



# OSTIS-2013

(Open Semantic Technologies for Intelligent Systems)

УДК 519.816

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРОДУКЦИОННО-ФРЕЙМОВОЙ МОДЕЛИ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ЗНАНИЙ В АВТОМАТИЗИРОВАННОМ ЛОГИЧЕСКОМ ПРОЕКТИРОВАНИИ ЗАКАЗНЫХ ЦИФРОВЫХ СБИС

Бибило П.Н., Романов В.И.

*Объединенный институт проблем информатики НАН Беларуси  
г. Минск, Республика Беларусь*

**bibilo@newman.bas-net.by**

**rom@newman.bas-net.by**

Описывается использование продукционно-фреймовой модели представления знаний в системе автоматизированного логического проектирования сложных функциональных блоков заказных цифровых СБИС. Основное внимание уделяется задачам оптимизации функционально-структурных описаний, синтеза и верификации иерархически организованных проектов. Комбинированные маршруты проектирования рассматриваются в виде стратегий, представляющих собой совокупность продуктов.

**Ключевые слова:** продукции; стратегии; фреймы; логические схемы; оптимизация; синтез; верификация.

### ВВЕДЕНИЕ

Увеличение степени интеграции сверхбольших интегральных схем (СБИС) и систем на кристаллах приводят к усложнению и соответствующих систем автоматизированного проектирования (САПР). Усложняется и центральный этап логического проектирования, на котором осуществляется переход от алгоритмических (поведенческих) и функциональных описаний к логическим схемам в соответствующих технологических библиотеках. В практике проектирования предлагается достаточно много способов как оптимизации функционального и структурных описаний, так технологического отображения (собственно синтеза) в той или иной библиотеке проектирования (базисе). Для выбора соответствующих способов и маршрутов автоматизированного проектирования в САПР предлагается использовать экспертные знания, это касается не только САПР электронных цифровых (дискретных) устройств [Паркер, 1987], но и САПР объектов машиностроения [Евгеньев, 2009]. Проведя анализ промышленных систем проектирования цифровых устройств, можно заключить, что областью знаний экспертов являются знания по организации маршрутов проектирования в зависимости от целей проектирования, технологического базиса и характеристик реализуемого проекта. Использование экспертных знаний может значительно повысить эффективность проектирования, однако для этого требуется

разработка соответствующих формализмов представления (описания) знаний [Рыбина, 2010] и средств использования таких описаний в процессе проектирования. В данной работе анализируется область логического проектирования цифровых схем, выясняется назначение и роль экспертных знаний, сообщается о формализме их описания в САПР.

### 1. Задачи логического проектирования для иерархических описаний проектов

Введение иерархии в описания проекта цифровой системы позволяет уменьшить сложность описания и увеличить размерность решаемых задач проектирования. *Задача синтеза* логической схемы: задано иерархическое описание и базис синтеза, требуется получить логическую схему, реализующую функции, заданные исходным описанием. Подходы к решению задачи синтеза зависят от глобальных направлений организации процесса синтеза и связаны с обработкой иерархии исходного описания и обработкой представлений листовых вершин в дереве иерархии проекта. Перечислим эти основные подходы к синтезу схем для иерархически организованных проектов.

1. Иерархия исходного описания не изменяется, синтез схемы ведется согласно иерархии.

2. Глобальный синтез схемы. Такой подход возможен для проектов меньшей размерности, так он предполагает устранение иерархии и получение проекта в виде одного листа.

3. Введение новой иерархии описания, которое можно осуществить двумя способами: разбиением больших блоков на более мелкие блоки либо укрупнением мелких блоков в более крупные.

4. Локальная модификация иерархии.

Данные подходы к изменению иерархии описания при решении задач синтеза логических схем могут быть применены и для решения других задач логического проектирования: анализа, верификации, моделирования и построения тестов. Например, чтобы решить задачу анализа, можно, различным образом изменяя иерархию описания, вычислять реализуемые схемой подфункции и их суперпозиции и получать функции, реализуемые схемой, зависящие только от входных переменных.

Для задач технологически-независимой оптимизации в литературе предложено большое число самых разнообразных методов [Закревский и др., 2007]. Среди них обычно выделяются методы оптимизации двухуровневых и многоуровневых представлений, а основным критерием оптимизации признан критерий минимальности числа литералов (переменных либо их инверсий) в алгебраических представлениях функций. Минимизация сложности логических описаний достигается за счет выделения одинаковых частей описаний и эффективного использования операций инверсирования.

Различные методы синтеза схем ориентируются на различные формы исходного представления функций. Наибольшее развитие в настоящее время получили методы, оперирующие с алгебраическими представлениями функций и предназначенные для синтеза схем в заданной библиотеке проектирования заказных СБИС и декомпозиционные методы [Sasao, 1996]. Известные в литературе [Darringer, 1984], [Uehara, 1985] экспертные системы логического проектирования ориентированы в основном на компилятивное проектирование на этапе технологического отображения. В таких системах логический вывод (возможность применения правил) связан с комбинаторным поиском по базе данных. Роль эксперта при создании таких систем сводится к оформлению правил замены одних подсхем другими.

## 2. Экспертные знания

Общий взгляд на задачи логического проектирования для иерархических проектов состоит в том, что при оптимизации, синтезе и верификации проектов могут изменяться гранулы (объемы) листовых описаний, вид деревьев иерархии описаний, способы обработки листовых описаний в зависимости от размерности проекта в целом, от размерностей листовых описаний и от уровня (функционального объема) гранул базисных элементов.

Принятие решений по выбору представлений и выбору уровней гранулярности листовых описаний, изменению дерева иерархии описания, т. е. методам

слияния и разбиения узлов и поддеревьев является областью действий проектировщика – пользователя САПР при работе с конкретным проектом. Проектировщик устанавливает параметры, требуемые для работы программных модулей, принимает решения по выбору технологического базиса для блоков проекта, выполняет проектные операции и процедуры оптимизации и декомпозиции проекта, анализирует данные, оценивает получаемые результаты. В результате действий проектировщика в конкретных ситуациях получается последовательность проектных операций и процедур, приводящая к реализации исходных спецификаций – превращению исходного описания в результирующую логическую схему. Знания проектировщика выражаются в способности принимать рациональные (эффективные) решения при управлении системой проектирования для достижения целей проектирования. При разработке САПР, содержащей средства интеллектуальной поддержки, предварительному анализу подвергается область действий проектировщика. Этот анализ опирается на понятие проектной ситуации, куда включаются цели проектирования, параметры используемых в САПР описаний объектов и базисов проектирования и параметры программных модулей.

## 3. Продукционно-фреймовая модель представления знаний

Для использования экспертных знаний требуется их формализация. В проблемной области логического проектирования предлагается использовать продукционно-фреймовую модель представления знаний. Фреймы [Минский, 1979] позволяют выделить «рамки» описания проектных ситуаций, продукции дают возможность определения последовательностей проектных действий. Понятие *продукции* формально определяется как запись

$$P^i : P^i \rightarrow B^i,$$

где  $P^i$  – условие применимости,  $B^i$  – заключение или действие, которое имеет место при истинности  $P^i$  [Кузнецов, 1989]. При записи условий применимости продукции используются не предикатные символы, а выражения, представляющие данные символы, условие применимости  $P^i$  представляет собой скобочное логическое *выражение*, в котором могут быть использованы три логические операции: конъюнкция, дизъюнкция и отрицание (инверсии) над символами логических переменных  $P_1^i, P_2^i, \dots,$

$P_q^i$ , являющихся предикатами. *Предикатом* называется логическая функция, которая при конкретных значениях своих аргументов превращается в высказывание со значением из множества {«истина», «ложь»}. Таким образом, левая часть продукции может принимать только

одно из двух значений – «ложь» либо «истина». Аргументами каждого из предикатов могут быть только однотипные атрибуты. Допустимые типы атрибутов: символьный, числовой, логический. Каждый предикат задается своим выражением. Тождественно истинный предикат задает безусловную продукцию. В качестве правых частей  $V^i$  продукций используются некоторые выполняемые проектные действия. Упорядоченные системы пронумерованных продукций понимаются как *стратегии*. Атрибуты задают набор существенных (с точки зрения организации процесса проектирования) свойств проектируемых объектов, технологических ограничений и целей проектирования. Совокупность задействованных в системе атрибутов определяет пространство признаков, необходимых для принятия проектных решений. Атрибуты представляются полным названием, сокращенным названием, типом и текущим значением. Полное название атрибута отражает его целевое назначение. Сокращенное название используется при записи определенных в системе продукций. Атрибуты могут быть трех типов: логический (*bool*), числовой (*integer*) и символьный (*text*). Атрибуты могут быть классифицированы как атрибуты описаний объектов проектирования и базисов проектирования, атрибуты программных модулей, вспомогательные атрибуты для управления выполнением продукций. Атрибуты группируются по слотам, которые, в свою очередь, включаются во фреймы. В результате такого группирования признаковое пространство предлагается описывать четырьмя фреймами: *Блок проекта* (описание иерархически организованных данных), *Параметры* (описание базисов проектирования и параметров), *System* (пути к директориям и имена системных файлов), *Work* (атрибуты для управления стратегиями).

#### 4. Использование модели представления знаний в САПР

На основе предложенной модели представления знаний в области логического проектирования реализованы две программные системы *ESS* и *FLC*. Система *ESS* (*Expert SubSystem*) – предназначена для подготовки и ведения базы знаний интеллектуальной САПР и может быть использована как в области логического проектирования цифровых схем, так и в других проблемных областях и является достаточно универсальным инструментальным комплексом ведения базы знаний (БЗ). В качестве объектов, хранящихся в БЗ, выступают описания: атрибутов, задающих существенные характеристики объектов и условий проведения проектирования; программных модулей, реализующих отдельные проектные операции и некоторые другие действия, связанные с организацией процесса проектирования; динамического меню, для которой разрабатывается БЗ; стратегий проектирования в виде наборов продукций, связывающих текущее

состояние процесса, задаваемое значениями атрибутов, с его дальнейшим развитием в виде исполнения тех или иных проектных действий; фреймов, состоящих из кортежей слотов, задающих группирование атрибутов, используемых для определения объектов проектирования, его целей, истории, технологических ограничений и т. д. Еще одним из объектов БЗ является динамическое меню как отдельный фрагмент меню САПР, использующей данную БЗ. Для описания меню используется структура данных в виде дерева, каждая из вершин которого связана с позицией меню, причем в роли листовой вершины может выступать либо программный модуль, либо стратегия. Продукция, размещаемая в БЗ, определяется общей схемой

«ЕСЛИ <условие>=TRUE, то выполнить  
<действие>»

и описывается при помощи множества вычисляемых предикатов и логической формулы условия, а также типом и именем объекта, указанного в правой части продукции и задающего действие, выполняемое системой.

Вторая система *FLC* (*Functional Logic Circuits*), предназначена для автоматизации логического проектирования заказных цифровых СБИС и обеспечивает возможность функционально-структурного описания объектов проектирования на языке высокого уровня; иерархического описания проектов функциональных блоков СБИС; использования набора специализированных проектных процедур на основе средств интеллектуальной поддержки принятия проектных решений; логической верификации проекта после выполнения любой из проектных процедур.

Оптимизация описаний проектов осуществляется на основе применения методов, реализующих различные базовые оптимизационные приемы – минимизацию функций в классе ДНФ, оптимизацию многоуровневых представлений систем функций на основе декомпозиции и разложения Шеннона и т. д. В системе *FLC* реализован производственный подход для управления последовательностями проектных процедур, предназначенных для их использования на этапе логического проектирования сложных функциональных блоков заказных цифровых СБИС.

*Экспертными знаниями* в системе *FLC* являются последовательности продукций (стратегии), вместе с правилами их компьютерной реализации.

В рамках блока «Оболочка САПР» системы *FLC* сосредоточены все возможности по управлению протекающими в САПР процессами. Блок «Интерфейс пользователя» представляет собой часть оболочки, связанную с организацией человеко-машинного интерфейса данной программной системы.

Проект представляется древовидной структурой, вершины которой соответствуют объектам

проектирования. Собственно процесс проектирования заключается в выборе текущего объекта и проведении над ним некоторого преобразования. Набор возможных преобразований определяется набором включенных в систему программных модулей, реализующих проектные операции. Изменение текущей проектной ситуации, описываемой при помощи атрибутов, связано либо с выбором нового текущего объекта, либо с реализацией выбранной проектной операции над текущим объектом. Каждый проект содержит описание схемы, представленной в виде иерархии объектов проектирования. Это внешнее представление в терминах, которыми оперирует проектировщик в процессе работы. Вместе с тем существует еще и внутреннее представление проекта, отдельные компоненты которого демонстрируются на экране во время сеанса проектирования. В частности, к ним относятся:

- дерево подчиненности объектов проектирования (подсхем), один из которых выделяется цветом и является текущим объектом, над которым будет реализовываться очередная проектная операция;

- множество характеристик (атрибутов) текущего объекта проектирования, существенных с точки зрения проводимого процесса;

- набор параметров текущего объекта проектирования, например множество имен входов и выходов, формат представления и др.;

- описание связей, представленное в текущем объекте, либо его функциональное описание.

Вместе с описанием схемы в проекте представлена некоторая дополнительная информация о текущей конфигурации системы и истории выполненных ранее шагов проектирования. Каждому шагу проектирования соответствует отдельное состояние проекта, автоматически запоминаемое системой в хранилище проектов. Таким способом обеспечивается поддержка сохранения истории проектирования.

Блок «Конвертеры форматов» сосредоточивает в себе средства преобразования способа описания объектов проектирования с целью обеспечения совместимости с внешними программными средствами из той же проблемной области, например системой синтеза *LeonardoSpectrum*, системой моделирования *ModelSim* [Перельройзен, 2004]. С точки зрения главного процесса – проектирования цифровых схем – основным блоком САПР является блок «Проектные операции». Следует особо отметить, что все подчиненные блоки системы *FLC*: «Интерфейс пользователя», «Конвертеры форматов» и «Проектные операции» – не являются жестко определенными и могут менять как свой состав, так и внутреннюю организацию.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложенная модель представления знаний позволяет разрабатывать сложные

комбинированные маршруты оптимизации, синтеза, и верификации логических схем, записываемые в виде иерархически организованных стратегий. Экспериментальные исследования подтвердили высокую эффективность совместного использования *FLC* и промышленных систем проектирования цифровых схем. Одним из направлений дальнейшего развития системы *FLC* является разработка подсистемы накопления статистических данных и средств соответствующей статистической обработки для проведения экспериментов с целью выбора лучших маршрутов проектирования и реализации их в промышленных САПР.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

[Евгенов, 2009] Евгенов, Г.Б. Интеллектуальные системы проектирования: учеб. пособие / Г.Б. Евгенов. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2009. – 334 с.

[Закревский и др., 2007] Закревский, А.Д. Логические основы проектирования дискретных устройств. / А.Д. Закревский, Ю.В. Поттосин, Л.Д. Черемисинова // М.: Физматлит, 2007. – 589 с.

[Кузнецов, 1989] Кузнецов В.Е. Представление в ЭВМ неформальных процедур: производственные системы // М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1989. – 160 с.

[Минский, 1979] Минский, М. Фреймы и представления знаний. / М. Минский // М.: Энергия, 1979. – 151 с.

[Паркер, 1987] Паркер, Э.С. Использование экспертных систем и кремниевой компиляции для автоматизации процесса проектирования СБИС / Э.С. Паркер, С. Хайяти // ТИИЭР. – 1987, Т. 75, № 6, С. 43–45.

[Перельройзен, 2004] Перельройзен, Е.З. Проектируем на VHDL / Е.З. Перельройзен // М.: СОЛОН-Пресс, 2004. – 448 с.

[Рыбина, 2010] Рыбина, Г.В. Основы построения интеллектуальных систем: учеб. пособие / Г.В. Рыбина // М.: Финансы и статистика; ИНФРА-М, 2010. – 432 с.

[Darringer, 1984] Darringer, J.A. LSS: A System for Production Logic Synthesis / J.A. Darringer // IBM J. Res. and Developm. – 1984, V. 28, № 5, P. 537–545.

[Sasao, 1996] Sasao, T. FPGA design by generalized functional decomposition / T. Sasao // Representations of discrete functions / ed. by Sasao T., Fujita M. – Norwell: Kluwer Academic Publishers, 1996. – P. 233–258.

[Uehara, 1985] Uehara, T. A knowledge-based logic design system / T. Uehara // IEEE Design and Test Comput. – 1985, V. 2, № 5, P. 27–34.

## APPLICATION OF THE PRODUCTION RULE MODEL FOR KNOWLEDGE REPRESENTATION IN AUTOMATION LOGICAL DESIGN OF CUSTOM DIGITAL VLSI

Bibilo P.N., Romanov V.I.

United Institute of Informatics Problems  
of NAS of Belarus, Minsk, Belarus

[bibilo@newman.bas-net.by](mailto:bibilo@newman.bas-net.by)

[rom@newman.bas-net.by](mailto:rom@newman.bas-net.by)

Application of the production rule system for knowledge representation in logical design system of complex functional blocks of custom digital VLSI is described. We focus to solve tasks of optimization of is functional-structural descriptions, synthesis and verification of hierarchically organized projects. The combined routes of design are considered in the form of strategies which represented as the set of products.