УДК. 681.513

Е.В. ДУРАВКИН, канд. техн. наук, Л.В. ГЛАДИЙ

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА МАТРИЧНЫХ УРАВНЕНИЙ ДЛЯ АНАЛИЗА МОДЕЛЕЙ ПРОТОКОЛОВ ИНФОРМАЦИОННОГО ОБМЕНА, ПОСТРОЕННЫХ НА ОСНОВЕ Е-СЕТЕЙ

Введение

Активное внедрение технологий распределенных систем управления позволило значительно повысить функциональность сетей, их гибкость и производительность. Но наряду с этим возникла не менее важная задача анализа и диагностики разрабатываемой системы. На сегодняшний день чаще всего диагностику сети производят на работающей системе, что не всегда эффективно с точки зрения экономичности представленного решения. Также возникают проблемы с возможностью тестирования систем в граничных режимах работы, и, что не менее важно, – их модификации. Поэтому разработка эффективных методов моделирования, позволяющих охватить наиболее полно предметную область описываемых систем, является таким же важным, как и их построение.

Так как сети с распределенным управлением по своей природе представляют собой динамически изменяемые системы с параллельными процессами, то наиболее часто как средство моделирования таких систем выступают сети Петри и их расширения. Анализируя сети Петри, основное внимание уделяют таким направлениям: решению задачи достижимости, как оценка живости и безопасности переходов сети. Выделяют два основных метода анализа сетей Петри – дерево достижимости и матричные уравнения. Основными достоинствами приведенного метода моделирования являются:

1.Возможность моделировать параллельные процессы разных видов;

2. Наглядность и автоматизированность процесса анализа;

3. Возможность представления моделей различного уровня детализации.

Наряду с явными преимуществами данного метода моделирования он имеет и некоторые недостатки – такие как невозможность исследования временных характеристик моделируемых систем, введения элементов интеллектуализации процесса. Данные недостатки были рассмотрены и в результате появились расширение сетей Петри, а именно Е-сети. В отличие от своего предшественника, Е-сети обладают рядом дополнительных свойств и характеристик:

1. Имеются несколько видов вершин-позиций;
2. Фишка может обладать набором атрибутов;
3. Имеются несколько видов переходов;
4. Возможность исследования временных характеристик модели; Е-сети обладают свойством безопасности, так как в любую позицию может входить не более одной дуги и выходить также не более одной.

Приведенные дополнительные свойства позволили повысить адекватность модели, ее достоверность и адаптивность.

Е-сети имеют ряд преимуществ по сравнению с сетями Петри, но в связи с тем, что они появились не так давно, пока существует очень мало методов анализа, позволяющих провести полный анализ модели. Модель Е-сети достаточно полно и наглядно представляет моделируемую схему, но в то же время она не дает ответа на ряд вопросов касающихся достижимости состояний системы, оценки живости переходов сети.

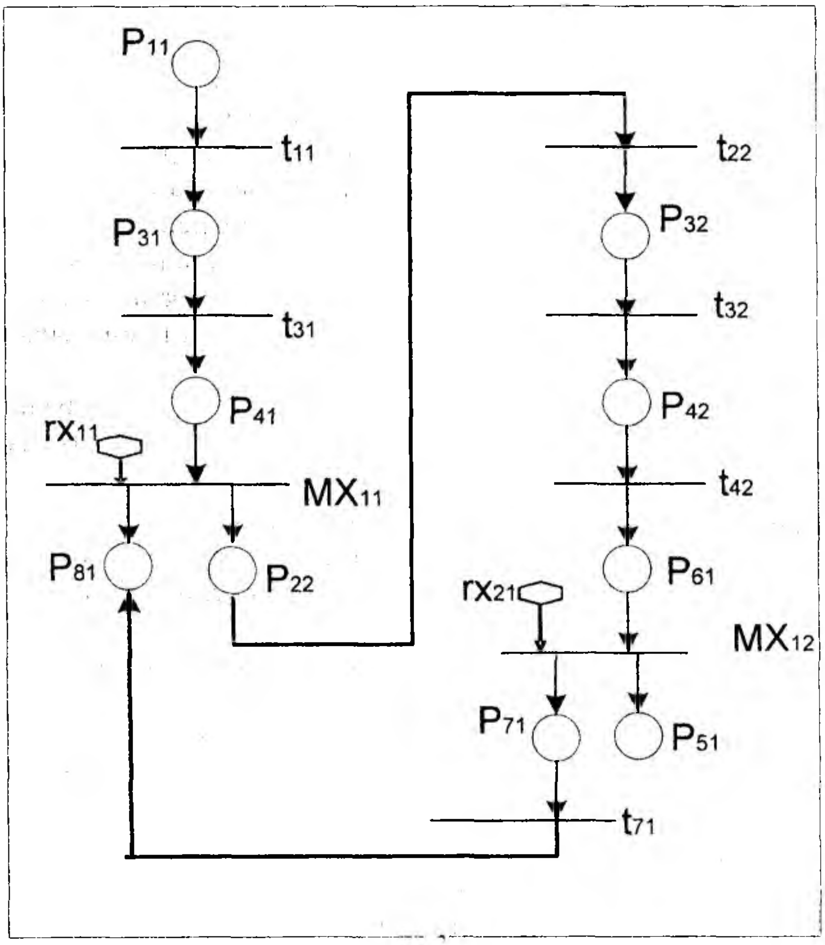
Постановка задачи

В статье предлагается модифицировать известный метод анализа сетей Петри – метод матричных уравнений – для анализа Е-сетей.

Основная часть

С помощью данного метода выполнен анализ модели интеллектуального агента, ориентированного на предоставление сервиса в сети. Алгоритм работы данного агента рассмотрен в статье [1]. Для моделирования используем Е-сети, аналитическое описание которых представлено в [2].

Модель Е-сети, отображающая алгоритм работы агента имеет вид (рисунок):



Элементы Е-сети соответствуют таким состояниям и функциям агента:

Места: P_{11} – пришел запрос от потребителя сервиса; P_{31} – запрос ждет обработки агентом; P_{41} – пришел результат обработки; P_{22} – пришел запрос к другому агенту; P_{32} – запрос ждет обработки другим агентом; P_{42} – послан результат обработки; P_{51} – потребителю отказано в доступе к сервису; P_{61} – пришел сообщение-ответ от другого агента; P_{71} –маршрут определен и сервис может быть предоставлен потребителю; P_{81} – процесс обработки запроса завершен.

Переходы: t_{11} – поступил запрос от потребителя сервиса; t_{31} – проверка наличия запрашиваемого сервиса в реестре сервиса агента; t_{22} – поступил запрос к другому агенту; t_{32} – проверка наличия запрашиваемого сервиса в реестре сервиса другого агента; t_{42} – отправка результата проверки агенту, с которого был послан запрос; t_{71} – предоставление запрашиваемого сервиса потребителю; MX_{11} – в соответствии с результатом обработки выполняется действие или предоставление сервиса потребителю, или посылка широковещательного запроса другим агентам; MX_{12} – в соответствии с результатом обработки на другом агенте выполняется действие или предоставление сервиса потребителю, или посылка потребителю сервиса сообщения о том, что данный сервис отсутствует.

Предикаты управляемых переходов определяются следующим образом: r_{11} – выбор места, в которое будет передана метка, зависит от результата обработки запроса, при положительном ответе сервис будет предоставлен потребителю (позиция P_{81}), при отрицательном – производится посылка широковещательного запроса на другие агенты (позиция P_{22}); r_{12} – выбор места, в которое будет передана метка, зависит от пришедшего результата с другого агента, при положительном ответе будет определяться маршрут к соответствующему сервису (P_{71}), при отрицательном – потребителю будет отправлено сообщение о том, что данный сервис в сети не обнаружен (P_{51}).

Матричное представление E-сети E (по аналогии с сетями Петри [3] определено в виде двух матриц D^- и D^+, представляющих входную и выходную функции. Каждая из матриц D^- и D^+ имеет $m=|H|$ строк (по одной на переход) и $n=|P|$ столбцов (по одному на позицию). Матричный вид E-сети $E=(P,H,L,D,A,M_0)$ задаётся парой (D^-,D^+), и $D=(D^+ - D^-)$ – составной матрицей изменений.

Развитая матричная теория E-сетей является инструментом для решения проблемы достижимости. Для иллюстрации работы данного метода анализа рассмотрим эту задачу для определенной маркировки сети.

Предположим, что маркировка μ' достижима из маркировки μ. Тогда существует последовательность запусков переходов σ, которая приводит из μ к μ'. Это означает, что $f(\sigma)$ является неотрицательным целым решением следующего матричного уравнения для x:

$$\mu' = \mu + x \cdot D.$$

Следовательно, если уравнение имеет решение в неотрицательных целых, то μ' достижима из μ, если нет, μ' – считается недостижимой.

Наличие решающих мест E-сети в матричном представлении заменяется последовательностью T-переходов, которые взаимно исключают друг друга при наступлении определенных условий. Для всех возможных значений управляющих мест E-сети поочередно строятся эквивалентные им простые, независимые сети, что позволяет провести их анализ.

Так как в приведенной модели существует два МХ перехода, то для расчета достижимости определенной маркировки для каждого сочетания значений предиката rx строим отдельно матрицы D^- и D^+ и делаем проверку. При наличии двух MX переходов данное действие проводится четыре раза. Для примера построим матрицы для $rx_{11}=0$ (т.е переход MX_{11} заменяется на T-переход из позиции P_{41} в P_{81}) и $rx_{12}=0$(переход MX_{12} заменяется на T-переход из позиции P_{61} в P_{71}).

Матрицы D^- и D^+ будут иметь вид

$$D^- = \begin{array}{c|cccccccccc|} & P_{11} & P_{31} & P_{41} & P_{51} & P_{61} & P_{71} & P_{81} & P_{22} & P_{32} & P_{42} \\ \hline t_{11} & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ t_{31} & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ t_{71} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ t_{22} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ t_{32} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ t_{42} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ MX_{11} & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ MX_{12} & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{array}$$

$$D^{+}=\begin{array}{c|cccccccccc|}
 & P_{11} & P_{31} & P_{41} & P_{51} & P_{61} & P_{71} & P_{81} & P_{22} & P_{32} & P_{42} \\
t_{11} & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
t_{31} & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
t_{71} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\
t_{22} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\
t_{32} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\
t_{42} & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
MX_{11} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\
MX_{12} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0
\end{array},$$

матрица D:

$$D=\begin{array}{c|cccccccccc|}
 & P_{11} & P_{31} & P_{41} & P_{51} & P_{61} & P_{71} & P_{81} & P_{22} & P_{32} & P_{42} \\
t_{11} & -1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
t_{31} & 0 & -1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
t_{71} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\
t_{22} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 1 & 0 \\
t_{32} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 1 \\
t_{42} & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 \\
MX_{11} & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\
MX_{12} & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0
\end{array}.$$

Для определения того, является ли маркировка (0,0,0,0,0,0,1,0,0,0) достижимой из маркировки (1,0,0,0,0,0,0,0,0,0), имеем уравнение

$$(0,0,0,0,0,0,1,0,0,0) = (1,0,0,0,0,0,0,0,0,0) + x\cdot\begin{vmatrix}
-1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
0 & -1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\
0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 1 & 0 \\
0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 1 \\
0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 \\
0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\
0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0
\end{vmatrix},$$

$$(-1,0,0,0,0,0,1,0,0,0) = x\cdot\begin{vmatrix}
-1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
0 & -1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\
0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 1 & 0 \\
0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 1 \\
0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 \\
0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\
0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0
\end{vmatrix},$$

которое имеет решение $x = (1,1,0,0,0,0,0,0,1,0)$. Это соответствует последовательности $\sigma = t_{11}, t_{31}, MX_{11}$ при значении предиката rx_{11}=0 и rx_{12}=0.

По аналогии проведем приведенные выше вычисления для случаев rx_{11}=1 и rx_{12}=0, rx_{11}=0 и rx_{12}=1, rx_{11}=1 и rx_{12}=1. В результате данная маркировка будет достижима в случае rx_{11}=1 и rx_{12}=0, что соответствует последовательности t_{11} t_{31}, t_{71}, t_{22}, t_{32}, t_{42}, MX_{11}, MX_{12}. Такая же логика роботы будет заложена и в других видах переходов

Вывод

Матричный метод анализа путем построения эквивалентных схем позволяет выявить различные ситуации в сети. Так, например, проверка на возможность появления тупиков сводится к решению уравнения (проверка на достижимость определенной маркировки). Также данный метод не требует знаний обо всех возможных ситуациях в сети. Имея только начальные данные, можно быстро и эффективно найти ответ на интересующий вопрос. К тому же анализ с помощью матричных уравнений сводит до минимума возможность появления субъективных ошибок. Еще одной важной особенностью этого метода является возможность автоматизации вычислений.

Недостатком данного метода является увеличение количества необходимых вычислений для определения достижимости маркировки с ростом количества и (или) размерности МХ переходов. При возможности автоматизации данного процесса приведенный недостаток становится несущественным. В дальнейшем как направление для развития предлагается использовать вероятностную природу переходов, что даст возможность определять вероятность достижимости маркировки сети.

Использование матричного метода анализа в Е-сетях позволяет повысить их эффективность и применимость, а также открыть новые области для их усовершенствования.

Список литературы:. 1. *Руккас К. М., Дуравкін Є.В.* Модель работы поисковых агентов в компьютерной сети на базе нечетких Е-сетей. Моделювання та інформаційні технології. 2006. Вип. №33. С. 12–17 2. *Лосев Ю.И. Шматков С.И. Дуравкин Е. В.* Применение методов анализа Е-сетей к моделям СОД // Радиотехника. 2002. №.132. 3. *Питерсон Дж.* Теория сетей Петри и моделирование систем. М. Мир, 1984. 264 с.

Харьковский национальный университет радиоэлектроники

Поступила в редколлегию 24.09.2009.