

ИНСТРУМЕНТАЛЬНАЯ СИСТЕМА МОДЕЛИРОВАНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ СХЕМ ЦИФРОВЫХ УСТРОЙСТВ СЕТЯМИ ПЕТРИ

А.А. Веселов

Кафедра «ЭВМ», Тверской государственный технический университет

*Представлена профессором С.В. Фроловым
и членом редколлегии профессором В.И. Коноваловым*

Ключевые слова и фразы: анализ; поведение объектов; сети Петри; статические и динамические режимы.

Аннотация: Предлагается система моделирования цифровой электронной аппаратуры DPN-расширением сетей Петри. Приводится структура этой системы и ее характеристики. Особо выделяется способность системы исследовать поведение моделируемых объектов, как в статических, так и динамических режимах функционирования.

Введение

Одной из важных задач, решаемых современными САПР цифровой электронной аппаратуры является анализ функциональных схем, выполняемый на этапе их функционально-логического проектирования. Решение этой задачи, как правило, осуществляется с помощью моделирования. Среди множества моделей, используемых для этой цели, особо выделяются сети Петри [1, 2]. К их отличительным достоинствам относятся простота, наглядность, возможность моделирования явлений параллелизма, гонок и состязаний сигналов, конфликтных ситуаций и т.д. Способность адаптироваться к особенностям конкретной предметной области и наличие хорошо развитых аналитических возможностей математического аппарата сетей Петри (СП) делает его использование особенно полезным в инструментальных средствах САПР.

Для моделирования средств цифровой и вычислительной техники в Тверском государственном техническом университете (ТГТУ) для моделирования средств цифровой и вычислительной техники было разработано специальное DPN-расширение СП. Практическая полезность этого расширения заключается в том, что при его разработке были приняты специальные меры для ослабления проблемы несоответствия между формальным представлением модели и дискретно-событийного объекта, впервые сформулированной Д.Е. Маллером в рамках теории "схем". Это позволило легко устанавливать взаимное соответствие между атрибутами объекта (сигналами на выводах цифровых функциональных элементов на схеме) и атрибутами его модели (позициями СП). Наличие такого соответствия позволяет "спрятать" от пользователя саму модель, а для ее отображения непосредственно использовать схемное изображение цифрового устройства на экране

монитора. Такой подход к отображению модели позволяет рассматривать схему не только как графическое изображение структуры объекта, а еще и как некоторое контекстно-чувствительное средство, с помощью которого пользователь может воздействовать на модель и наблюдать ответные реакции непосредственно на схемном изображении.

Кроме того, для расширения области применения аналитических методов СП, автором было разработано специальное средство для отображения пространства достижимых состояний в виде графа достижимости с переменной структурой (ГДПС). По сравнению с классической формой представления графа достижимости, ГДПС имеет значительно меньшие размеры и позволяет исследовать поведение моделируемых объектов, как в статических, так и динамических режимах их функционирования.

Для реализации описанных возможностей DPN-расширения СП, проверки работоспособности и исследования аналитических возможностей, предоставляемых ГДПС, была разработана система моделирования цифровых устройств, получившая условное название "DPN-tool".

DPN модель

Формально, представление DPN модели можно представить в виде набора из пяти множеств

$$DN = (P, T, F, D, M), \quad (1)$$

где P – множество позиций; T – множество переходов ($P \cap T = \emptyset$); $F = T \times P \rightarrow I = \{in, out, allow, forbid\}$ – множество связей (включая и ингибиторные) между элементами множеств T и P , где I -тип связи; $D = T \rightarrow \{delay\}$ – временные задержки на срабатывание переходов; $M = P \rightarrow \{0, 1\}$ – маркировка сети.

В DPN модели между ее позициями и переходами разрешается использовать четыре типа связей: *входные* ($I = in$) – графически отображаемые дугами в виде стрелок (\rightarrow), направленные из позиций в переходы; *выходные* ($I = out$) – изображаемые в виде стрелок с ингибитором со стороны перехода ($\bullet \rightarrow$) и направленные из перехода в позицию; *разрешающие* ($I = allow$) – в виде двунаправленных стрелок (\longleftrightarrow) между позициями и переходами; *запрещающие* ($I = forbid$) – в виде соединительной линии с ингибитором на конце ($\longrightarrow \bullet$), расположенном со стороны перехода.

Все связи в DPN модели условно делятся на две группы: активные связи (входные и выходные) и условные связи (разрешающие и запрещающие). На связи между переходами и позициями накладывается следующее ограничение

$$\forall t \in T : |in(t)| + |t^*| \leq 1, \quad (2)$$

означающее, что любой переход в DPN модели может иметь произвольное количество сопряженных с ним условных позиций и не более одной активной (входной или выходной) позиции. В процессе функционирования происходит изменение маркировки в позициях модели. Переход в DPN считается возбужденным, если во всех его разрешающих и входной позициях присутствует маркер, а в его запрещающих и выходной позициях маркер отсутствует

$$\forall p \in allow(t_i) \cup in(t_i): m(p) = 1 \wedge \forall p \in forbid(t_i) \cup out(t_i): m(p) = 0. \quad (3)$$

Каждый возбужденный переход может сработать. Однако, его срабатывание возможно только в том случае, если переход находится в возбужденном состоянии в течение времени, определяемом задержкой $\text{delay}(t_i)$ перехода t_i , и в момент срабатывания эти условия продолжают сохраняться.

Такая дискретно-событийная модель позволяет легко устанавливать соответствие между ее позициями и соответствующими физическими сигналами реальных объектов и легко встраивать ее в существующие системы автоматизированного функционально-логического проектирования для решения задач анализа проектных решений цифровых устройств автоматики и вычислительной техники.

Граф достижимости с переменной структурой

Преобладающее количество методов, связанных с анализом поведения моделируемых объектов и оценкой их работоспособности в целом связаны с необходимостью построения графа достижимых состояний (графа достижимости) и его последующей обработки. Однако, применение такого графа связано с возникновением проблемы сложности или "информационного взрыва", когда при линейном увеличении размера модели резко возрастает размер его соответствующих графов достижимости [3]. Для ослабления влияния этой проблемы и расширения области аналитических возможностей математического аппарата СП была разработана более эффективная форма отображения пространства достижимых состояний в виде ГДПС [4].

Основное отличие ГДПС по сравнению с классическим графом достижимости заключается в том, что, при наличии обычных ("безусловных") связей между его узлами, изображаемых в виде сплошных линий, введены, так называемые "условные" связи (изображаемые в виде пунктирных линий). Если обычная связь между узлами указывает на безусловный переход из одного состояния в другое, то условная связь указывает на необходимость выполнения некоторого условия, определяемого состоянием внешних сигналов, поступающих в объект из его внешнего окружения. Использование такого подхода к представлению пространства достижимых состояний позволило удалить информацию о состоянии входных сигналов из узлов графа, переместив ее в описатели условных дуг, и, тем самым, существенно снизить его размеры.

Инструментальная система моделирования "DPN-tool"

Для исследования свойств и особенностей предложенного DPN-расширения СП и оценки эффективности его применения в САПР, была разработана инструментальная система моделирования "DPN-tool". Ее разработка проводилась с учетом существующего опыта построения аналогичных систем. Программное обеспечение разработано на языке C++ с помощью инструментальной среды разработки приложений – Borland C++Builder 6.0. Система "DPN-tool" предназначена для функционирования в среде операционной системы MS Windows-95 и более старших версий и обеспечивает работу приложения в следующих основных режимах:

- 1) создание и редактирование DPN моделей;
- 2) преобразование (редукция) DPN моделей;
- 3) проведение имитационных экспериментов с моделями;
- 4) выполнение аналитических исследований, основанных на использовании

как классических графов достижимости, так и графов достижимости с переменной структурой.

Структура системы (рис. 1) состоит из основных и вспомогательных подсистем. Основные подсистемы обеспечивают работу приложения в соответствующих

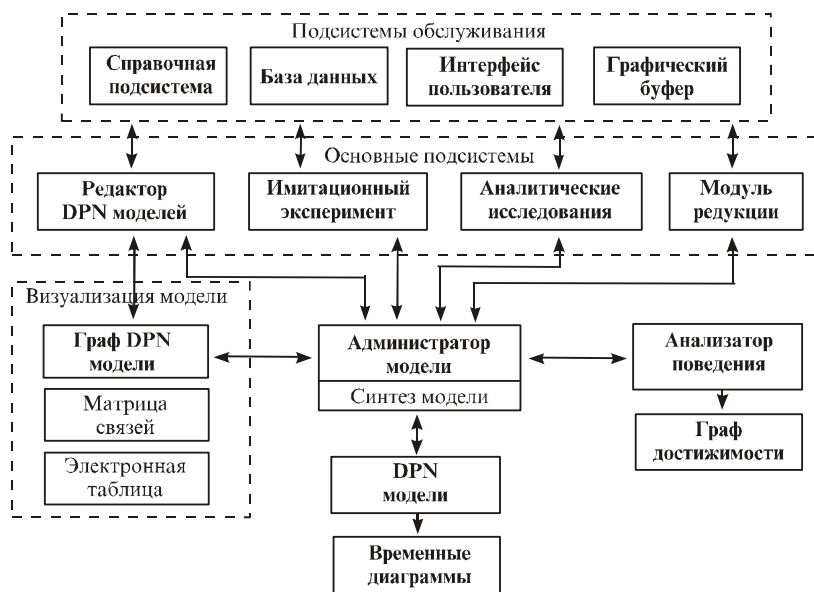


Рис. 1 Структура инструментальной системы моделирования "DPN-tool"

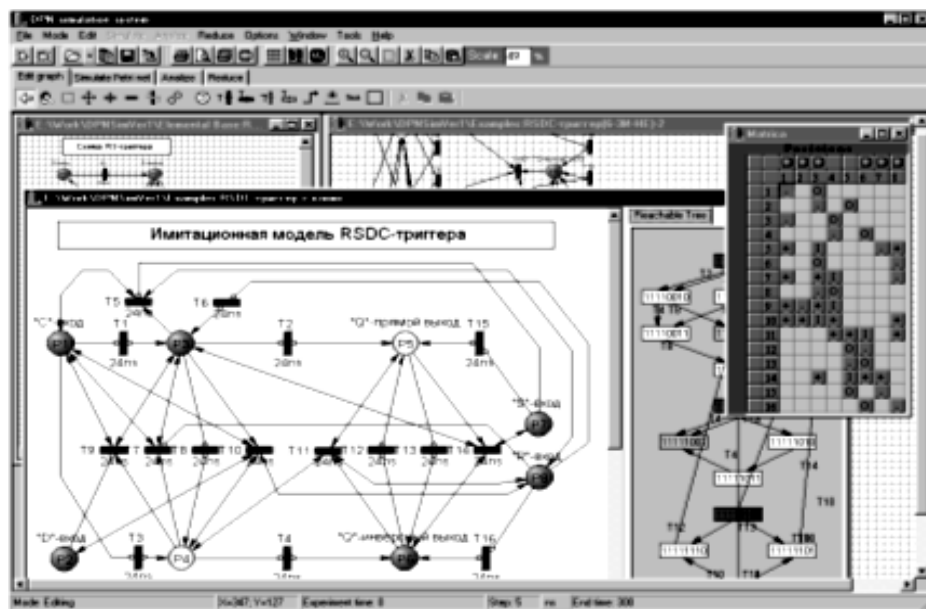


Рис. 2 Внешний вид главного окна приложения

режимах его функционирования. Задача вспомогательных подсистем заключается в предоставлении различных дополнительных (сервисных) возможностей для основных подсистем приложения, таких как хранение и воспроизведение моделей в базе данных, организация взаимодействия с пользователем, буферизация графических данных и предоставление информационно справочной информации. Функции управления работой DPN модели и согласования с различными формами ее отображения (в виде графа, матрицы инцидентов, временных диаграмм) и графом достижимости выполняются "Администратором модели".

Внешний вид главного окна приложения представлен на рис. 2. Приложение имеет простой и удобный в использовании графический многодокументный поль-

зовательский интерфейс. При выборе и реализации интерфейса особое внимание было уделено выполнению двух наиболее важных требований. Первое из них состоит в том, чтобы предоставить пользователю максимальные возможности, позволяющие простыми средствами создавать сетевые модели путем их конструирования в виде графов DPN модели. Второе требование заключается в максимальной автоматизации многочисленных рутинных функций, таких как манипуляции с графическим отображением (модификация, копирование, вставка и удаление различных фрагментов графа), формирование сетки в рабочем поле экрана, масштабирование изображений и т.д.

Опыт практической работы показал достаточно устойчивую работоспособность и надежность функционирования, как отдельных подсистем, так и системы "DPN-tool" в целом. Использование данной системы позволило провести всесторонние исследования поведенческих и структурных особенностей DPN-расширения СП, различных форм графа достижимости с переменной структурой и методов анализа поведенческих свойств объектов цифровой техники, основанных на использовании этих графов, в статических и динамических режимах их функционирования.

Список литературы

- 1 Веселов, А.А. Моделирование функциональных устройств цифровой схемотехники на основе расширения сетей Петри / А.А. Веселов // Приборы и Системы. Управление. Контроль. Диагностика. № 8, 2004. – С. 29 – 39.
- 2 Питтерсон, Дж. Теория сетей Петри и моделирование систем : пер. с англ. / Дж. Питтерсон. – М.: Мир, 1984. – 264 с.
- 3 Valmari, A. The State Explosion Problem, Lectures on Petri Nets I : Basic Models, Lectures Notes in Computer Science 1491, Springer-Verlag 1998. – Pp. 459 –528.
- 4 Веселов, А.А. Анализ поведения электронных цифровых устройств на основе графа достижимости с переменной структурой (Часть I) / А.А. Веселов // Приборы и Системы. Управление. Контроль. Диагностика. – № 9, 2004. – С. 19 – 25.

Instrumental System of Modeling Functional Schemes of Digital Devices by Petry's Nets

A.A. Veselov

Department "ECM", Tver State Technical University

Key words and phrases: analysis; objects behavior; Petry's nets; static and dynamic modes.

Abstract: The system of modeling digital electronic equipment DPN-extension of Petry's nets is proposed. The structure of this system and its features are given as well. The ability of the system to examine the behavior of modeled objects both in static and dynamic modes of operation is noted down.

Instrumentalsystem der Modellierung der Funktionalschemas der Digitalanlagen durch die Petri-Netze

Zusammenfassung: Es wird das System der Modellierung der Digitalelektronenapparatur durch die DPN-Verbreiterung der Petri-Netze vorgeschlagen. Es werden die Struktur dieses Systems und seine Charakteristiken angeführt. Besonders wird die Fähigkeit des Systems zur Untersuchung der Verhalten der modellierenden Objekten sowohl in statischen, als auch in dynamischen Funktionierungsregimen gekennzeichnet.

Système instrumental du modélage des schémas fonctionnels des dispositifs digitaux par les réseaux Petry

Résumé: Dans cet article est proposé le système instrumental du modélage de l'appareil électronique digital DPN-par l'élargissement des réseaux Petry. Est présentée la structure de ce système et ses caractéristiques. Est soulignée particulièrement la capacité du système d'étudier le comportement des objets modélés dans les régimes du fonctionnement statiques et dynamiques.
