

ПРОЦЕССЫ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ, ОСНОВАННЫХ НА ИНТЕГРАЦИИ СЕТЕЙ С УПРАВЛЯЕМОЙ СТРУКТУРОЙ И СТОХАСТИЧЕСКИХ СЕТЕЙ, В ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЯЮЩИХ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМАХ

Для принятия решений в информационно-управляющих системах предложен подход, основанный на интеграции E-сетей и сетей со стохастической структурой. Рассмотрены особенности совместного применения модифицированных E-сетей и сетей со стохастической структурой реализованных с помощью ГЕРТ-технологии. Сформулированы рекомендации по практическому использованию таких моделей.

Введение

Гибридные имитационно-управляющие модели анализа процессов принятия решений в автоматизированных системах управления многономенклатурными производствами в настоящее время являются эффективным средством повышения достоверности принимаемых решений.

Как показано в [1], применение гибридных моделей, основанных на интеграции сетей различных типов, является перспективным направлением, но одновременно вызывает определенные трудности. Это, в первую очередь, связано с необходимостью анализа стохастических процессов, имеющих сложную структуру. В связи с этим целесообразно рассмотреть вопросы, связанные с расширением сетевых моделей и анализом их функциональных возможностей [1, 2].

Целью данной работы является расширение возможностей информационно-управляющих систем и производств, повышение достоверности принимаемых решений на основе применения сетей с переменной структурой, функционирующих в условиях априорной неопределенности. Это определяет актуальность и перспективность проводимых исследований.

1. Постановка задачи

Модель анализа процессов принятия решений на основе E-сетей и их расширений реализует функции моделирования с учетом данных и знаний об объекте анализа, включая нечеткие.

Значительная часть моделируемых процессов являются стохастическими, а это вызывает трудности их представления сетевой моделью, например, при их сложном взаимодействии (наличие итерационных процессов, циклов и т. п.)

Необходимо предложить и обосновать расширения полученных ранее сетевых моделей за счет механизмов, направленных на моделирование и исследование таких процессов. Модификация должна расширить возможности моделей при одновременном сохранении всех полученных ранее преимуществ и результатов при решении прикладных задач [1-3].

2. Подходы к расширению функциональных возможностей сетевых моделей

Наиболее удобными для моделирования сложных систем при необходимости учета некоторых внешних факторов являются E-сети [3, 4, 5], в которые заложены механизмы управления сетью и динамикой ее выполнения в зависимости от внешних факторов и условий. В E-сетях принципиально решена проблема конфликтов, присущая другим моделям, в частности моделям с использованием сетей Петри [6]. В связи с этим, целесообразно в качестве базовой сети принять модифицированную E-сеть:

$$E^{(m)} = \langle P, A, I(A), O(A), Q, \Theta, M_0 \rangle, \quad (1)$$

где P – конечное непустое множество позиций;

A – конечное непустое множество переходов;

$I(A), O(A)$ – соответственно связи позиций на входе и выходе переходов A ;

Q – конечное множество вычислительных процедур, которые управляют выполнением переходов и исключают конфликты на переходах сети;

Θ – конечное множество условий выполнения компонент, пространства состояний сети и процедур переходов, которые управляет сменой цвета (атрибутов) маркера, определяет приоритеты относительно позиций на входе и (или) на выходе перехода, определяет функцию времени Z выполнения переходов;

M_0 – вектор начального маркирования E-сети.

Для реализации процедур моделирования стохастических процессов часто используются системы массового обслуживания [7], стохастические сети Петри [8], сети, использующие ГЕРТ (Graphical Evaluation and Review Technique)-технологии. Так как модели на основе [7, 8] обладают рядом недостатков из-за их функциональной ограниченности, то рассмотрим возможности интеграции E-сетей и стохастических сетей [9].

Формально стохастическая сеть может быть представлена в виде:

$$G = \langle N, K \rangle, \quad (2)$$

где N – множество узлов сети $N = N_1 \cup N_2$;

N_1 – узлы с детерминированными выходами;

N_2 – узлы с вероятностными выходами, причем в общем случае $N_1 \times N_2 \neq \emptyset, N_2 \times N_1 \neq \emptyset$;

K – множество дуг сети.

Узлы сети в графическом представлении приведены на рис. 1:

а) – с детерминированными выходами;

б) – с вероятностными выходами.



Рис. 1 - Узлы сети

Согласно работам [1, 9], стохастическая сеть для выполнения некоторого действия (узла) не требует выполнения всех его входных дуг и разрешает существование циклов и петель. Узлы стохастической сети могут быть интерпретированы как состояния (действия) системы, а дуги – как переходы из одного состояния в другое. Такие переходы можно рассматривать как выполнение обобщенных операций, характеризуемых плотностью распределения, вероятностью выполнения и т. п. Каждый внутренний узел выполняет две функции: входную и выходную. Входная функция определяет условие, при котором узел может быть выполнен.

Выходная функция определяет совокупность условий, связанных с результатом выполнения узла, например, должны ли выполняться все операции, которым данный узел непосредственно предшествует, или некоторое их подмножество, или только одна из них.

По определению, начальный узел выполняет только выходную функцию, а конечный узел – только входную.

Существуют, по крайней мере, такие типы входных функций: тип 1 – узел выполняется, если выполнены все дуги, входящие в него; тип 2 – узел выполнен, если выполняется любая дуга, входящая в него; тип 3 – узел выполнен, если выполняется любая дуга, входящая в него, при условии, что в заданный момент времени может выполняться только одна дуга.

Существует, по крайней мере, следующие типы выходных функций: тип 1 – все дуги, выходящие из узла выполняются, если этот узел выполнен – это детерминированная выходная функция; тип 2 – ровно одна дуга, выходящая из узла, выполняется, если этот узел выполнен. Если описать выбор такой дуги с помощью положений теории вероятности, то такая функция является вероятностной выходной функцией.

Применение ГЕРТ-технологий позволяет при решении практических задач определить вероятностные характеристики выполнения технологических и производственных процессов, математическое ожидание и дисперсию времени, необходимых для выполнения этих процессов при известных законах распределения. Существуют также эффективные средства вычисления общих параметров сети (правило Мейсона), применение которого значительно снижает как рутинную, так и творческую составляющую моделирования и анализа реальных процессов.

Взаимодействующие процессы, как отмечено выше, могут быть представлены целенаправленным взаимодействием некоторого подмножества активных процессов для выполнения поставленных задач.

Стохастические процессы и их взаимодействие могут быть представлены так называемыми потоковыми графами. Их особенностью является представление элементов системы узлами, а взаимосвязь между узлами осуществляется направленными дугами. Принципиальная невозможность выделить условия и действия в сети (2) существенно ограничивает их применение. Однако при описании сложных стохастических взаимодействующих процессов их использование является перспективным.

Как следует из работы [9], свойства потоковых графов могут быть использованы для реализации методов редуцирования графа до более простой структуры, что снижает сложность решения прикладных задач. Важным результатом в этом направлении следует считать топологическое уравнение Мейсона.

Определение 1. Петля L на ориентированном графе – это связанная последовательность инцидентных узлов и ориентированных дуг.

Для удобства использования топологического уравнения Мейсона в [9] введено понятие петли n -ого порядка и их пропускная способность.

Определение 2. Петлей n -ого порядка L_n будем называть n не связанных между собой петель первого порядка.

Определение 3. Петля первого порядка L_1 определена как петля, которая не содержит других петель при достижении любого из узлов из произвольного узла петли.

Введем петлю нулевого порядка L_0 .

Определение 4. Петля нулевого порядка L_0 определена как петля, которая не содержит, по крайней мере, ни одного узла и ни одной дуги. Тогда эквивалентный коэффициент пропускания T_n не связанных между собой петель первого порядка L_1 может быть представлен как:

$$T(L_n) = \prod_{k=1}^n T_k . \quad (3)$$

Топологическое уравнение Мейсона после несложных преобразований с учетом (3) может быть представлено в виде:

$$\sum_{k=0}^n (-1)^k T(L_k) = 0 . \quad (4)$$

Решение уравнения (4) позволяет определить эквивалентную передаточную функцию стохастической сети.

3. Расширение сетевой модели

С целью определения наиболее эффективного использования ГЕРТ-технологий в составе гибридной модели

$$S_{\Sigma} = E^{(m)} \cup G \quad (5)$$

обоснована следующая интерпретация E-сети в соответствии с (5):

- множество переходов A интерпретирует множество действий системы;
- множество позиций P интерпретирует множество условий выполнения действий (переходов) $P \supset B, P \supset Rc$, B – множество периферийных позиций, Rc – множество решающих позиций; множество решающих позиций Rc получает маркирование, если выполняются входные внешние условия для соответствующих действий;
- связи $I(A), O(A)$ определяют причинно-следственные связи реального объекта;
- функция времени Z выполнения переходов интерпретирует временные характеристики выполнения действий;
- конечное множество вычислительных процедур Q определяет атрибуты маркеров позиций Rc на основе выполнения внешних процедур;
- конечное множество условий Θ выполнения компонент, их приоритета и пространства состояний сети определяется на основе внешних для сети данных;
- вектор начального маркирования M_0 E-сети определяет начальное состояние объекта исследования;
- множество векторов маркировки $\{M_l\}, l \in L$ E-сети определяет пространство состояний объекта исследования.

Анализ положений, определяющих правила интерпретации и формирования пространства состояний с учетом определения стохастической сети согласно (2) дает возможность сформулировать следующее утверждение.

Утверждение 1. Если задана модель развития процессов на основе E-сети, некоторые из которых несут стохастический характер, определяющие логику дальнейшего их взаимодействия, то во входную Rc позицию соответствующего перехода E-сети достаточно дополнительно ввести стохастическую сеть, реализующую ГЕРТ-технологии.

Действительно, справедливость утверждения 1 будет очевидна, если учесть, что выходы стохастической сети в составе модели определяют вероятности исходов исследуемых процессов предметной области с целью выбора наиболее предпочтительных вариантов. Тогда, введя пороговое значение для вероятности p^* , мы маркируем позицию Rc маркером определенного цвета при выполнении условия $p \geq p^*$, что и определяет дальнейшие условия функционирования имитационно-управляющей модели.

Следствие. Расширение E-сети на основе стохастической сети и ГЕРТ-технологий путем ввода их в решающие позиции из $\{Rc\}$, согласно утверждению 1, позволяет решить поставленную в работе задачу.

Замечание. При дальнейших расширениях требований к имитационно-управляющим моделям и исследуемым процессам желательно также рассмотреть другие механизмы и более общие подходы к модификации моделей.

4. Методы и алгоритмы практической реализации

В ряде работ, в частности [9], на основе ГЕРТ-технологий определено, что система является достаточно универсальной и ограничений на применимость существующих законов распределения в практических приложениях не наблюдается. Для систем на основе ГЕРТ-технологий практически нет ограничений на применение известных законов распределения. Это делает ее достаточно универсальной.

Таким образом, метод решения практических задач с использованием технологий ГЕРТ включает такие основные действия:

1. Строим модифицированную E-сеть.

2. Для некоторых решающих позиций из $\{R_c\}$ строим стохастическую сеть. Для этого:

- а) взаимодействие исследуемых процессов представим в виде стохастической сети с ГЕРТ-узлами N (рис.1);
- б) для каждой дуги из K стохастической сети определим условную вероятность и производящую функцию моментов;

- в) для каждой дуги вычисляем передаточную функцию W ;
- г) используя правила из [9], преобразуем сеть в эквивалентную;
- д) используя правило Мейсона (4), вычисляем функцию W для всей сети;
- е) вычисляем математическое ожидание и дисперсию для исследуемых процессов.

Стратегия решения топологического уравнения (4) включает следующие основные шаги:

Шаг 1. Вычислить эквивалентный коэффициент пропускания (3) для всех петель порядка n .

Шаг 2. Вычислить значение

$$\sum_{k=0}^n (-1)^k T(L_k). \tag{6}$$

Шаг 3. Значение (6) приравнять нулю и вычислить эквивалентную функцию для всей сети (1).

Рассмотрим особенности применения предлагаемого метода и соответствующих стратегий для решения прикладных задач для систем принятия решений.

Пусть задан фрагмент задачи по принятию решений выбора поставщика высококачественных компонент систем контроля состояния технологического объекта. При этом некоторое количество m изделий должно отвечать повышенным требованиям.

Пусть существует несколько потенциальных поставщиков:

$$\{B_i\}, i \in I. \tag{7}$$

В рассматриваемом примере количество потенциальных поставщиков равно двум.

Существуют альтернативы принятия решений, что отображено фрагментом Е-сети (рис. 2):

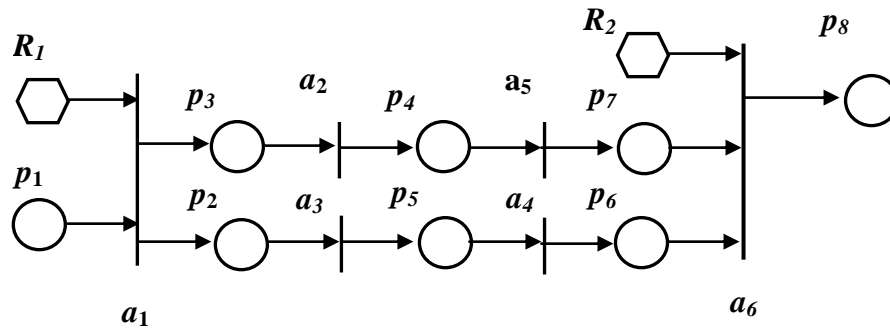


Рис. 2 - Сегмент Е-сети

Сеть описывает действия, которые включают ряд операций типа: выполнение погрузки (П), транспортировки (ТР), операции обеспечения сохранности и контроля качества и состояния (КС) изделий и т. п.

По условиям задачи $j \in J$ поставщики поставляют изделия, к которым предъявляются обычные требования. Для выполнения специальных требований потребителя по выпуску $m = 2$ изделий, отвечающих повышенным требованиям, поставщику необходимо осуществить выпуск большого количества изделий, так как вероятность выпуска изделия с требуемыми свойствами составляет p_j . Потребитель согласен оплатить все расходы поставщика. Для этого ему важно оценить расходы по альтернативам и выбрать минимальные расходы, включая транспортные и другие расходы.

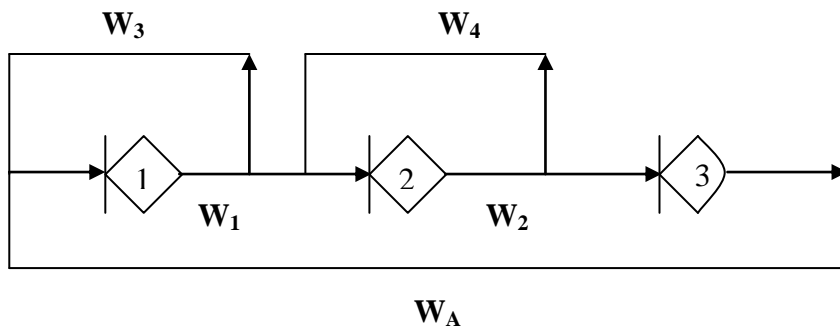


Рис. 3 - Стохастическая сеть

Для решения рассматриваемой задачи сеть (рис.2) модифицируем таким образом, что в позицию R_2 с целью формирования соответствующего цвета маркера дополнительно введем стохастическую сеть (рис. 3).

На основе сети (рис. 3) в задаче оцениваем математическое ожидание μ_{1E} требуемых объемов выпуска изделий по каждому варианту.

Пусть время изготовления одного изделия постоянно $z = \text{const}$, а вероятность выпуска изделия со специальными свойствами по первому варианту составляет $p_1 = 0.25$, а по второму – $p_1 = 0.30$.

Согласно (6) для сети (рис. 3) составим топологическое уравнение:

$$1 - W_3 - W_4 - W_1 W_2 W_A + W_3 W_4 = 0. \quad (8)$$

Учитывая, что в (8)

$$W_A = \frac{1}{W_E},$$

где W_E – эквивалентная передаточная функция сети, получим:

$$W_E = \frac{W_1 W_2}{1 - W_3 - W_4 + W_3 W_4}. \quad (9)$$

Поскольку $p_1 = 0.25$, определим значения передаточных функций как:

$$W_3 = W_4 = 0.75e^s, W_1 = W_2 = 0.25e^s. \quad (10)$$

Тогда, с учетом (9) и (10), можно получить:

$$W_E(s) = \frac{0.0625e^{2s}}{1 - 1.50e^s + 0.5625e^{2s}}. \quad (11)$$

Поскольку вероятность выполнения сети $p_E = 1$, то $W_E(s)$ (11) равна условной производящей функции моментов случайной величины $M_E(s)$ [9].

Определим необходимое количество выпуска изделий по первому варианту как нахождение математического ожидания случайной величины:

$$\mu_{1E} = \frac{\partial M_E(s)}{\partial s} \Big|_{s=0}. \quad (12)$$

Выполнив несложные вычисления, согласно (12), можем получить для первого варианта $\mu_{1E} = 8$.

Аналогично по второму варианту, для которого $p_2 = 0.30$, можем получить:

$$W_3 = W_4 = 0.70e^s, W_1 = W_2 = 0.30e^s. \quad (13)$$

Тогда, с учетом (9) и (13), можно получить:

$$W_E(s) = \frac{0.09e^{2s}}{1 - 1.40e^s + 0.49e^{2s}}. \quad (14)$$

С учетом (14) искомое решение для второго варианта будет $\mu_{1E} \approx 7$.

Цвет маркера и собственно потенциального поставщика определяется как результат нахождения одной из оценок:

$$\min(C_j(\mu_{1E_j}) + C_j(\Pi_j + TP_j + KC_j)), \quad (15)$$

где C_j – стоимостные показатели выполнения соответствующих действий,

или

$$\min_{j \in J}(\tau_j(\mu_{1E_j}) + \tau_j(\Pi_j + TP_j + KC_j)), \quad (16)$$

где τ_j – временные показатели выполнения соответствующих действий.

Таким образом, оценивая варианты с учетом ожидаемых стоимостных затрат согласно (15) или ожидаемые временные затраты согласно (16), эксперт может получить обоснованное решение о выборе поставщика

Следует отметить, что критерии (15), (17) могут в обоснованных случаях использоваться совместно или быть расширенными.

В практических решениях применение предложенного подхода дает возможность существенного повышения достоверности принимаемых решений при одновременном сокращении затрат времени на их принятие.

Выводы

1. В статье определено, что моделирование взаимодействующих стохастических процессов моделями на основе модифицированных E-сетей не в полной мере позволяет решать рассмотренный класс задач. В связи с этим целесообразно их дальнейшее совершенствование.

2. Для принятия решений в информационно-управляющих системах получили дальнейшее развитие гибридные сетевые модели на основе интеграции модифицированных E-сетей и сетей со стохастической структурой. Рассмотрены особенности совместного применения модифицированных E-сетей и сетей со

стохастической структурой, которые реализуют ГЕРТ-технологии. Сформулированы рекомендации по практическому использованию таких моделей.

3. Применение предложенного подхода в практических реализациях дает принципиальную возможность повышения достоверности принимаемых решений при одновременном сокращении временных затрат.

4. Перспективным направлением использования результатов этой работы является их дальнейшая адаптация к широкому классу объектов исследования.

Литература

1. Кучеренко В. Є. Моделі аналізу процесів обробки даних в автоматизованих системах // *Радиоелектроника и информатика*. – 2004. – № 3. – С. 103 – 107.
2. Филатов В.А., Кучеренко В.Е. О моделях обработки данных на основе иерархии сетей высокого уровня // *Радиоелектроника. Информатика. Управління*. – Запоріжжя: ЗНТУ, 2004. – № 1 (11). – С. 95 – 100.
3. Управление ГПС: модели и алгоритмы / Под общ. ред. С.В. Емельянова. – М.: Машиностроение, 1987. – 368 с.
4. Cemanin O., Ebert B., Wilken U.J. Arbeitsschutz mit E-Nets: Wissensmanagement im Inter-, Intra- und Extranet. Konzepte, Instrumente, Praxisbeispiele. – Berlin: Erich Schmidt Verlag GmbH&Co, 2002. – 253 S.
5. Crowley C.P., Noe J.D. Interactive graphical simulation using modified Petri nets // *Proceedings of the 3rd symposium on Simulation of computer systems*. – Boulder, Colorado, 1975. – P. 177 – 184.
6. Wu C.H., Lee S.-J. Knowledge Verification with an Enhanced High – Level Petri – Net Model // *IEEE Expert: Intelligent Systems and Their Applications*. – 1997. – Vol. 12. – 5. – P. 73 – 80.
7. Никифорова Пономаренко Л. А. Програмні агентні технології в адмініструванні баз даних / Л. А. Пономаренко, В. О. Філатов. // *Вісник Київського торговельно-економічного університету*. – 2001. – №3. – С. 68–73.
8. Филатов В.А. Модель поведения автономного агента на основе теории автоматов / В.А. Филатов // *Вестник Херсонского государственного технического университета*. – Херсон: ХГТУ. – 2004. – №1(19). – С. 108 – 111.
9. Филипс Д., Гарсиа-Диас А. Методы анализа сетей: Пер. с англ. – М.: Мир, 1984. – 496 с.