

ОБЗОР РАБОТ, ПОСВЯЩЕННЫХ РАЗРАБОТКЕ ПО С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ UML И СЕТЕЙ ПЕТРИ*

Д.О. РОМАННИКОВ, А.В. МАРКОВ, И.В. ЗИМАЕВ

Проведен обзор и анализ работ, выполненных на кафедре автоматики НГТУ, посвященных разработке программного обеспечения с использованием UML диаграмм и сетей Петри.

Ключевые слова: UML диаграммы, сети Петри, разработка ПО.

ВВЕДЕНИЕ

В статье рассмотрены работы, выполненные на кафедре автоматики НГТУ, посвященные разработке программного обеспечения с использованием сетей Петри и формальных методик разработки. Выделены основные тенденции, проанализированы недостатки и достоинства существующих методик и сделаны выводы о возможном развитии данных методик.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ UML И СЕТЕЙ ПЕТРИ В РАЗРАБОТКЕ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

В работе [1] рассмотрен пример моделирования взаимодействия таксофона и центра управления таксофонами. Таксофон и центр управления таксофонами взаимодействуют при помощи специального протокола. Он подразумевает работу в режиме точка-точка в одном из четырех форматов: один пакет запроса – один пакет ответа, один пакет запроса – много пакетов ответа, много пакетов запроса – много пакетов ответа, много пакетов запроса – один пакет ответа. Использование протоколов в данной задаче и в задачах построения локальной автоматики является общим. Цветная сеть Петри, изображенная на рис. 1, получена из словесного описания задачи. На данной сети место** Send обозначает отправку ЦДУКТ запросов таксофону. Место

* Получена 15 декабря 2010 г.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки ГК № П694 от 12.08.2009.

** Местами в Сетях Петри называют множество, моделирующее состояние физического объекта или процесса. Например: если метка находится в месте Send, то ЦДУКТ производит отправку пакета.

Received – получение таксофоном запроса от ЦДУКТ и формирование и отправку подтверждения. Места A, B, C, D, E, F – промежуточные состояния получения/передачи ответа/запроса. В данной статье моделируются лишь логические состояния взаимодействия. Также для взаимодействия используется топология точка-точка, что не всегда является применимым на практике. Другие топологии, такие как звезда, кольцо, шина и другие, не рассмотрены. Из-за ограничения применяемой топологии не рассмотрена также передача сообщений несколькими устройствами (в примере таксофонами) одновременно. Эти аспекты являются важными с точки зрения систем локальной автоматики и должны быть рассмотрены отдельно. Передача сообщений в примере происходит мгновенно, а для учета временных аспектов используются подсобытия. Например, на рис. 1 для моделирования временной задержки используются подсобытия A, B, C и D. В работе было выполнено моделирование сети и на основании моделирования сделан вывод о наличии ошибки в сети и внесены корректировки в нее. Кроме этого было построено дерево достижимости. К недостаткам данной работы можно отнести отсутствие формальных рекомендаций и алгоритмизации построения сети.

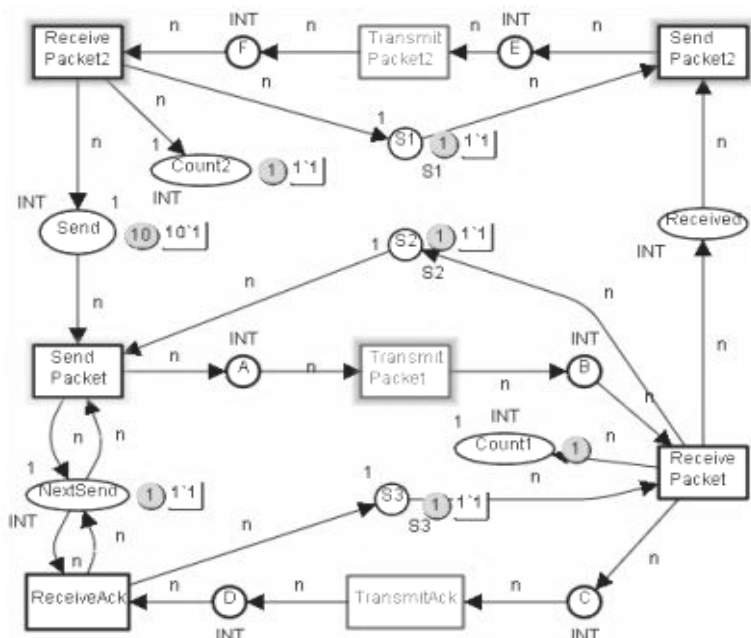


Рис. 1. Пример моделирования сеанса обмена сообщениями в [1]

В работе [2] описывается взаимодействие таксофона с центром контроля и управления. Протокол взаимодействия, как и в работе [1], анализируется только с точки зрения логики взаимодействия, передача конкретных значений не исследуется. В работе рассматривается использование цветных сетей Петри, что позволяет получить более компактную запись сети.

В работе [3] анализируется задача свёртывания графов сети за счет свойств симметрии, применение данного свойства актуально для задач локальной автоматизации, для которой является типичным использование большого количества повторяющихся элементов, схожих по принципу работы. Использование в анализе сети свернутого графа позволит упростить процесс моделирования, а также моделировать сети Петри большие по размеру.

В работе [4] рассматривается разработка центра дистанционного управления блока релейной защиты (БРЗ). Система включает в себя центральный сервер, к которому подсоединены две группы БРЗ при помощи одного интерфейса. Основной задачей является одновременный опрос до 200 БРЗ для получения данных об их работоспособности и отправки им команд управления.

Особенностью подключения является наличие 14 каналов для приема/отправки сообщений и только один для приема. Таким образом, основная сложность разрабатываемого программного обеспечения будет заключаться в алгоритме синхронизации между различными потоками опроса БРЗ. ПО для данной системы состоит из трех основных потоков: потока управления и контроля, потока ожидания подключения новых БРЗ и потока опроса БРЗ и обновления его состояния.

Для опроса БРЗ используется многопоточное программное обеспечение, в разработке которого использовались UML диаграммы (диаграммы вариантов использования и деятельности) и сети Петри.

В данной работе рассмотрены основные правила формального преобразования UML диаграмм деятельности в цветные сети Петри.

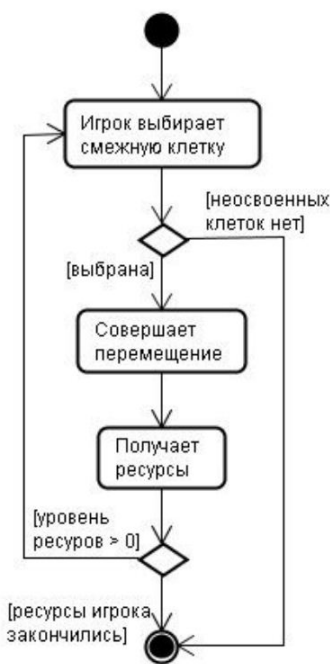


Рис. 2. Диаграмма деятельности из статьи [5]

Необходимо отметить, что при преобразовании диаграмм деятельности в цветные сети Петри места полученной сети Петри получают тип Boolean, что является недостатком преобразования. При этом в такой сети можно моделировать только логические аспекты поведения сети, так как для передачи могут использоваться только переменные типа Boolean. Использование типов мест в сети, идентичных объектам из диаграммы Петри, позволит моделировать не только логические аспекты, но и численные, кроме того, логические аспекты будут моделироваться более глубоко. Стоит отметить, что в данной работе применен достаточно удобный способ моделирования сети Петри при различных начальных условиях, который позволяет легко менять начальные условия и получать результат моделирования в удобной форме.

К достоинствам данной работы можно отнести то, что в ней представлены алгоритмизируемый подход к разработке программного обеспечения с использованием диаграмм UML и сетей Петри, а также набор формальных правил преобразования UML диаграмм в сети Петри.

В работе [5] рассмотрено преобразование диаграммы деятельности в цветную сеть Петри. Такое преобразование является одним из обязательных шагов методики разработки ПО с использованием UML диаграмм и сетей Петри, однако до сих пор не является подробно изученным. Базовый набор правил преобразования стандартных элементов (таких, как действия и переход, ветвление), рассмотренный в [4], расширен дополнительными правилами преобразования временных аспектов сети Петри. Последнее особенно важно как для систем реального времени, так и для оценки быстродействия проектируемой системы.

Достоинством данной работы является то, что в ней помимо базовых правил формального преобразования рассмотрена логика преобразования, т.е. полноценный процесс формирования идентичной модели в терминах сетей Петри.

Стоит обратить внимание на преобразование диаграммы деятельности, содержащей сложные действия (рис. 2), в сеть Петри (рис. 3).

В результирующей сети Петри присутствуют скрипты на языке ML и маркировка, которая неявно следует из диаграммы, изображенной на рис. 2. Стоит также отметить, что такой переход не является автоматическим, так как полученные скрипты и начальная маркировка не следуют явно из начальной диаграммы UML. Также нет рекомендаций по получению начальной маркировки ML скриптов.

В работе [6] рассматривается часть протокола IP телефонии, используемая для аутентификации, авторизации и учета. Для моделирования работы протокола используется сеть Петри, которая получена из блока схем алгоритма работы протокола. Сеть состоит из 12 мест, 12 переходов и содержит 7 меток

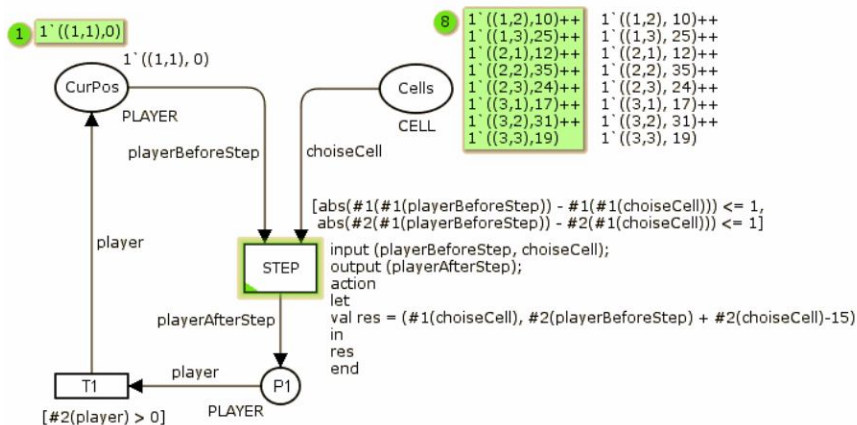


Рис. 3. Сеть Петри для диаграммы, изображенной на рис. 2

в начальном состоянии. В сети можно выделить использование ML-скриптов для детального моделирования сети. Отметим, что в известных нам работах нет правил формального автоматического преобразования ML-скриптов, используемых в сетях Петри, а также нет правил и рекомендаций по получению ML скриптов и формированию сети Петри.

В работе [7] рассматривается моделирование протокола обмена данными сервера с произвольным набором клиентов (терминалов), соединенных между собой «звездой». Данную задачу можно рассматривать как одну из подзадач локальной автоматизации, например, взаимодействие контроллера с периферийными устройствами по различным протоколам (Profibus, Ethernet и т.д.).

В данной работе представлено моделирование протокола связи терминала и сервера при помощи использования инструментов UML (диаграммы состояний, взаимодействия и описания при помощи диаграммы вариантов использования) и сетей Петри.

Сеть Петри, моделирующая работу системы, использует 10 терминалов и 5 каналов связи и содержит 4 места и 2 перехода на серверной стороне и 5 мест и 3 перехода на стороне терминала.

Особенностью и достоинством данной работы является разделение частей UML диаграммы состояний, а также и сети Петри, полученной в результате преобразования, на модули. Данное разделение позволяет переиспользовать различные модули в сложных иерархических системах.

Стоит отдельно отметить, что в данной работе преобразованию подвергается не диаграмма деятельности, а диаграмма состояний.

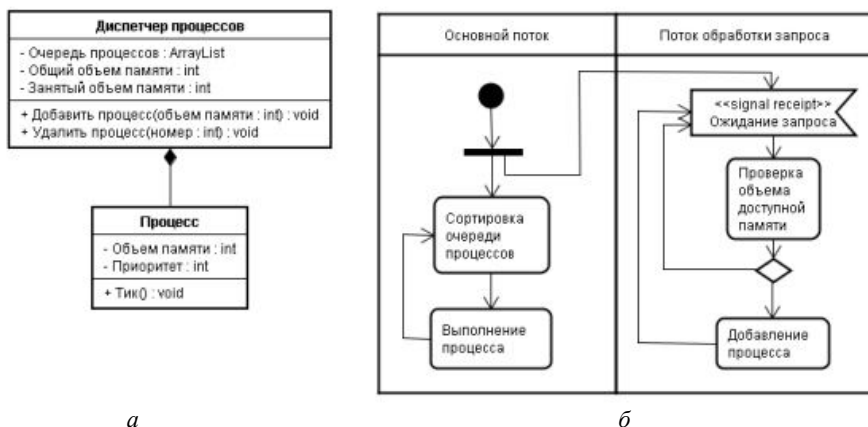
В работе [8] анализируется возможность автоматической трансляции UML диаграмм в сети Петри, основанной на определенном наборе правил формального преобразования. Набор базовых правил преобразования рассматривается в [5], при этом данная статья дополнена описанием преобразования динамических и статических объектов (например, запись в БД), динамический и статический объект определяется свойствами метки, а различие между ними заключается в том, что метка статического объекта возвращается в начальное место после операции, а для динамического объекта – нет. Другим важным достоинством данной работы является предложенное решение проблемы с преобразованием типов мест для сетей Петри. Обсуждение данной проблемы частично затрагивалось в работах [4, 5], но какого-то формального решения в них представлено не было. Для решения данной проблемы предлагается использовать стереотипы для определений действий на диаграмме действий в UML.

К недостаткам данной работы можно отнести отсутствие достаточного количества примеров преобразования, а также недостаточно полно описанный механизм работы со статическими объектами.

В работе [9] рассматривается пример применения методики разработки ПО при помощи использования UML диаграмм и сетей Петри на примере разработки утилиты для подсчета посетителей сайта. В качестве UML диаграмм используются диаграммы последовательности, диаграмма классов и диаграмма состояний. В ходе применения методики, а именно на основании анализа сети Петри, в разработанной диаграмме классов находится неточность и в нее вносятся изменения.

В работе [10] исследуется использование ингибиторных дуг в сетях Петри, а также использование анализирующих сетей Петри для выявления коллизий при параллельных вычислениях. Ингибиторные сети позволяют решить проблему разрешения перехода в сети, когда в месте отсутствует метка. В CPN Tools данная проблема решалась добавлением мест в сеть и использованием добавленного места как буфера проверки. Идея анализирующей сети может быть использована для нахождения одновременных обращений к ограниченными ресурсам системы, однако данное обращение может быть найдено и при проведении анализа сети Петри, полученной из UML диаграмм.

В работе [11] описывается способ сопряжения диаграммы классов и диаграммы деятельности, применяемый для последующей автоматической трансляции полученного синтеза в верифицирующую цветную сеть Петри. Для иллюстрации применения данного подхода используется пример проектирования диспетчера задач (рис. 4).



а

б

Рис. 4. Диаграмма классов (а) и деятельности (б)

Класс процесса содержит такие данные, как приоритет и объем занимаемой им памяти. Класс диспетчера содержит список запущенных процессов, общий и занятый объем памяти.

У диспетчера предусмотрено два внутренних потока работы. В первом потоке осуществляется цикл обработки запущенных процессов из двух стадий: сортировка списка процессов по приоритету и выполнение процесса. Во втором потоке происходит проверка возможности выделения запрошенного объема памяти и добавление процесса в общий список. Далее, на основании полученных свойств статики и динамики формируется диаграмма, состоящая из диаграмм классов и действий. Результирующая диаграмма показана на рис. 5. Преобразование такой диаграммы в сеть Петри осуществляется согласно правилам преобразования обычных диаграмм деятельности или состояний, дополненным одним правилом.

Достоинством данной работы является синтез диаграммы, основанной на диаграмме классов и действий. Результирующая диаграмма более пригодна для автоматической трансляции в сети Петри, однако в статье представлено недостаточно примеров с использованием новой диаграммы.

В работе [12] рассматривается решение задачи поиска выхода из лабиринта при помощи цветной сети Петри. Сеть Петри построена на основании словесного описания задачи. Основной особенностью сети является наличие в сети меток, для которых сохраняется история их прохождения по лабиринту. К достоинствам работы можно отнести проведенный и представленный анализ сети и наличие рекомендаций по ее построению. К недостаткам – отсутствие UML диаграмм.

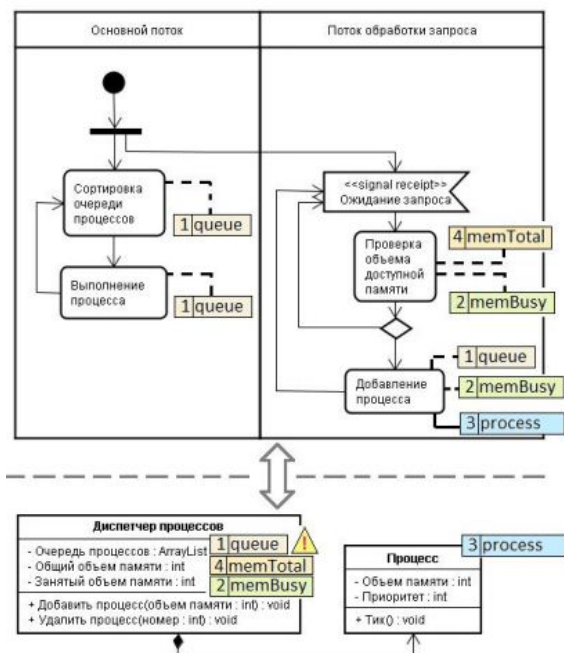


Рис. 5. Синтез диаграмм деятельности и классов

В работе [13] анализируется задача поиска кратчайшего пути с единственным источником на примере движения шахматной фигуры «Конь». На основании диаграммы последовательности и модели системы построена цветная сеть Петри. К недостаткам данной работы можно отнести отсутствие достаточного набора UML диаграмм, на основании которого можно было бы получить сеть Петри при помощи набора формальных правил, и отсутствие анализа полученной сети.

В работе [14] предложена методика разработки ПО для многопоточных систем с ограниченными ресурсами (рис. 6). Даются рекомендации по выделению критических секций, для которых есть вероятность блокировки различных потоков. Кроме этого даются рекомендации по преобразованию диаграмм UML в сети Петри и составлению сетей Петри.

В работе [15] рассмотрено использование технологии Microsoft Workflow Foundation¹ совместно с сетями Петри по аналогии с использованием сетей

¹ Технология, позволяющая моделировать потоки действий. Представляет собой одну из реализаций диаграммы действий UML и отличается от нее возможностью задавать различные свойства элементам диаграммы.

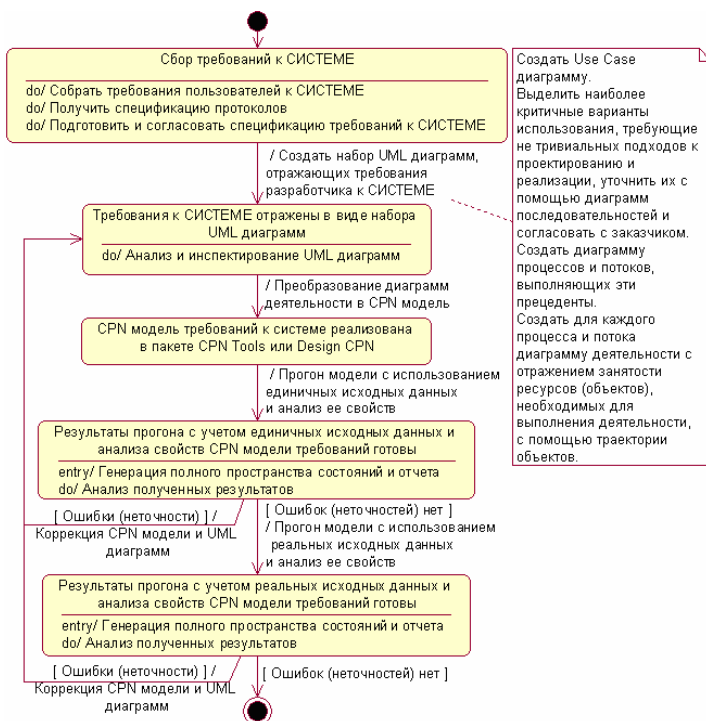


Рис. 6. Графическое представление методики разработки ПО, предложенной в [14]

Петри вместе с диаграммами UML. Данная технология рассматривается на примере взаимодействия клиента и сервера. В примере рассматривается UML диаграмма деятельности, WF модель и построенные для нее сети Петри. На основании моделирования сетей Петри делается вывод о наличии ошибки и вносятся исправления. Для преобразования WF модели используется тот же набор правил, что и для преобразования UML диаграмм в сети Петри.

В работе [16] описаны различные языки для записи сетей Петри для сетей с условными переходами и временных сетей. Данная работа является продолжением работы [17], но более расширенная для применения временных аспектов и аспектов условного перехода.

В работе [17] рассматривается возможность формальной записи ординарных сетей Петри в более компактной форме. Краткое представление удобно для анализа сети, синтеза сети по заданному языку. В статье приведена запись сетей в компактной форме для ординарных сетей, иерархических сетей.

В работе [18] произведено сравнение некоторых CASE средств с точки зрения их использования для построения описания системы при помощи UML моделей. Среди исследованных программ были: Microsoft Visio Professional, MagicDraw, Sybase PowerDesigner и Rational Rose. Авторы выбрали Rational Rose как наиболее подходящий инструмент для работы с UML диаграммами.

В работе [19] рассматривается пример разработки клиент-серверного приложения при помощи использования UML диаграмм состояний и сети Петри, полученной из этой диаграммы. Показано, как моделирование и анализ сети Петри позволяет выявить ошибки в исходной диаграмме. После исправления найденной ошибки и повторном анализе сети Петри автор делает вывод о корректности построенной UML диаграммы. В статье даются рекомендации о проведении анализа сетей Петри, что является достоинством данной работы. К недостаткам работы можно отнести тот факт, что исправление найденной ошибки производилось не в исходной UML диаграмме, а в полученной сети Петри.

В работе [20] произведен обзор различных UML диаграмм и анализ их использования с точки зрения масштабов проекта. Автор вводит понятие масштабов для структурных диаграмм (диаграммы пакетов, классов, композиции) и для динамических (коопераций, последовательности, действий), и на основании введенных масштабов рассматривает покрытие системы. В работе даются рекомендации по оптимальному покрытию, а именно использованию диаграммы с равномерным убыванием масштабов. Кроме этого автор дает рекомендации по разрешению противоречий прогрессии масштабов.

В работе [21] рассматривается разработка программного обеспечения для центров дистанционного контроля БРЗ, дается методика разработки ПО на основе UML диаграмм и сетей Петри (рис. 7, графическое представление методики). Приведены диаграммы классов и диаграммы состояний для диаграмм классов. Для построенных диаграмм состояний автор на основании сформулированных правил формального преобразования получает набор цветных сетей Петри.

К достоинствам данной работы можно отнести сформулированную методику разработки ПО, набор правил для преобразования диаграмм состояний в сети Петри, а также рекомендации по составлению UML диаграмм и моделированию сетей Петри.

В работе [22] показан пример разработки ПО, основанный на применении сетей Петри и диаграмм UML, спроектирована диаграмма деятельности для двух потоков, обращающихся к одному критическому ресурсу, для данной диаграммы получена сеть Петри. В работе нет рекомендаций по составлению диаграмм и получению сетей Петри из составленных диаграмм, также отсутствуют рекомендации по обнаружению критических секций в системе.

В работе [23] рассматривается такая важная специфика вычисления и анализа сетей Петри, как классы эквивалентности, которые позволяют частично решить проблему «взрыва» пространства состояний. Пример применения принципа эквивалентности происходит при помощи программного пакета

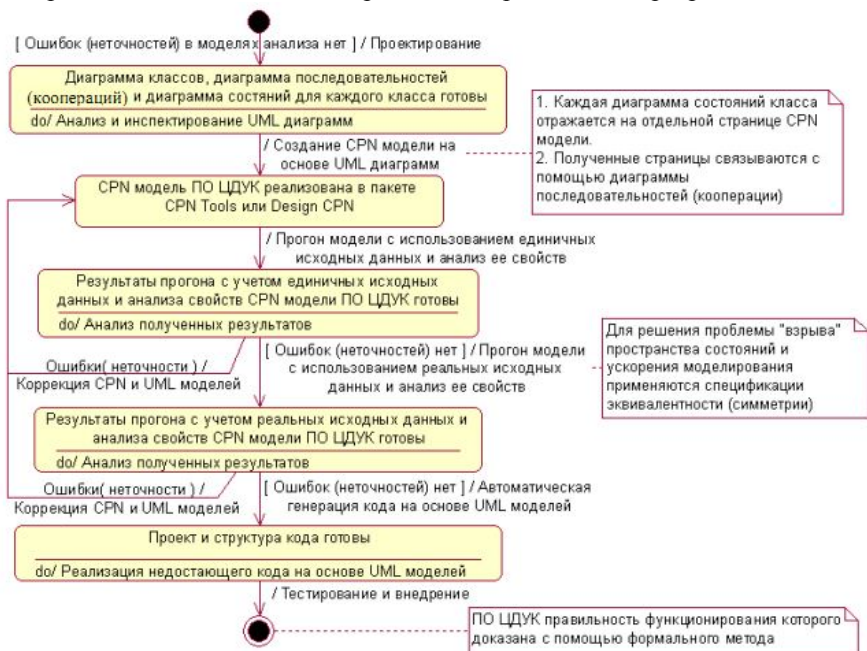


Рис. 7. Графическое представление методики разработки ПО

Desing\CPN, так как в пакете CPNTools не поддерживает классы эквивалентности. К достоинствам работы можно отнести подробный пример по использованию классов эквивалентности в Desing\CPN.

В работе [24] предложено моделирование протокола взаимодействия таксофона и центра управления. Особенность статьи состоит в том, что при проектировании и моделировании используются временные аспекты, т.е. используется сеть Петри, расширенная временем. При анализе сети Петри учитываются временные аспекты, поэтому становится возможным определить время полного сеанса связи между таксофоном и центром контроля. К сожалению, авторами не указаны рекомендации по составлению и проведению анализа временных сетей Петри.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Рассмотренные работы можно разделить на несколько направлений:

- разработка и анализ программного обеспечения при помощи использования сетей Петри;
- преобразования UML диаграмм в сети Петри;
- разработки и анализ программного обеспечения при помощи использования UML диаграмм и сетей Петри;
- другие направления (описание сетей Петри при помощи различных языков, WF-модели и т.д.).

В работах [16, 17] рассматривается возможность компактной записи различных вариантов сетей Петри: ординарные, иерархические, цветные, сети с условными переходами, сети, расширенные временем.

В работах [1, 2, 6, 24] рассматривается анализ системы при помощи сетей Петри. В данных работах проведен анализ полученной сети, выявлены недостатки и произведены корректировки в исходной системе.

Работы [5, 8, 10, 11] посвящены трансляции UML диаграмм в сети Петри. В них приводится необходимый набор правил преобразования и примеры преобразования. Кроме того, примеры и правила преобразования приведены в работах, посвященных разработке ПО на основе применения UML диаграмм и сетей Петри. Для преобразования используются диаграммы последовательности, действий и состояний. Рассматриваются вопросы получения типов данных, переменных сети Петри, а также типов мест.

Ряд работ ([4, 7, 9, 13, 14, 19, 21, 22]) посвящен непосредственно методу разработки ПО с использованием сетей Петри и диаграмм UML. В этих работах приводятся примеры использования методики при решении различных задач, среди которых есть задачи проектирования протоколов, многопоточные приложения с блокировками, а также распределенные системы и другие. Кроме этого приводятся рекомендации по построению набора диаграмм: от диаграмм для составления требований к системе до диаграмм, определяющих динамические и статические свойства системы. На основании правил преобразования формируется сеть Петри, которая в дальнейшем подвергается анализу для выявления логических ошибок.

1. *Воевода А.А., Саркенов Д.О.* Моделирование протокола связи таксофона и центра дистанционного управления таксофонами при помощи сетей Петри // Сб. науч. тр. НГТУ. – 2004. – 2 (36).

2. *Коротиков С.В., Воевода А.А.* Представление логики взаимодействия таксофона и СКУТ в виде цветной иерархической сети Петри // Сб. науч. тр. НГТУ. – 2004. – 2 (36).

3. Воевода А.А., Саркенов Д.О. Сети Петри: симметричные графы состояний // Сб. науч. тр. НГТУ. – 2005. – 2 (40).

4. Коротиков С.В. Применение цветных иерархических сетей Петри для верификации UML-диаграмм на этапе анализа требований к системе дистанционного контроля и управления // Сб. науч. тр. НГТУ. – 2007. – 1 (47).

5. Воевода А.А., Зимаев И.В. Об особенностях преобразования UML диаграмм деятельности в сети Петри // Сб. науч. тр. НГТУ. – 2009. – 2 (56).

6. Воевода А.А., Прытков Д.В., Прыткова О.В. Применение аппарата сетей Петри для моделирования системы организации и контроля доступа к услугам IP-телефонии // Сб. науч. тр. НГТУ. – 2009. – 3 (57).

7. Зимаев И.В., Воевода А.А. Моделирование асинхронной сети автоматов обработки данных // Сб. науч. тр. НГТУ. – 2009. – 4 (58).

8. Зимаев И.В. О возможности автоматической трансляции UML диаграмм деятельности в сети Петри // Сб. науч. тр. НГТУ. – 2010. – 1 (59).

9. Воевода А.А., Прытков Д.В. Применение сетей Петри на этапе объектно-ориентированного проектирования // Сб. науч. тр. НГТУ. – 2010. – 2 (60).

10. Зимаев И.В. Блоки анализирующей сети Петри // Сб. науч. тр. НГТУ. – 2010. – 3 (61).

11. Зимаев И.В. Интеграция структурных и динамических UML-моделей // Сб. науч. тр. НГТУ. – 2010. – 3 (61).

12. Воевода А.А., Марков А.М. Тестирование UML-диаграмм с помощью аппарата сетей Петри на примере разработки ПО для игры «Змейка» // Сб. науч. тр. НГТУ. – 2010. – 3 (61).

13. Прытков Д.В. О применении сетей Петри для исполнения алгоритмов на примере решения задачи о кратчайших путях с единственным источником // Сб. науч. тр. НГТУ. – 2010. – 3 (61).

14. Коротиков С.В., Воевода А.А. Применение сетей Петри в разработке программного обеспечения центров дистанционного управления и контроля // Науч. вестн. НГТУ. – 2007. – 4 (29).

15. Зимаев И.В., Воевода А.А. Верификация Workflow-моделей с применением сетей Петри // Науч. вестн. НГТУ. – 2010. – 4 (41).

16. Воевода А.А., Марков А.М. О компактном представлении языков сетей Петри: сети с условиями и временные сети // Сб. науч. тр. НГТУ. – 2010. – 2 (60).

17. Воевода А.А., Коротиков С.В. О компактном представлении языков сетей Петри // Сб. науч. тр. НГТУ. – 2005. – 1 (39).

18. Воевода А.А., Прытков Д.В., Прыткова О.В. О возможностях некоторых популярных CASE-средств // Сб. науч. тр. НГТУ. – 2010. – 1 (59).

19. Воевода А.А., Зимаев И.В. Моделирование системы многоканальной визуализации с использованием аппарата сетей Петри // Сб. науч. тр. НГТУ. – 2008. – 3 (53).

20. Воевода А.А., Зимаев И.В. Соотнесение структурных и временных масштабов UML-диаграмм // Сб. науч. тр. НГТУ. – 2008. – 4 (54).

21. Коротиков С.В. Проверка согласованности UML-диаграмм проекта службы контроля и управления ДЦ БРЗ с помощью сетей Петри // Сб. науч. тр. НГТУ. – 2007. – 2 (48).

22. Коротиков С.В. Применение шаблонов UML и сетей Петри при разработке системной службы центра дистанционного управления и контроля // Сб. науч. тр. НГТУ. – 2007. – 2 (49).

23. Коротиков С.В., Саркенов Д.О. Применение спецификации эквивалентности в моделировании сеанса связи таксофона и центра дистанционного контроля и управления таксофонами раскрашенной сетью Петри // Сб. науч. тр. НГТУ. – 2007. – 3 (49).

24. Воевода А.А., Саркенов Д.О., Хассоунех В. Моделирование протоколов с учётом времени на цветных сетях Петри // Сб. науч. тр. НГТУ. – 2004. – 3 (37).

Романников Дмитрий Олегович – аспирант кафедры автоматики Новосибирского государственного технического университета.

E-mail: rom2006@gmail.com

Марков Александр Владимирович – магистрант кафедры автоматики Новосибирского государственного технического университета.

E-mail: muviton3@mail.ru

Зимаев Игорь Валентинович – аспирант кафедры автоматики НГТУ. Тема научной работы – использование UML-диаграмм и аппарата сетей Петри как формальных методик анализа архитектуры программного обеспечения. Имеет 7 публикаций. E-mail: topspace@mail.ru.

D.O. Romannikov, A.V. Markov, I.V. Zimaev

The review of works devoted to development of the software with use UML and Petri nets

In given article the works executed on chair to automatics NSTU, and devoted to development of the software with use of Petri nets and formal techniques of working out are considered. The basic tendencies are allocated, lacks and advantages of existing techniques are analysed and conclusions are drawn on possible development of the given techniques.

Key words: UML diagrams, Petri nets, software engineering.