

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ФОРМАЛИЗМА СЕТЕЙ ПЕТРИ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ РАСПРЕДЕЛЕННЫХ СИСТЕМ С МИКРОЯДЕРНОЙ АРХИТЕКТУРОЙ

А.В. Яковлев

ГОУ ВПО «Тамбовское высшее военное авиационное инженерное училище радиоэлектроники (военный институт)», г. Тамбов

Ключевые слова и фразы: вложенные сети Петри; микроядро; программное обеспечение.

Аннотация: Рассмотрена возможность использования формализма вложенных сетей Петри для моделирования и анализа алгоритмов управления распределенными системами, имеющими микроядерную архитектуру. Обоснованы преимущества применения подобного подхода для описания сложных динамических процессов взаимодействия компонентов системы.

Введение

Использование гетерогенных систем, характеризующихся различными информационными потребностями и функциональным назначением, создает потенциальные трудности для интеграции и обеспечения их эффективного взаимодействия в надсистемах. В создавшейся ситуации актуальной задачей стала разработка и применение программного обеспечения (ПО), построенного на основе микроядерной архитектуры. Главной особенностью такого ПО является не только возможность модификации параметров и способов ввода-вывода информации, но и его «активного поведения» в условиях динамически изменяющихся информационных потребностей пользователя.

Анализ работ [1, 2, 3] показал эффективность использования программных средств, обеспечивающих гибкую адаптацию параметров интерфейса, изменение структуры и направленности информационных потоков в соответствии с потребностями системы. Микроядро (агент) представляет собой отдельный программный модуль, обладающий способностью взаимодействовать с другими агентами, пользовательским интерфейсом, сервисами и прикладными программами. Внутренняя структура ПО с микроядерной структурой показана на рис. 1.

Поведение программного агента определяет направление и структуру информационных потоков в системе «пользователь-ЭВМ» и корригируется таким образом, чтобы обеспечить их эффективное взаимодействие.

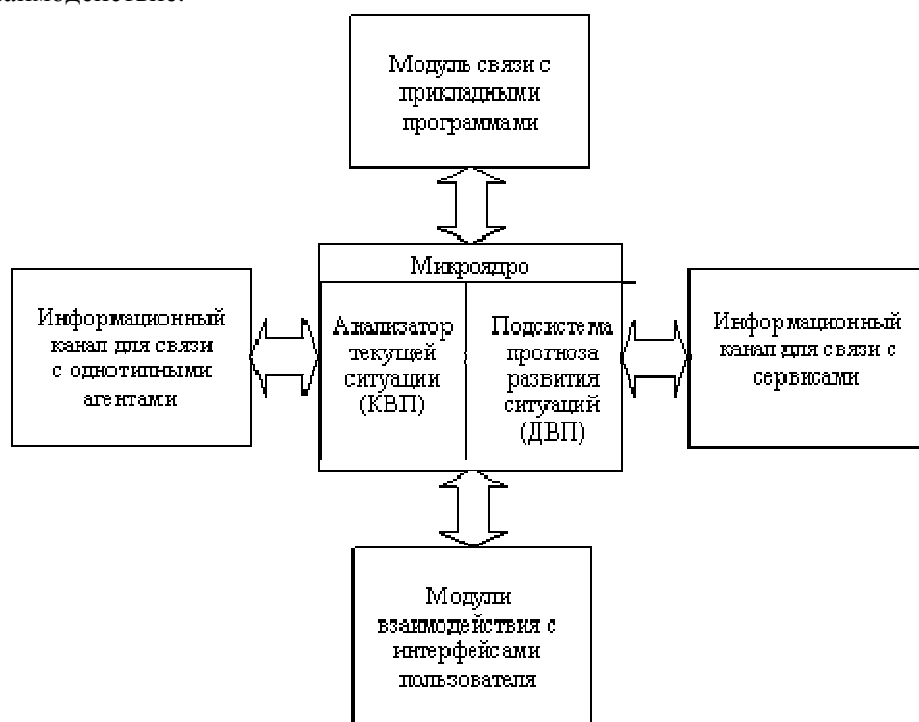


Рис. 1. Внутренняя структура ПО с микроядерной структурой

Очевидно, что реализация описанных выше систем не возможна без создания моделей. Для динамического моделирования удобно использовать формализмы сетей Петри, позволяющие изучать функционирование систем, параллельную и распределенную работу алгоритмов, реализовывать различные (в том числе конфликтные и нежелательные) ситуации, изучать и оценивать последствия решений на поведение управляемой системы [4]. Структурные особенности сетей Петри со свободным выбором позволили разработать эффективные алгоритмы их семантического анализа непосредственно по структуре сети.

Вместе с тем, моделирование на основе описанных формализмов имеет и ряд ограничений, в частности, не допускает динамического распараллеливания задачи. Для устранения этого ограничения предлагается использовать для моделирования алгоритмов управления расширение стандартного формализма сетей Петри – вложенные сети Петри [5, 6].

Вложенные сети Петри отличаются от стандартных тем, что фишки, помечающие позиции, рассматриваются как объекты, имеющие самостоятельное поведение, которое в свою очередь описывается также некоторыми сетями Петри. Название «вложенные сети» указывает на то, что элементы сетей в них сами являются сетями. Данный тип сетей является удобным и мощным средством для моделирования и анализа, иерархических мультиагентных распределенных систем. Они обладают естественным механизмом модульности [5]. Вложенные сети Петри, [7, 8] сохраняют такие важные свойства стандартных сетей Петри, как простота и выразительность модели, и разрешимость некоторых важных для верификации свойств.

1. Расширение аппарата сетей Петри.

Вложенная сеть Петри состоит из системной сети и множества элементарных сетей, представляющих фишки системной сети. В случае двухуровневой вложенной сети элементарные сети являются обыкновенными сетями Петри, в которых фишки, как обычно, изображаются черными точками, не имеют собственной структуры и не различимы между собой.

Поведение вложенной сети Петри включает четыре типа шагов [5].

Шаг переноса – это срабатывание перехода системной сети в соответствии с обычными правилами для сетей Петри высокого уровня, при этом элементарные сети рассматриваются как фишки, не имеющие собственной структуры. Шаг переноса может переместить, породить или убрать объекты, но не может изменить их внутреннее состояние.

Элементарно-автономный шаг меняет только внутреннее состояние (маркировку) элементарной сети, не меняя ее местонахождения в системной сети. Этот шаг выполняется также в соответствии с обычными правилами срабатывания перехода для сети Петри.

Шаг горизонтальной синхронизации есть одновременное срабатывание двух переходов в двух элементарных сетях, находящихся в одной позиции системной сети. При этом переходы, которые должны срабатывать синхронно, помечаются взаимно дополнительными метками из некоторого специального множества меток для горизонтальной синхронизации.

И, наконец, шаг вертикальной синхронизации используется для синхронизации перехода в системной сети с некоторыми переходами элементарных сетей. Переходы, которые должны срабатывать синхронно, помечаются метками из некоторого специального множества меток для вертикальной синхронизации. При этом метка перехода в системной сети и метка соответствующего перехода в элементарной сети должны быть взаимно дополнительными. Задействованными при срабатывании перехода t в системной сети называются элементарные сети, перемещаемые из предусловий перехода t , в результате этого срабатывания. Вертикальная синхронизация означает одновременное срабатывание перехода системной сети и переходов (помеченных дополнительной меткой) в задействованных в этом срабатывании элементарных сетях.

2. Представление модели с микроядерной архитектурой в виде сети Петри.

Структурно процесс взаимодействия микроядра с другими объектами можно представить в виде сети Петри (рис. 2), особенностью которой является возможность отображать параллелизм, асинхронность, иерархичность взаимодействий.

При использовании теоретико-множественной нотации сеть Петри может быть формально определена как $N = (P, T, I, O, \mu)$. Здесь $P = \{p_i\}$ – конечное множество позиций, где $\#p_i$ – комплект позиций состояний системы; $T = \{t_j\}$ – конечное множество переходов, где $\#t_j$ – комплект переходов, характеризующих процессы в системе, а \square – маркировка сети используется для определения очередности запуска того или иного перехода [4].

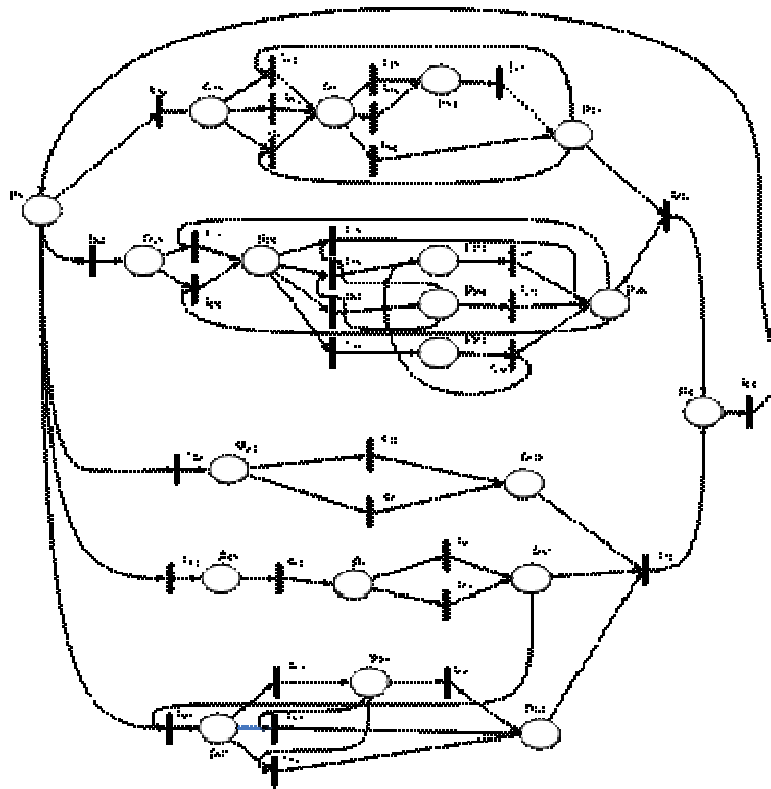


Рис. 2. Процесс взаимодействия микроядра с другими объектами

Поскольку сеть Петри является ориентированным двудольным мультиграфом, то любой переход соединяется с позициями через входные и выходные дуги, которые задаются через функцию предшествования $B:T \square P$ и через функцию следования $E:T \square P$, являющиеся отображениями из множества переходов в комплекты позиций. Эти функции определяют комплекты позиций, связанных с переходом через множество дуг.

Множество позиций можно представить в виде:

$$P = I \cup O ; I \cap O = \emptyset,$$

где $I = \cup_{j=1 \dots m} I(t_j), I(t_j) = \{p_i : B(p_i, t_j) \geq 1, i=1, \dots, x\}, j=1, \dots, m$ – комплект входных позиций перехода; $O = \cup_{j=1 \dots m} O(t_j), O(t_j) = \{p_i : E(p_i, t_j) \geq 1, i=1, \dots, x\}, j=1, \dots, m$ – комплект выходных позиций перехода.

Маркировка – это функция, отображающая множество позиций P в множество неотрицательных целых чисел $Nat : M = \{ \mu : P \rightarrow Nat \}$. Начальная маркировка \square_0 , как и текущая маркировка \square , определяется как множество $\mu(p_i)$, число компонентов которого равно числу позиций сети, а значение i -го компонента – это натуральное число, которое определяет количество маркеров в позиции (при отсутствии элементов в множестве ставится ноль).

Передвижение маркеров по сети осуществляется посредством срабатывания ее переходов, как на уровне системной, так и на уровне элементарных сетей. Срабатывание возбужденного перехода ведет к изменению маркировки сети, т.е. к изменению ее состояния. Поэтому, если в сети задана начальная маркировка, при которой хотя бы один переход возбужден, то в ней начинается движение маркеров, отображающее смену состояний сети. Переход может сработать, если

$$p_i \in I(t_j) : m(p_i) \geq (\#(p_i, I(t_j)) - w)$$

При срабатывании перехода маркировка изменяется на маркировку $\square \square(p_i)$, определяемая следующим соотношением:

$$\mu'(P_i) = \mu(P_i) - \#(P_i, I(t_j)) + \#(P_i, O(t_j))$$

Из последнего выражения видно, что количество маркеров, которое переход изымает из своих входных позиций, может не равняться количеству маркеров, которое этот переход помещает в свои выходные позиции, т.к. совсем не обязательно, чтобы число входных дуг перехода равнялось числу его выходных дуг. Если в сети одновременно возбуждено несколько переходов, то порядок их срабатывания не определен и, следовательно, активизация возбужденного перехода в сетях Петри может произойти через любой конечный промежуток времени после его возбуждения. Параллельным процессам соответствуют состояния в сети Петри, при которых активизируются несколько переходов.

В табл. 1 сведены события, возможные при функционировании сети рассмотренной ранее структуры.

В том случае, когда решаются задачи управления распределенными системами, сложность алгоритмов управления существенно возрастает, что повышает значение моделирования различных сценариев поведения системы при различных стратегиях управления. При этом возникает необходимость в инструментарии, который позволял бы строить наглядные модели поведения таких систем и допускал бы автоматическую проверку их семантических (поведенческих) свойств.

Вложенные сети Петри обладают свойствами, которые делают их удобным инструментом для моделирования и анализа алгоритмов управления микроядерными и мультиагентными системами:

вложенные сети Петри обладают иерархической и модульной структурой, которая позволяет наглядно отображать в модели иерархическую и модульную структуру алгоритма;

элементные сети во вложенной сети Петри обладают своей собственной структурой и собственным поведением, что делает их удобными для моделирования агентов мультиагентной системы;

горизонтальная синхронизация элементных сетей соответствует взаимодействию агентов между собой, вертикальная синхронизация моделирует действия агентов, которые изменяют состояние внешней по отношению к этим агентам среды;

элементные сети могут «появляться» и «исчезать» в процессе жизненного цикла системы, а их количество не ограничено. При моделировании алгоритмов управления элементные сети могут использоваться для моделирования подзадач, при этом подзадачи могут выполняться параллельно и независимо друг от друга, что соответствует динамическому распараллеливанию общей задачи.

Таблица 1

События, возможные при функционировании сети

t ₁₀	взаимодействие с пользовательским интерфейсом
t ₁₁	изменение параметров пользовательского интерфейса
t ₁₂	сохранение исходной структуры информационного потока
t ₁₃	изменение формы представления информационного сообщения
t ₁₄	запрос пользователя на получение информации
t ₁₅	выполнение макрокоманды или процедуры
t ₁₆	ввод данных
t ₁₇	анализ полученной информации
t ₂₀	взаимодействие с прикладной программой
t ₂₁	выбор информационного домена
t ₂₂	выбор программного модуля для обработки данных
t ₂₃	ввод и/или модификация информации
t ₂₄	получение и/или изменение формы представления информации
t ₂₅	активизация программного модуля
t ₂₆	завершение работы программного модуля
t ₂₇	модификация неактивных программных модулей
t ₂₈	продолжение процесса обработки данных
t ₂₉	обработка результатов функционирования программного модуля

t ₃₀	взаимодействие с однотипным агентом
t ₃₁	получение данных от взаимодействующего агента
t ₃₂	передача данных к взаимодействующему агенту
t ₄₀	взаимодействие с сервисами
t ₄₁	анализ полученной информации
t ₄₂	получение данных от взаимодействующего сервиса
t ₄₃	передача данных к взаимодействующему сервису
t ₅₀	изменение значений информационных полей внутри микроядра
t ₅₁	преобразование формата данных
t ₅₂	изменение фрагментов программного кода агента
t ₅₃	модификация полей кратковременной (ситуационной) памяти
t ₅₄	модификация полей долговременной (стереотипичной) памяти
t ₆₀	регистрация транзакций вида «микроядро-агент»
t ₇₀	регистрация транзакций вида «микроядро –интерфейс» и «микроядро - прикладная программа»
t ₈₀	повторение процесса взаимодействия

Заключение

Из сказанного выше видно, что вложенные сети Петри обладают достаточно богатыми выразительными возможностями. При этом, являясь расширением стандартных сетей Петри, вложенные сети сохраняют их достоинства простоты и ясности представления модели. Более того, для вложенных сетей Петри оказываются разрешимыми важные для верификации свойства.

Между тем, анализ многих семантических свойств, вложенных, как и обыкновенных сетей Петри является очень трудоемкой задачей, а некоторые важные свойства, разрешимые для обыкновенных сетей Петри, для вложенных сетей Петри оказываются неразрешимыми. Один из путей преодоления этих трудностей – рассматривать классы сетей Петри со структурными ограничениями. Поэтому представляется интересным проведение в дальнейшем исследования разрешимости и разработки алгоритмов анализа семантических свойств для вложенных сетей Петри, в которых системная и элементная сети являются сетями со свободным выбором.

Список литературы

1. Барон, Ю.Л. Архитектура интеллектуального управления на базе агентно-ориентированного подхода / Ю.Л. Барон // Сб. научн. тр. VI нац. конф. по искусственному интеллекту КИИ-98 Т11. Пущино : АИИ, С. 391-398.
2. Нестеренко, Т.В. Разработка динамических мультиагентных систем в рамках технологии активных объектов / Т.В. Нестеренко // Сб. Научн.тр. VI Нац. Конф. По искусственному интеллекту КИИ-98 Т1. Пущино : АИИ, 1998. С. 7683.
3. Дмитриченко, В.М. Различные формы организации мультиагентных систем / В.М. Дмитриченко // Вестник ХГТУ. 1999. №5. С. 4148
4. Питерсон, Дж. Теория сетей Петри и моделирования систем : пер. с англ. / Дж. Питерсон, М. : Мир, 1984. – 264 с.
5. Ломазова, И.А. Моделирование задачи разделенного доступа средствами модульных сетей Петри – Моделирование и анализ информационных систем / И.А. Ломазова, Н.В. Лысенко. – Ярославль : Ярославский гос. ун-т. – 1998. – В.5. – С. 62–73.
6. Ломазова, И.А. Моделирование мультиагентных динамических систем вложенными сетями Петри – Программные системы : теоретические основы и приложения / И.А. Ломазова. – М. : Наука. Физматлит, 1999. – С. 143–156.
7. Moldt D., Wienberg F. Multi-Agent Systems Based on Coloured Petri nets Proc. Int. Conf. on Application and Theory of Petri Nets, LNCS 1248, pp. 821-101 Springer-Verlag, 1997.
8. Valk R. Petri Nets as Token Objects : An Introduction to Elementary Object Nets. Proc. Int. Conf. on Application and Theory of Petri Nets, LNCS 1420, pp. 125 Springer-Verlag, 1998.

Application of Petri Nets Formal Description for Modeling of Distributed Systems with Micronucleus Architecture

A.V. Yakovlev

*Tambov Higher Military Aviation Engineering College of Radio-Electronics (Military Institute),
Tambov*

Key words and phrases: embedded Petri nets; micronucleus; software.

Abstract: The paper studies the possibility of application of formal description of Petri nets for modeling and analysis of algorithms of control over distributed systems with micronucleus architecture. The advantages of the given approach for description of complex dynamic processes of system components interaction are grounded.

© A.V. Яковлев, 2009