

УДК 004.8.681.3.06

А.Н. Афанасьев, д-р техн. наук, **В.С. Хородов**
(Ульяновский государственный технический университет)

v.khorodov73@gmail.com

РАЗРАБОТКА И МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЁННОЙ СИСТЕМЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ VHDL-ОБЪЕКТОВ

Предложена распределённая система проектирования сложных VHDL-программ, в основу организации и функционирования которой положен многоагентный подход. На базе цветных сетей Петри разработана сетевая модель системы.

Ключевые слова: распределенное проектирование; многоагентный подход; VHDL; сети Петри.

Designing distributed system of the complex VHDL-programs, which organization and functioning based on the multi-agent approach, is proposed. On the basis of colored Petri nets developed a network system model is developed.

Key words: distributed designing; multi-agent approach; VHDL; Petri nets.

Введение. Процесс "затвердевания" программного обеспечения (software), начатый в 80-х гг. прошлого столетия, в связи со значительными успехами в области микросхемотехники приобретает в настоящее время материальное воплощение в виде методологий проектирования сверхбольших интегральных схем (СБИС) "система на кристалле" [1]. При этом объём RTL-кода увеличился до более одного миллиона строк, а количество логических вентилях возросло до ста миллионов [2]. В настоящее время объём создаваемого кода на языках описания аппаратуры (Hardware Description Language — HDL), являющихся основным инструментом при проектировании СБИС, и количество логических вентилях в проектируемых схемах выступают одними из основных факторов, которые характеризуют возрастание сложности таких проектов и существенно влияют на их успешность.

Приведём ряд примеров: внутрисалонная информационно-управляющая система (Cabin Intercommunication Data System, CIDS) — более чем 5 млн строк кода, написанных, в основном, на языках Си, Java и VHDL; описание поведенческого и структурного уровней микропроцессора Chameleon, разработанного SGS-THOMSON Microelectronics, — нескольких сотен тысяч строк; кристалл SPARCv9 с тестами и окружением — около 160 тыс. строк на языке Verilog; большие аппаратные конструкции, которые включают несколько интегральных схем специального назначения (ASIC) и микропроцессоры, могут достигать размеров нескольких сотен тысяч строк VHDL-кода и тысяч компонентов [3].

Аналогично разработке программного обеспечения сложных автоматизированных систем для реализации подобных проектов и повышения их успешности используется коллективное проектирование, реализованное в сетевых системах. Одним из перспективных направлений этой предметной области является разработка и использование распределённых систем и технологий.

В основе организации коллективной параллельной разработки устройств лежат принципы модульности и иерархичности. Использование модульного проектирования позволяет проводить коллективную разработку, разделяя задачи между отдельными участниками проекта в соответствии с их квалификацией. Структура программы на языке VHDL, представляющая собой модель устройства, позволяет обеспечивать разработку и эффективное моделирование иерархических компонентов.

Ниже предлагается многоагентная система распределённого проектирования программ на языке VHDL. Разработана модель системы на базе цветных сетей Петри.

Многоагентная система распределённого проектирования. Многоагентная система (МАС) представляет собой совокупность взаимосвязанных агентов, способных взаимодействовать друг с другом и окружающей средой, обладающих определёнными интеллектуальными способностями и возможностью индивидуальных и совместных действий [4].

Структура многоагентной системы распределённого проектирования представлена на рис. 1. Выделены следующие типы агентов: интерфейсный, управления проектными

задачами, разработки проектного решения, синтеза проектных решений, маршрутизации, поисковый, базы знаний и рабочей памяти.

Интерфейсный агент (interface-agent [INA]), взаимодействуя с проектировщиком и агентом маршрутизации, выполняет связующую роль.

Агент управления проектными задачами (management agent project tasks [МАРТ]) осуществляет формирование параллельной сетевой схемы задач (ПССЗ) и распределение проектных задач между проектировщиками.

Агент разработки проектного решения (agent designer project solution [ADPS]) выполняет операции, связанные с созданием проектного решения на языке VHDL, т.е. формированием структурно-функциональной лингвистической модели (СФЛМ), шаблона СФЛМ и проведением лексического и семантического анализа кода.

Агент синтеза проектных решений (agent synthesis project solution [ASPS]) осуществляет поиск готовых к объединению проектных решений, созданных проектировщиками, а также их синтез в единое проектное решение.

Агент маршрутизации (router agent [ROA]) является связующим между локальными или распределёнными агентами, расположенными на других серверах, которые выполняют роль хранения или разработки проектных решений.

Поисковый агент (search agent [SEA]) формирует запрос на поиск проектного решения и кластеризацию данных для сокращения времени поиска данных.

Агент базы знаний (agent knowledge base [AKB]) осуществляет операции по работе с базой знаний.

Агент рабочей памяти (agent working memory [AWM]) управляет состоянием системы и распределением нагрузки как на агентов, так и на всю систему.

Проведение синтаксического и семантического анализов кода VHDL-программы и формирование СФЛМ [5] на основе данного кода позволяет агенту разработки проектного решения формировать библиотеку проектных решений, используя которую поисковый агент осуществляет поиск решения для разрабатываемого компонента с учётом его характерных особенностей. Основные операции, выполняемые агентом синтеза проектных решений, обеспечивают получение проектных решений объединением СФЛМ отдельных компонентов разрабатываемого устройства.



Рис. 1. Структура многоагентной системы распределённого проектирования

Моделирование работы многоагентной системы распределённого проектирования. Описание и анализ процессов, протекающих в системе, осуществляется средствами математического аппарата цветных ингибиторных сетей Петри второго рода, представленных в виде иерархической композиции объектов.

Анализ сетевой модели до разработки программного обеспечения системы проектирования обеспечивает проверку работоспособности, выявление ошибок и узких мест в системе, в результате которых производительность или пропускная способность системы ограничена одним или несколькими компонентами или ресурсами.

Модель системы распределённого проектирования реализована в среде CPN Tools [6] и показана на рис. 2. В табл. 1 приведено описание позиций сети.

На рис. 2 выделены блоки, моделирующие процесс работы проектировщиков в системе: system entry (SEN) — система входа; system search (SSE) — система поиска; system constructor project solution (SCPS) — система конструктора проектного решения; system personal cabinet (SPC) — система личного кабинета; system managing projects (SMP) — система управления проектами; system managing project tasks (SMPT) — система управления проектными задачами; messenger (MES) — система уведомлений.

Данные, описанные в табл. 1, представляют основные этапы функционирования рассматриваемой системы. Каждая позиция выполняет связующую роль между компонентами. Ввиду того, что сеть Петри представлена в виде иерархической композиции, дальнейшее описание представляет собой детализацию некоторых компонент, изображенных на рис. 2.

Сетевая модель агента синтеза проектных решений (ASPS) представлена на рис. 3. Ос-

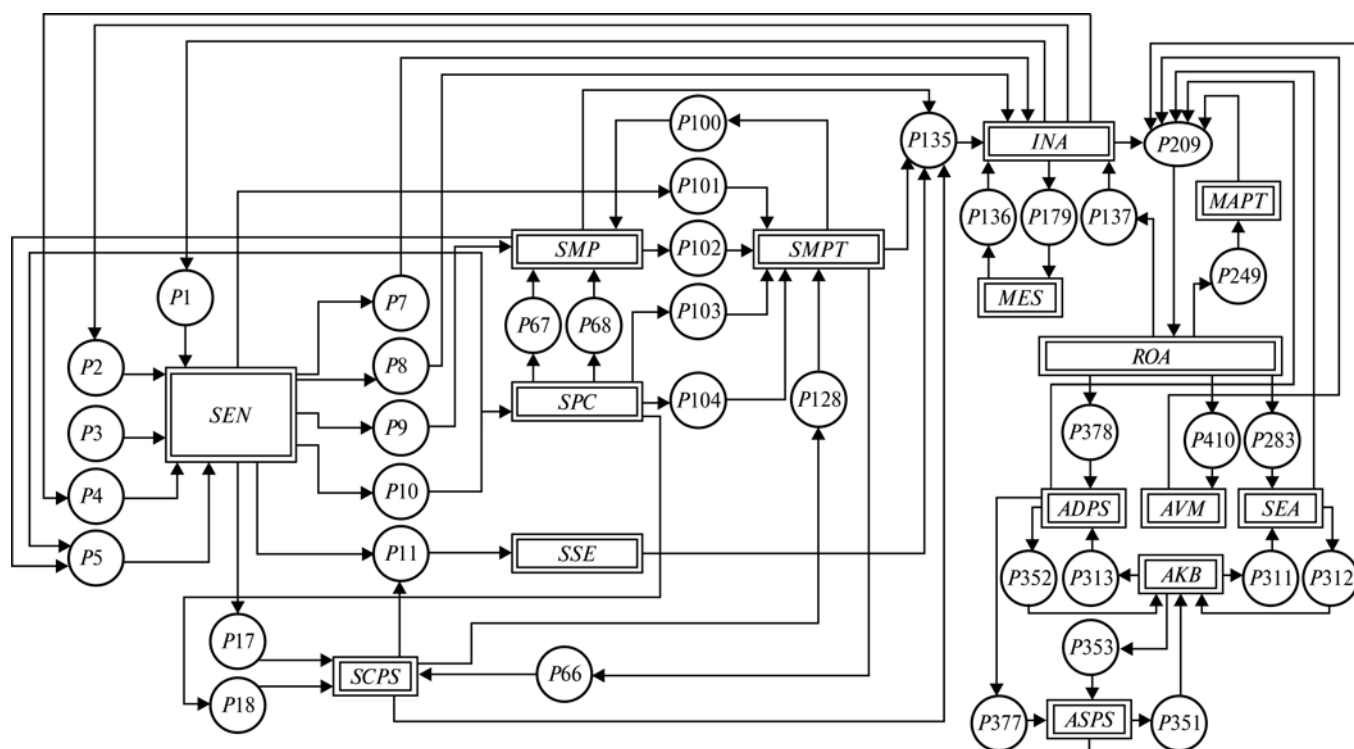


Рис. 2. Сеть Петри распределённой системы проектирования

Таблица 1

Описание позиций сети Петри системы распределённого проектирования

Обозначение элемента	Описание
P1	Выявлены ошибки при авторизации пользователя в системе
P2	Выявлены ошибки при регистрации пользователя в системе
P3	Выполнен переход на стартовую страницу системы
P4	Авторизация в системе пройдена. Осуществлён вход в систему
P5	Выбран элемент основного меню
P7	Передан запрос на регистрацию пользователя в системе
P8	Передан запрос на авторизацию пользователя в системе
P9	Выполнен переход на страницу управления проектами
P10	Выполнен переход в личный кабинет
P11	Выполнен переход на страницу поиска
P17	Выполнен переход к конструктору проектного решения
P101	Выполнен переход к управлению проектными задачами
P135	Передан запрос интерфейсному агенту
P67	Выполнен переход на страницу создания проекта
P68	Выбран проект. Осуществлён переход к странице проекта
P104	Выполнен переход к проектной задаче
P103	Выполнен переход к странице управления результатами поиска ПССЗ
P18	Выполнен переход к странице управления результатами поиска СФМ
P100	Выполнен переход к меню. Выбран элемент меню
P102	Выполнен переход к просмотру списка проектных задач с фильтрацией по проекту и/или проектировщику
P66	Выполнен переход к странице создания/редактирования проектного решения
P128	Выполнен переход на страницу создания проектной задачи
P179	Переданы данные по уведомлениям для пользователя
P136	Передан запрос на получение уведомлений для пользователя

Окончание табл. 1

Обозначение элемента	Описание
P137	Передано сообщение от агента ROA. Сообщение получено
P209	Сформировано и передано сообщение агенту ROA
P249	Передано сообщение от агента ROA. Сообщение получено
P283	Передано сообщение от агента ROA. Сообщение получено
P311	Передано сообщение от агента АКВ. Сообщение получено
P312	Сформировано и передано сообщение агенту АКВ
P351	Передано сообщение от агента ASPS. Сообщение получено
P352	Передано сообщение от агента ADPS. Сообщение получено
P378	Сформировано и передано сообщение агенту ADPS
P353	Сформировано и передано сообщение агенту ASPS
P377	Передано сообщение от агента ADPS. Сообщение получено
P378	Передано сообщение от агента ROA. Сообщение получено
P410	Передано сообщение от агента ROA. Сообщение получено

новые позиции и переходы, описывающие операцию синтеза, представлены в табл. 2.

Агент синтеза проектных решений является одним из компонентов иерархической структуры. Основные операции и этапы работы данного агента, такие как получение, обработка, формирование сообщений, а также взаимодействие с аппаратом ПССЗ представлены в виде совокупности позиций и переходов сети Петри (см. рис. 3 и табл. 2).

Сетевая модель агента маршрутизации (ROA) представлена на рис. 4. Основные позиции и переходы, описывающие процесс обработки и пересылки сообщений агентом маршрутизации с целью решения общей задачи, представлены в табл. 3.

Агент маршрутизации так же, как и предыдущий агент, является одним из компонентов иерархической структуры. Основные операции и этапы работы данного агента, такие как получение, обработка и формирование сообщений, представлены в виде совокупности позиций и переходов сети Петри (см. рис. 4 и табл. 3).

Рассмотрим типовые свойства сетей Петри в их интерпретации к рассматриваемой задаче. Результат анализа свойства живости показывает степень работоспособности системы, помогает выявлять невозможные состояния (в частности, неисполняемые ветви функционирования системы), например, ситуации, в которых блокируются действия пользователя на одной странице в web-системе, или работа,

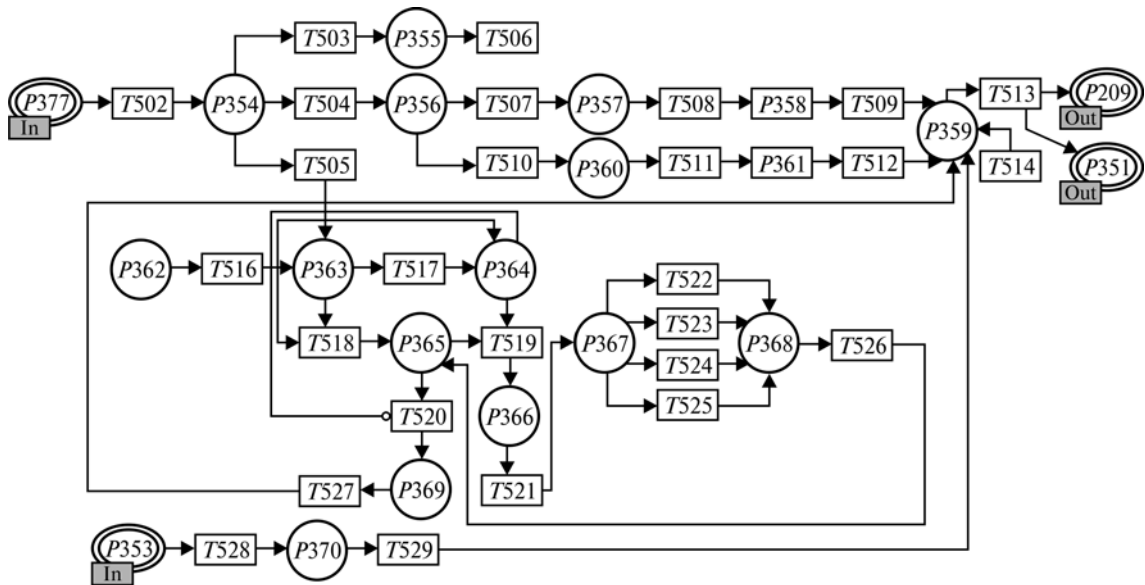


Рис. 3. Сеть Петри, моделирующая работу агента синтеза проектных решений

Таблица 2

**Описание позиций и переходов сети Петри,
моделирующей основные этапы синтеза проектных решений агентом**

Обозначение элемента	Описание
<i>P377</i>	Передано сообщение от агента ADPS. Сообщение получено
<i>P209</i>	Сформировано и передано сообщение агенту ROA
<i>P362</i>	Периодическая проверка графа ПССЗ на наличие завершённых стадий операторов (проектных задач), которые предшествуют оператору синтеза в графе ПССЗ
<i>P363</i>	Подсчёт количества операторов синтеза (проектных задач) в графе ПССЗ (проекте)
<i>P364</i>	Общее количество операторов синтеза
<i>P365</i>	Процесс анализа графа ПССЗ
<i>P366</i>	Данные по оператору синтеза выбраны
<i>P369</i>	Получен результат анализа графа ПССЗ
<i>P367</i>	Получена общая стадия, на основе которой будет производиться синтез проектного решения
<i>P368</i>	Получено новое проектное решение (оператора синтеза)
<i>T502</i>	Анализ сообщения. Получение данных агента-отправителя, ID отправляемого сообщения и данных по запросу
<i>T516</i>	Запуск проверки графа ПССЗ
<i>T517</i>	Получение оператора синтеза
<i>T518</i>	Подсчёт общего количества операторов синтеза закончен. Запуск анализа графа ПССЗ
<i>T519</i>	Завершение процесса анализа графа ПССЗ
<i>T520</i>	Выбор оператора синтеза и список предшествующих операторов
<i>T527</i>	Формирование сообщения (сохранение данных). Выбор агента маршрутизации
<i>T521</i>	Вычисление общей стадии разработки для предшествующих операторов
<i>T522</i>	Синтез VHDL-кода. Объединение веток разработки в git
<i>T523</i>	Синтез СФЛМ
<i>T524</i>	Синтез шаблонов СФЛМ
<i>T525</i>	Синтез графических блоков
<i>T526</i>	Переход к следующему оператору синтеза

Таблица 3

**Описание позиций и переходов сети Петри,
моделирующей процесс обработки и пересылки сообщений агентом маршрутизации**

Обозначение элемента	Описание
<i>P209</i>	Агент получил переданное ему сообщение
<i>P137</i>	Сформированное сообщение передано агенту INA
<i>P410</i>	Сформированное сообщение передано агенту AWM
<i>P378</i>	Сформированное сообщение передано агенту ADPS
<i>P238</i>	Сформированное сообщение передано агенту SEA
<i>P249</i>	Сформированное сообщение передано агенту MART
<i>P210</i>	Подсчёт количества правил работы агента
<i>P211</i>	Общее количество правил работы агента
<i>P212</i>	Запущен процесс поиска правила работы
<i>P213</i>	Количество правил, не соответствующих условию поискового запроса
<i>P214</i>	Количество правил, соответствующих условию запроса
<i>P215</i>	Получен результат поиска правила работы
<i>P216</i>	Получены данные для агента(ов) получателей сообщения
<i>P218</i>	Получен тип события и ID сообщения
<i>P219</i>	Сформировано сообщение, отправляемое агенту
<i>P220</i>	Найдено сообщение, которое было отправлено ранее. Сообщение помещено в историю
<i>T327</i>	Анализ сообщения. Получение данных агента-отправителя, ID отправляемого сообщения и данных о проектировщике и запросе. Формирование запроса для поиска правила работы агента

Окончание табл. 3

Обозначение элемента	Описание
T328	Получение правила работы агента
T329	Подсчёт общего количества правил работы агента закончен. Запуск поиска правила работы агента
T330	Правило не соответствует условиям поиска. Переход к следующему правилу
T332	Правило соответствует условиям поиска. Переход к следующему правилу
T333	Завершение процесса поиска правила работы агента
T334	Анализ найденного правила работы агента
T335	Формирование сообщения для отправки агенту
T336	Агенту было отправлено сообщение-запрос. Сохранение сообщения в базе агента
T338	Установка связи и передача сообщения агенту INA
T339	Установка связи и передача сообщения агенту SEA
T340	Установка связи и передача сообщения агенту ADPS
T341	Установка связи и передача сообщения агенту MAPT
T342	Установка связи и передача сообщения агенту AWM
T343	Агенту было отправлено сообщение-результат. Поиск сохраненного сообщения-запроса, по которому было получено сообщение-результат

в которых не может завершиться. В цветной сети Петри анализ этого свойства проводится относительно каждого цвета (т.е. относительно каждого проектировщика, находящегося в системе). Таким образом осуществляется проверка работы в системе нескольких проектировщиков, выполняющих различные действия.

При моделировании работы системы задача достижимости интерпретируется как возможность перехода к некоторой типовой ситуации, под которой понимается совокупность последовательных маркировок, необходимых для перехода в интересующее состояние системы. Для этого строится дерево типовых ситуаций, переходы по которому переводят систему в выбранные состояния, минуя определенное количество промежуточных этапов. Используя свойство достижимости сети Петри, строится карта внутрисистемных переходов. На ней отображаются все переходы, но активны будут только те, в которые можно перейти из текущего состояния.

Определение свойства безопасности позволяет анализировать процесс создания проектного решения "наблюдением" за ходом выполнения проектных задач,

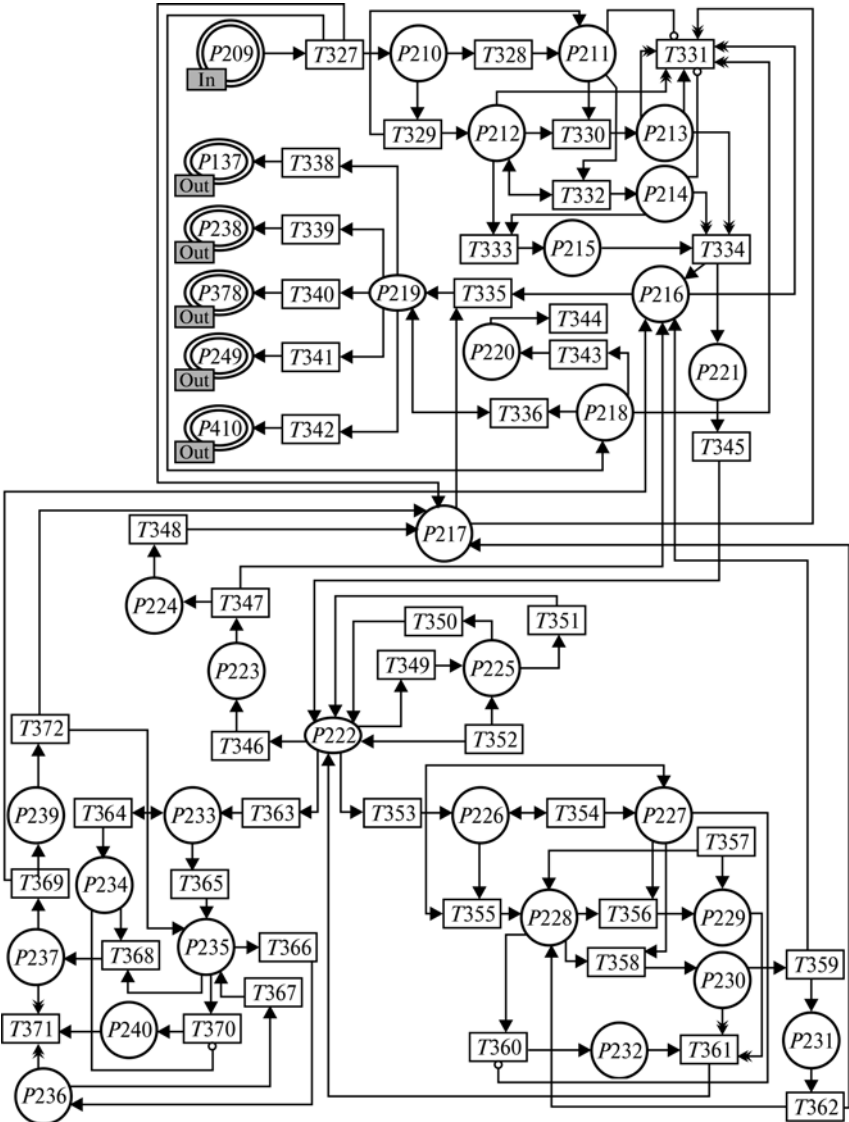


Рис. 4. Сеть Петри, моделирующая работу агента маршрутизации

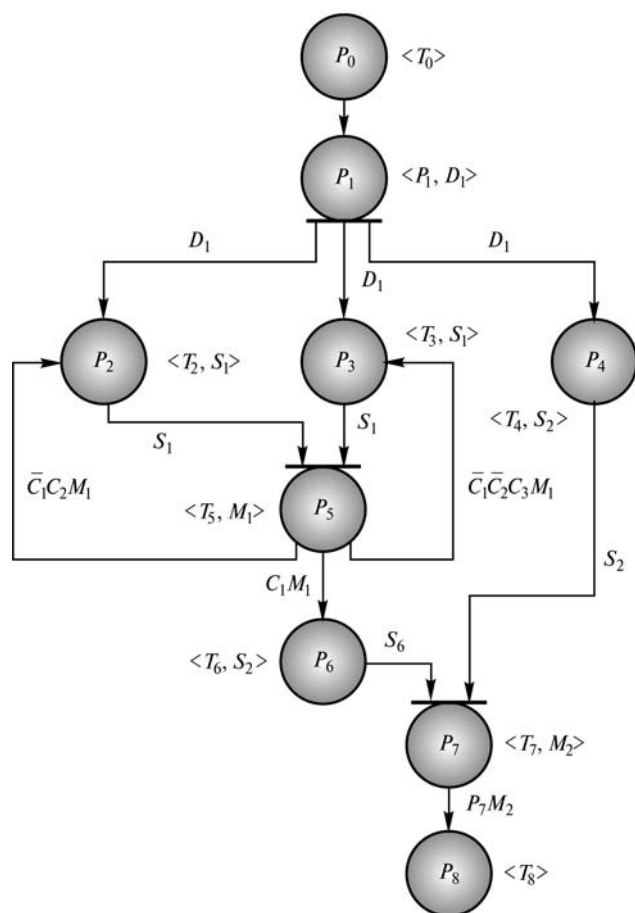


Рис. 5. Пример графа ПССЗ

выполняемых проектировщиками. Так как в текущий момент у проектировщика может быть только одна активная задача, которую он делает и по которой ведётся учёт времени, анализ свойства безопасности позиций токенов определённого цвета позволит выявить временные нарушения решения задач.

Обязательное наличие позиции-очереди у агента создаёт необходимость проверять данную позицию на свойство ограниченности. В случае превышения предельно допустимого количества задач, установленных в системе, запускается механизм создания копии агента и переназначения на него части задач. Освобождение ресурсов удалением копии агента из системы происходит при отсутствии задач в позиции-очереди агента.

Для реализации процесса декомпозиции проектных задач и синтеза проектных решений используется аппарат ПССЗ [7]. Пример графа ПССЗ, содержащего все применяемые в работе операторы, представлен на рис. 5. Каждой вершине графа ПССЗ (P) соответствует составной оператор. Информационная составляющая оператора предназначена для хране-

ния совокупности проектных задач (T). Дуги в ПССЗ представляют условия (C) перехода к выполнению следующего оператора. Оператор декомпозиции (D) предназначен для организации процесса распараллеливания задач.

Оператор синтеза (S) отвечает за объединение проектных решений, являющихся атрибутами составных операторов, в единое проектное решение. Одним из элементов управляющей составляющей ПССЗ является маска (M), которая представляет собой совокупность параметров проектных задач. Использование операции маскирования позволяет кластеризовать множество задач и осуществлять поиск по параметрам и контексту.

Заключение. Предложенная многоагентная система распределённого проектирования ориентирована на создание сложных VHDL-программ. Коллективное проектирование, а также создание и наполнение библиотек проектных решений в виде VHDL-объектов обеспечивает повышение эффективности и качества создания программно-информационных активов, приводит к сокращению сроков разработки.

Библиографические ссылки

1. Евтушенко Н.Д., Немудров В.Г., Сырцов И.А. Методология проектирования систем на кристалле. Основные принципы, методы, программные средства // Электроника: наука, технология, бизнес. 2003. № 6. С. 7—11.
2. Maciel R., Albertini B., Rigo S., Araujo G., Azevedo R. A Methodology and Toolset to Enable System C and VHDL Co-simulation // Computer Society Annual Symposium VLSI (ISVLSI'07). 2007. P. 351—356.
3. Афанасьев А.Н., Хородов В.С. Распределённое проектирование структурно-функциональных моделей, представленных на языке VHDL // Вестник Ульяновского государственного технического университета. 2014. № 2 (66). С. 41—45.
4. Мутовкина Н.Ю., Кузнецов В.Н., Ключин А.Ю., Палюх Б.В. Нечёткие методы согласованного управления в многоагентных системах // Вестник Тамбовского государственного технического университета. 2013. № 4. С. 740—750.
5. Афанасьев А.Н., Игонин А.Г. Применение нейросемантического подхода для анализа и синтеза функциональных моделей в системах проектирования // Вестник Ижевского государственного технического университета. 2007. № 1. С. 66—69.
6. Владимирцов А.В. Моделирование взаимодействия агентов в многоагентной системе с помощью цветных сетей Петри и нечеткой логики // Программные продукты и системы. 2014. № 1. С. 44—50.
7. Афанасьев А.Н. Методология графоаналитического подхода к анализу и контролю потоков работ в автоматизированном проектировании сложных компьютеризованных систем // Вестник Ульяновского государственного технического университета. 2011. № 3 (55). С. 48—52.