздействий, которая переводит систему в стабильное состояние.

Воспользуемся формализмом сетей Петри для построения точных описаний рассматриваемых систем, а также теоретической основы моделирования, анализа и решения задачи стабилизации [1]. Сеть Петри позволяет представить информацию о состояниях сложной системы с помощью разметок позиций. Знания обо всех известных способах воздействия на состояние системы представляются переходами, изменяющими разметку сети. Позиции сети соответствуют свойствам системы, разметка позиций – значениям свойств, зафиксированных в определённые моменты времени. Переходы представляют зависимости между свойствами, выражая схемы изменения их значений. Состояние сети стабильно, если выполняется заданная система условий на разметку. В общем случае условия представляются логическими выражениями, составленными с использованием значений свойств, предопределённых алгоритмически вычислимых сравнений, предикатов, логических связок и кванторов.

Практический аспект исследования направлен на разработку алгоритма представления сетью Петри сложной системы в виде онтологического описания на языке OWL [3]. Данный подход позволяет использовать механизмы логического вывода при решении задачи стабилизации. В конце приведено несколько примеров, дающих представление о принципах построения моделей сложных систем и постановки задач для них в рамках предложенного формализма.

1. Формальная постановка задачи

Уточним основные понятия модели сетей Петри, применяемый для решения задачи стабилизации сложных систем:

1. Сеть содержит n позиций $P=\{p_1,\dots p_n\}$.

2. Каждой позиции сети p_i соответствует разметка $Q_i=\{q_{i,1},\dots q_{i,k}\}$. Совокупность всех позиций и значений их разметки определяет *состояние* системы.

3. Для каждой позиции p_i задано s ограничений $R_i=\{r_{i,1},\dots r_{i,s}\}$. Каждое из ограничений $r_{i,j}$ представляет собой разрешимый предикат. Позиция называется *допустимой*, если для неё истинны все ограничения, то есть $\forall j\big(r_{i,j}(Q_i)\big)$. Обозначим допустимость позиции p_i как истинность $R_i(Q_i)$.

4. Сеть называется *стабильной*, если все позиции сети являются допустимыми, то есть $\forall p_i\big(R_i(Q_i)\big)$.

5. В сети задано m переходов $T=\{t_1,\dots t_m\}$. Каждый переход t_i определяется двумя векторами: $t_i^p=\left(p_{i,1},\dots p_{i,k}\right)$ – позиции сети, с которыми связан переход, $t_i^f=\left(f_{i,1},\dots f_{i,k}\right)$ – функции перехода, применяемые к позициям из t_i^p в случае срабатывания перехода. Обо-

значим $f_j(Q_i)$ – значение позиции p_i после срабатывания перехода t_j

Обозначим произвольную возможную последовательность переходов $\tau = \{t\}$. Будем считать, что переходы срабатывают последовательно, при этом один и тот же переход может встречаться в последовательности произвольное число раз. Задачу стабилизации сети будем считать имеющей решение, если существует последовательность переходов, переводящая сеть в стабильное состояние, то есть

$$(\exists \tau : Q \to Q') \cap (\forall p_i (R_i(Q'_i))).$$

2. Частные случаи сетей Петри

Начнём решение задачи с рассмотрения специальных случаев сетей. Для каждого из случаев определим, если это возможно, меру отклонения сети от стабильного состояния. Рассмотрим подкласс сетей с заданным набором функций перехода и мощностью множества значений каждой из позиций равной единице.

$\forall p_i (Q_i \equiv \mathrm{N}_0 \cap q_i \geq 0)$, q_i – значение каждой позиции является целым неотрицательным числом. Будем считать, что в сети определены две функции: f^+ и f^-. Первая увеличивает значение разметки позиции на единицу, вторая – уменьшает значение на единицу.

Случай 1. Множество ограничений на значения позиции сети представляется единственным интервалом:

$R_i \in \mathrm{N}_0, R_i = [r'_i, r''_i]$ – допустимыми являются целочисленные значения из заданного интервала.

Назовём отклонением от допустимого значения

$$d(p_i) = \begin{cases} r'_i - q_i, \text{ если } q_i < r'_i \\ q_i - r''_i, \text{ если } q_i > r''_i \\ 0 \end{cases},$$

Очевидно, что значение функции $d(p_i)$ монотонно убывает до нуля, а затем монотонно возрастает до бесконечности при изменении значения позиции от нуля до бесконечности. Обозначим $D = \sum d(p_i)$ – суммарное отклонение от стабильного состояния.

Случай 2. Множество ограничений на значения позиции представляется совокупностью непересекающихся интервалов:

$R_i \in N_0$,

$R_i = \{[r'_{i,1}, r''_{i,1}], \ldots [r'_{i,l}, r''_{i,l}], [r'_i, \infty)\}$,

при этом последний интервал может отсутствовать.

В этом случае отклонение от допустимого значения определяется как минимум модулей разностей между текущим значением позиции и каждой из граничных точек интервалов. $d(p_i)$ состоит из более чем двух участков монотонного изменения своих значений и, если среди ограничений присутствует луч (r'_i, ∞), то значения $d(p_i)$ ограничены сверху. Суммарное отклонение определяется аналогично первому случаю.

Случай 3. Расширим случай 2 совокупностью дополнительных ограничений, связанных со значениями других позиций сети: $R'_i = \{R_{i1}, \ldots\}$. Эти условия разбиваются на два класса:

1) Для того чтобы значение позиции считалось допустимым, должны выполняться условия на значения других позиций сети. Например, позиция может не являться допустимой, если существуют переходы, связывающие её с не являющимися допустимыми позициями.

2) Для того чтобы значение позиции считалось допустимым, должны выполняться предикаты, связывающие значения разных позиций сети. Например, значение позиции должно быть строго больше, чем значение некоторой другой позиции в сети.

В данном случае невозможно ввести понятие отклонения от допустимого значения.

Случай 4. Расширим случай 2 дополнительными ограничениями на ресурсы сети. Они могут быть двух типов:

1) *Локальные.* Данный случай соответствует определению максимально возможного значения для выбранной позиции сети. При этом функция отклонения от допустимого значения всегда ограничена сверху.

2) *Общие.* Данный случай накладывает ограничения на полную совокупность значений позиций сети, либо выбранных подмножеств её позиций. Как и в ограничении первого типа, функция отклонения от допустимого значения ограничена сверху.

Таким образом, для данного случая суммарное отклонение от стабильного состояния всегда ограничено сверху.

3. Исследование задачи стабилизации частных случаев сетей Петри

В рамках приведённого формализма определим три основных класса задач стабилизации сетей Петри.

(1) Задача определения существования переводящей сеть в стабильное состояние последовательности переходов для произвольной разметки сети.

Случай I. Вырожденный случай: любая возможная разметка сети стабильна. Данный случай соответствует ситуации, когда любое возможное состояние моделируемой системы стабильно.

Случай II. Для любой позиции p_i, где $d(p_i) > 0$, существует переход t_j, позволяющий изменять значения позиции произвольным образом без учёта значений других позиций. Данный случай соответствует ситуации, когда все состояния моделируемой системы могут изменяться независимо.

Случай III. Будем рассматривать сети с определённой мерой отклонения от допустимого значения позиции. Для любой разметки сети существует позиция p_i, где $d(p_i) > 0$, и переход t_j, такой, что при срабатывании перехода отклонение от допустимого значения данной позиции уменьшается, а для остальных позиций не увеличивается. Таким образом, является истинным соотношение:

$$\exists p_i \exists t_j \left(\left(d\left(f_j(p_i)\right) < d(p_i)\right)\right) \cap$$
$$\cap \left(\left(d\left(f_j(p_k)\right) \le d(p_k)\right) \cap (p_i \ne p_k)\right)$$

Данный случай соответствует ситуации, когда в моделируемой системе всегда есть воздействия, улучшающие её состояние.

Случай IV. Так же, как и в случае III, для сетей с определенной мерой отклонения существует признак, однозначно свидетельствующий о неразрешимости задачи. Для любой разметки сети для любой недопустимой позиции не существует перехода, который мог бы уменьшить суммарное отклонение от допустимого значения, то есть $\forall p_i \neg \exists t_j (D > f_j(D))$

Данный случай соответствует ситуации, когда любое воздействие на моделируемую систему может только ухудшить её состояние.

Утверждение 1. Задача определения существования последовательности переходов, переводящей сеть в стабильное состояние, имеет решение в случаях I-III, и не имеет решения в случае IV.

Докажем утверждение, рассмотрев приведённые случаи:

Для случая I утверждение следует из того, что искомая последовательность всегда пуста. Сеть всегда находится в стабильном состоянии.

Для случая II сеть может быть переведена в стабильное состояние последовательным изменением значений всех позиций в сторону уменьшения отклонения их состояний от допустимого. Такая сеть всегда устойчива. Длина последовательности переходов равна суммарному отклонению от стабильного состояния.

Для случая III всегда существует последовательность переходов, которая на каждом шаге уменьшает суммарное отклонение. Так как используются только функции сложения и вычитания, то за конечное число шагов суммарное отклонение станет равным нулю: сеть перейдёт в стабильное состояние. Длина искомой последовательности не превосходит суммарное отклонение от стабильного состояния.

Случай IV. Так как в сети не определены переходы, позволяющие уменьшать суммарное отклонение, то никакая последовательность переходов не переведёт сеть в стабильное состояние. Сеть, для которой справедливо четвёртое свойство, неустойчива, то есть любое воздействие, выведшее систему из стабильного состояния, необратимо.

Таким образом, утверждение 1 доказано.

(2) Задача нахождения последовательности переходов, переводящей заданное подмножество позиций сети в стабильное состояние. Возможность решения задачи представлена следующим утверждением.

Утверждение 2. Для сети Петри с ограничением на суммарное отклонение от стабильного состояния существует конечный алгоритм, позволяющий построить последовательность переходов, переводящую заданное подмножество позиций сети в стабильное состояние, либо показывающий, что такая последовательность отсутствует

Докажем утверждение, построив алгоритм, заканчивающий работу за конечное число шагов и позволяющий найти последовательность переходов, переводящую заданную совокупность позиций сети Петри в стабильное состояние, если она существует.

1. Исследуем начальную разметку сети. Если для сети выполняются условия теоремы 1, то справедлива и теорема 2. При этом длина последовательности не превышает суммарное отклонение от стабильного состояния.

2. Построим последовательность переходов параллельным перебором вариантов (поиск в ширину) с использованием следующих признаков окончания перебора:

a) Заданная совокупность позиций перешла в допустимое состояние. Перебор окончен.

b) Сеть нестабильна и в ней нет выполнимых переходов. Тупиковая ветвь перебора.

c) Выбранная последовательность повторила состояние сети, достигнутое на каком-либо из предыдущих шагов. Найден цикл, перебор по данной ветви дальше не имеет смысла, то есть, получена тупиковая ветвь перебора.

d) Превышено суммарное отклонение от стабильного состояния.

Данная последовательность конечна, так как задано условие запрета на повторение состояний и неограниченный рост значения позиции. Таким образом, через конечное число шагов будет либо найдена искомая последовательность, либо все ветви перебора окажутся тупиковыми. Утверждение 2 доказано.

Так как в построенном алгоритме используется поиск в ширину, найденная последовательность переходов будет минимальной из всех возможных. Сложность построения алгоритма зависит от структуры сети.

Задача нахождения последовательности переходов, переводящей сеть в стабильное состояние из произвольного начального, является частным случаем рассмотренной задачи (2).

(3) Задача стабилизации сети для случая отсутствия ограничений на суммарное отклонение. Следствием отсутствия данного условия является возможность существования бесконечных последовательностей переходов, не приводящих к тупиковым ситуациям, показанным в доказательстве утверждения 2. В общем случае не существует алгоритма, позволяющего ответить на вопрос о существовании искомой конечной последовательности. Следующие эвристические подходы позволяют сократить поиск. При этом для определения неудачности поиска необходимо использовать признаки, характерные для конкретной моделируемой сложной системы.

1. *Обратный поиск.* В первую очередь рассматриваются позиции с максимальным отклонением и выбираются переходы, уменьшающие его. Данный алгоритм соответствует поиску в глубину.

2. *«Жадный» алгоритм.* На каждом шаге выбираются переходы, максимально уменьшающие суммарное отклонение от стабильного состояния. Данный подход так же является реализацией поиска в глубину.

3. *Поиск и удаление циклов.* В графе, представляющем сеть Петри, последовательно удаляются переходы, замыкающие циклы.

В общем случае, в том числе и для сетей, в которых не определена мера отклонения от стабильного состояния, возможен полный перебор всех последовательностей переходов длины 1, потом длины 2 и так далее. На практике данный алгоритм малоприменим, так как, с учётом возможности повтора переходов в последовательности, имеет экспоненциальную сложность.

4. Обобщения задачи стабилизации

Возможны различные варианты обобщения постановки задачи стабилизации, характеризуемые особыми условиями, накладываемыми на модель сети. Рассмотрим некоторые из них.

Вариант 1. Сеть с произвольными функциями переходов. Использование произвольных функций переходов существенно усложняет поиск последовательности воздействий, стабилизирующей систему. Использование функций сложения и вычитания и целочисленной разметки позволяет рассмотреть все возможные случаи и отыскать решение. Переход к вещественной разметке и введение функций умножения (деления) делает задачу нелинейной. В частности, можно построить сеть, приближающуюся к некоторому состоянию асимптотически, но не достигающую его. Для подобных систем целесообразно использовать иные модели.

Вариант 2. Сеть с произвольной системой ограничений. В данном случае ограничения на значения позиций сети могут представляться функциями, в том числе и зависящими от текущей разметки. Применение рассмотренных выше эвристических подходов частично решает задачу, но так как во многих случаях количество вариантов растёт с экспоненциальной скоростью, это делает алгоритм малоприменимым. Для подобных систем ограничений целесообразно пересмотреть модель, введя дополнительные ограничения, позволяющие избавиться от экспоненциальной сложности алгоритма.

Вариант 3. Саморегулирующаяся сеть. Рассмотрим сеть Петри, находящуюся в стабильном состоянии. Предположим, что на сеть было произведено некоторое воздействие, в результате которого состояние сети перестало быть стабильным. В таком случае задача стабилизации может быть сформулирована как задача (4).

(4) Найти последовательность переходов, переводящую сеть Петри в стабильное состояние из состояния Q', если известно, что в состояние Q' сеть перешла из состояния Q в результате применения последовательности переходов τ_0.

Назовём переход t'_i *обратным* к t_i, если $f'_i(f_i(Q)) \equiv Q$.

Утверждение 3. Пусть для каждого перехода $t_i \in \tau_0$ существует обратный переход t'_i, где τ_0 – последовательность переходов, переводящая сеть из стабильного состояния в нестабильное. Тогда существует последовательность τ, возвращающая сеть в стабильное состояние.

Докажем утверждение, рассмотрев последовательность переходов $\tau_0 = \{t_1, \dots t_i\}$.

Обозначим Q – начальное стабильное состояние сети. Результатом применения данной последовательности переходов будет разметка сети $Q' = \tau_0(Q) = f_i(\dots f_1(Q)\dots)$.

Так как каждый из переходов в последовательности является обратимым, то последовательность переходов $\tau = \{t'_i, \dots t'_1\}$ переведёт сеть в стабильное состояние, то есть $Q = \tau(Q') = f'_1(\dots f'_i(Q')\dots)$ – стабильно.

Таким образом, утверждение 3 доказано. Сеть, для которой справедливо данное утверждение, может автоматически возвращаться в стабильное состояние. В общем случае необходимо решать задачи 1-3.

5. Онтологическое моделирование сетей Петри

Широко распространённым способом описания систем знаний в различных областях деятельности являются онтологии, создаваемые с использованием языков дескриптивной логики. Онтологии позволяют эффективно решать задачи поиска и классификации, но ограничены в возможности эффективного моделирования процессов, составляющих алгоритмическую и алгебраическую компоненты моделирования сложных систем. Представление сети Петри в терминах языка онтологий OWL-DL позволяет использовать механизмы логического вывода в процессе решения задач, связанных с данной моделью [4]. Естественным образом разделим способы моделирования сетей в языке онтологий на три уровня по степени общности представления:

1. Универсальная онтология произвольной сети Петри. Данное представление описывает в терминах языка онтологий основные понятия, связанные с формальным представлением сети Петри. Позиция сети, переход, множество ограничений и прочие представляются классами онтологии. Эта интерпретация может использоваться для анализа общих свойств сетей. Кроме того, она применима для сопоставления сетей различного происхождения.

2. Онтология текущего состояния определённой сети Петри. Данное представление полностью описывает какое-то одно состояние системы, но при этом не позволяет отразить возможные изменения. Классами онтологии фиксируется разметка сети. Эта интерпретация представляет интерес для специальных задач, например, задачи сохранения различных состояний моделируемой системы и их последующего сравнения.

3. Онтология, моделирующая определённую сеть Петри. Наибольший интерес представляет создание онтологии определённой сети. В этом случае индивиды (экземпляры классов) в онтологии позволяют уточнить состояние сети на текущий момент, а правила, изменяющие значения параметров объектов, представить действие переходов. Данная интерпретация позволяет моделировать динамику поведения системы.

Третий подход удобно представить как расширение первого. Определим универсальную онтологию сети Петри, задав иерархию классов основных понятий, после чего включим в неё классы, задающие позиции сети и все возможные ограничения. Для решения данной задачи разработан следующий алгоритм:

1. Определяются базовые классы: *Ограничение*, *Позиция* и другие.

2. Задаются параметры каждого класса в зависимости от рассматриваемой модели. Например, для частного случая 1 из пункта 2 данной статьи:

   a. *Ограничение*: <число: нижняя граница>, <число: верхняя граница> или $R :< \mathrm{int} : l\_r >, < \mathrm{int} : h\_r >$.

   b. *Значение*: <число: значение позиции> или $Q :< \mathrm{int} : q >$.

   c. *Позиция*: <строка: имя>, <Значение>, <Ограничение>, <число: такт (время)> или $P :< string : p >, < Q >, < R >, < \mathrm{int} : time >$.

   d. *Функция*: <(плюс, минус)> или $F :< (++, --) >$.

   e. *Переход*: <строка: имя>, <Позиция, Функция>*, <логический: возможность срабатывания> или $T :< string : t >, < P, F > *, < boolean : active >$.

3. Задаются условия срабатывания переходов. Например, правило, что активными являются переходы у состояний, не являющихся стабильными: $((P.Q.q < P.R.l\_r) \vee (P.Q.q > P.R.h\_r)) \wedge T \rightarrow T.active = true$.

4. Создаются индивиды классов P, для которых $P.time = 0$, то есть задаётся начальная разметка сети.

5. Для перехода к новой разметке по заданным правилам ищутся активные переходы (создаются соответствующие индивиды), строится последовательность их срабатывания, после чего определяются новые индивиды классов P, для которых $P.time = P.time + 1$.

В данном представлении естественным образом мы можем контролировать ограничения, связанные не только со значениями позиций, но и более сложные, задающие взаимосвязь между различными позициями сети. Текущие значения позиций представимы в виде индивидов (объектов) в онтологии. Используя специальное свойства – «время», набором индивидов мы можем смоделировать состояния сети в различные моменты времени.

Переходы представляются множеством классов. При этом схожие по функциональности переходы объединяются в иерархию. С использованием объектных свойств позиции сети явно связываются переходами, в том числе с учётом ограничений. Срабатывание перехода моделируется добавлением соответствующего классу перехода индивида. После чего могут быть выведены новые значения (в онтологии – новые индивиды) позиций, связанных с переходом. В результате мы получили модель динамического аспекта сети Петри. Кроме того, система ограничений на свойства классов онтологии позволяет логически вывести те переходы, которые могут сработать в текущем состоянии сети.

6. Структура процесса конструирования модели

Реальные системы могут быть представлены различными моделями. Во многих прикладных задачах используется статистический подход и моделирование процессов системами дифференциальных уравнений для получения значений моделируемых параметров, приближенных к точным. С другой стороны, зачастую модель максимально упрощается и носит скорее описательный характер. Использование дискретной модели представления сложной системы позволяет выразить в обобщённом виде значимые параметры и при этом, не теряя общности, исследовать динамические свойства системы. Выбор сети Петри в качестве инструмента моделирования даёт возможность учёта деталей сценариев функционирования системы.

Рассмотренный в статье подход позволяет решить проблему возможности возвращения системы в стабильное состояние, если та из него вышла. В процессе создания модели необходимо пройти следующие этапы:

1. Задание статических элементов. На данном этапе строится базовая структура представления системы. Например, все элементы данной структуры представляются в виде совокупности знаний, хранимых в онтологии. К статическим элементам относятся:

- Ключевые свойства системы с учётом возможности фиксирования их значений в заданные моменты времени.
- Диапазоны значений свойств. В частности, должен быть определён диапазон возможных значений и диапазон «хороших» значений. Под «хорошими» понимаются значения свойств, положительно характеризующих текущее состояние системы.
- Ограничения на изменения значений свойств. В частности, ряд ограничений может учитывать взаимосвязь между различными свойствами системы.

2. Задание динамических (активных) элементов. Описание данных элементов формализуется так же, как и в первом случае. На данном этапе необходимо определить:

- Допустимые методы воздействия на систему.
- Используемые функции изменения значений свойств системы.
- Переходы, формализующие отклик системы на воздействия, как внешние, так и вызванные процессами, происходящими внутри системы.

3. Анализ свойств полученной сети и определение текущего состояния системы. На данном этапе производятся следующие операции:

- Определяются свойства сети, влияющие на решение задачи стабилизации. В частности, могут выявиться условия, сводящие решение задачи к тривиальным алгоритмам.
- Сеть анализируется в плане применимости эвристик, сокращающих перебор искомых последовательностей воздействия на систему.
- Фиксируются значения свойств системы на заданный момент времени. Определяется состояние системы и, при необходимости, ставится задача поиска последовательности воздействий на систему, изменяющих её состояние в требуемом направлении.

7. Примеры прикладных задач

Системы, представимые в терминах сетей Петри, встречаются в различных областях профессиональной деятельности. Рассмотрим некоторые из них.

Образование. Всякий учебный курс представляется семантической сетью, связывающей обучающие модули. В качестве связей вершин сети выступают отношения следования, зависимости, уточнения, пояснения и другие. Контролирующие материалы позволяют выяснить уровень подготовки студента по предмету и обнаружить слабые места. Примером неустойчивости является знание некоторого учебного модуля М и отсутствие знаний по тем модулям, из которых выводится выбранный М. Задача стабилизации формулируется как поиск последовательности предоставления обучающих материалов, позволяющих восполнить недостающие знания. Альтернативный подход к решению данной задачи представлен в [5].

Экономика. Примером экономической модели является предсказание изменений прибыли организации. В этом случае сеть будет включать различные экономические параметры, обобщения возможных случайных факторов, а также специфичных для конкретной организации условий. Целью стабилизации системы в данном случае станет поддержание положительной прибыли. Убытки – признак выхода из стабильного состояния.

Другие области. Примером социологической модели является отношение населения к какой-либо острой проблеме. Пример биологической модели – состояние здоровья человека. Игровая модель – поведение человека в нестандартной ситуации.

Заключение

Предложенный подход к представлению сложных систем с целью решения задачи стабилизации не исчерпывает возможности практического и теоретического применений формализма сетей Петри. Перспективными для дальнейшего исследования являются следующие направления:

1. Использование модели для анализа свойств системы, сравнения систем, в особенности процессов и постановок задач, связанных с их функционированием.
2. Исследование онтологического представления с целью использования логического вывода при моделировании сценариев поведения системы в различных ситуациях.
3. Включение онтологического представления в виде сети Петри в системы принятия решений, что позволит создавать дополнительные механизмы управления и контроля достижения целей.

Литература

1. Котов В. Е., Сети Петри. – М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1984 г.
2. Костенко К. И., Левицкий Б.Е. Технологии представления и использования знаний для образовательной и профессиональной деятельности. В сб. «VII Международная научная конференция «Новые информационные технологии и менеджмент качества. Материалы конференции» (NIT&MQ`2010), 21 – 28 мая 2010 г., Турция. – с. 24 – 27.
3. Peter F. Patel-Schneider, Patrick Hayes, Ian Horrocks, OWL Web Ontology Language Semantics and Abstract Syntax. W3C Recommendation, 10 February 2004. URL: http://www.w3.org/TR/owl-semantics/
4. Dragan V. Gasevic, Vladan B. Devedzic, Interoperable Petri Net Models via Ontology. Int. J. of Web Engineering and Technology, Vol. 2, No. 2, 2006.
5. Zaluski, A. (2001). Knowledge Spaces Mathematica Package. PrimMath 2001 – Mathematica u znanosti, tehnologiji i obrazovanju [Mathematica in Science Technology, and Education] Conference, Zagreb, Sept. 27-28 (pp. 287 – 325).