



УДК 004.938:004.8.032.28

ПОДХОДЫ ПО ВЫБОРУ ПЛИС ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ ДЛЯ ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ

С.М. ЧУДИНОВ¹
С.Н. МАЛИКОВ¹
И.В. ЗУЕВ²

¹⁾ *ОАО «НИИ Супер-ЭВМ»*

²⁾ *ОАО Научно-исследовательский институт вычислительных комплексов им. М.А. Карцева*

e-mail:
chud35@yandex.ru
i.zuev@mchs.gov.ru

Статья посвящена разработке оптимального метода выбора ПЛИС при проектировании вычислительных устройств. Описываются подходы по модели выбора вариантов реализации вычислительных устройств на основе унифицированных электронных модулей построенных с использованием ПЛИС.

Ключевые слова: ПЛИС, параметры в форме таблиц, унифицированные электронные модули, формирование множества допустимых вариантов реализации.

В настоящее время одним из активно развивающихся в России научно-технических направлений является разработка вычислительных устройств с использованием программируемых логических интегральных схем (ПЛИС) для решения задач цифровой локации в реальном масштабе времени.

ПЛИС является весьма распространенной и привычной элементной базой для разработчиков цифровых вычислительных устройств. Особенно актуальным является применение ПЛИС при создании новых изделий в странах, где отсутствует необходимый для этого уровень интегральной технологии, так как разработчикам с помощью ПЛИС представляется единственный путь проверки своих новых идей и инженерно-технических решений. Учитывая имеющиеся на настоящий момент времени параметры ПЛИС и высокие темпы развития технологии их создания, ПЛИС различных фирм-производителей стали использовать и в серийных изделиях, тем более что эти фирмы предоставляют разработчикам для проектирования на ПЛИС необходимое программное обеспечение. Особенно привлекает в ПЛИС их замечательное свойство – возможность настройки на решение определенных классов задач с целью оптимизации их конкретных параметров, в нашем случае построение вычислительных устройств цифровой локации в реальном масштабе времени.

По сравнению с дискретными логическими схемами ПЛИС как элементная база для построения вычислительных устройств имеет ряд преимуществ, главные из которых следующие:

- простота внесения изменений в логическую схему и возможность модификации проектов (реконфигурации устройств) для их настройки на класс решаемых задач;
- меньшее по сравнению с системами на элементах малой и средней интеграции излучение ВЧ-помех в окружающее пространство;
- разнообразие в выборе напряжений питания и параметров сигналов ввода/вывода, а также режимов снижения мощности, что особенно важно для портативной аппаратуры с автономным питанием;
- наличие разнообразных эффективных программных средств автоматизированного проектирования, малое время проектирования и отладки проектов, а также выхода продукции на рынок;
- разнообразие конструктивного исполнения, поскольку обычно одни и те же кристаллы поставляются в разных корпусах, а разные – в одинаковых;
- постоянная тенденция снижения стоимости, обусловленная массовым производством и высоким процентом выхода годных микросхем вследствие их достаточно регулярной структуры;



На базе программируемых логических интегральных схем (ПЛИС) реализуются различные системы обработки информации. Рассмотрим основные подходы при выборе ПЛИС для реализации проектов. Как известно, при выборе элементной базы используются следующие критерии отбора: быстродействие; логическая емкость, достаточная для реализации алгоритма; схемотехнические и конструктивные параметры ПЛИС; надежность, рабочий диапазон температур, стойкость к ионизирующим излучениям; стоимость средств разработки, включая стоимость САПР, отладочных плат, программатора ПЛИС и конфигурационных ПЗУ и стоимость микросхем; наличие методической и технической поддержки; наличие и надежность российских поставщиков. Рассмотрим с этих позиций продукцию ведущих мировых производителей ПЛИС, у которых существуют представительства России. Примером может служить подход к выбору семейства ПЛИС, составляющего основу устройства для решения задач цифровой локации в реальном масштабе времени. На момент выбора на отечественном рынке были доступны ПЛИС последнего поколения фирмы XILINX серии Virtex6 и ПЛИС фирмы ALTERA серии STRATIX IV GX с наиболее подходящими характеристиками для решения поставленных задач для проектируемого устройства. (Табл. 1, 2)

Цифровая локация (ЦОС) включает задачи цифровой регистрации и обработки данных для решения задач определения положения, границ, формы и структуры объектов различной природы в различных областях науки и техники. Решение указанных задач связано с решением задач принятия решения по обнаружению, селекции, опознаванию и классификации объектов по совокупности признаков, сформированных в процессе локации. Устройства такого типа эффективно используются при внедрении новейших методов обработки изображений, при переходе на технологию высокого и сверхвысокого разрешения, т.е. путем реализации современных модификаций алгоритмов ЦОС на ПЛИС.

Другая область использования устройств с применением ПЛИС-построение сетевых маршрутизаторов на ПЛИС.

Таблица 1

Сравнительные характеристики ПЛИС серии Virtex

Тип ресурсов ПЛИС	Тип кристалла			
	Virtex-4 4VFX140	Virtex-5 XC5VFX200T	Virtex-6 XC6VHX565T	Virtex-7 XC7V2000T
Количество секций (Slices)	-	30 720	88 560	305 400
Общее число триггеров CLB	-	122 880	708 480	2 443 200
Число логических ячеек (Logic cells)	142 128	196 608	566 784	1 954 560
Объем распределенной памяти (1К = 1024 бит)	987К	2280 К	6360К	21 550К
Количество модулей блочной памяти Block RAM емкостью 36 Кбит. по 18 Кбит каждый	552	456	912	1292
Объем блочной памяти Block RAM (1К = 1024 бит)	9 936К	16 416 К	32832К	46 512К
Количество блоков управления синхронизацией (Clock Management Tiles, CMT)	20	12	9	24
Число модулей управления синхронизацией (Mixed-Mode Clock Managers MMCM)	-	6	18	24
Число аппаратных секций DSP48E1 микропроцессорных блоков PowerPC 440 PowerPC 405	2	384	864	2160
Число аппаратных модулей PCI Express	-	4	4	4
Количество аппаратных блоков 10\100\1000 Мбит\с Ethernet MAC	4	8	4	1
Число высокоскоростных последовательных приемопередатчиков RocketIO GTX	-	24	48	36
Количество аналого-цифровых блоков XADC	-	-	-	1
Количество банков ввода\вывода	448	27	18	-
Максимальное число пользовательских выводов	960	960	720	1200
Максимальное число дифференциальных пар выводов	896	480	360	576
Объем конфигурационной памяти, Мбит	50,900	70,9	153,2	419,1
Максимальное число модулей: DSP,	192	-	-	-
DCM,	20	-	-	-
PMCD	8	-	-	-



Одним из распространенных способов выбора ПЛИС является использование возможности САПР выполнять автоматический выбор кристалла, необходимого для реализации проекта. При таком способе выбора критериями являются только логический объем кристалла и количество программируемых пользователем выводов, остальные факторы не учитываются.

Существует также тенденция, при которой разработчик выбирает передовую микросхему из серии в рамках предпочитаемого им семейства. Такой выбор является оптимальным, т.е. маловероятно, что разработчик будет использовать все возможности кристалла.

На предприятиях, занимающихся проектированием вычислительных устройств на ПЛИС, приемлемым является комбинированный метод выбора, состоящий в следующем:

- Выбор фирмы-производителя по наличию и надежности российских поставщиков, цене программного обеспечения, предпочтению разработчика;
 - Выбор семейства ПЛИС по параметрам;
 - Проектирование структуры устройства в выбранном программном обеспечении.
- С помощью функции автоматического определения необходимой микросхемы в САПР производится построение списка допустимых ПЛИС в рамках выбранного семейства;
- Подбор кристалла из списка, основываясь на собственном предпочтении.

Из обзора практических способов выбора можно сделать вывод, что сегодня не существует оптимального метода принятия решения по выбору ПЛИС. Объективный выбор строится в виде математической модели, учитывающей параметры ПЛИС и сигналов, а так же модели выбора вариантов реализации вычислительных устройств на основе ПЛИС и унифицированных электронных модулей.

На основе анализа ряда методов многокритериальной оптимизации может быть сформирована формализованная схема модели выбора (рис. 1).

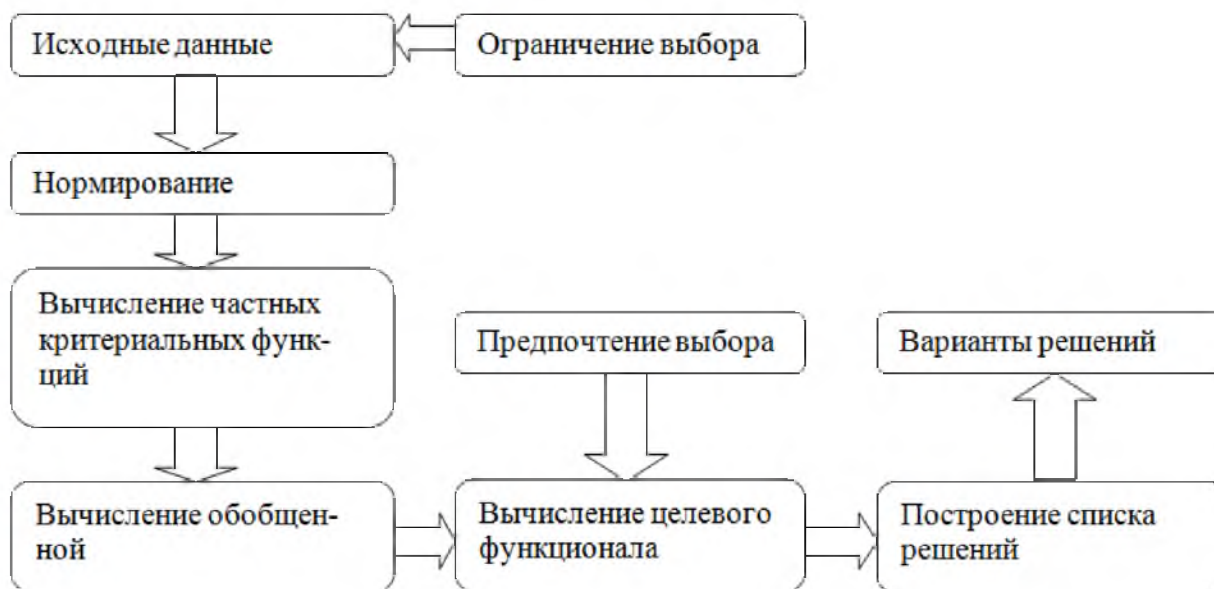


Рис. 1. Обобщенная схема выбора

Последовательность действий, которая реализуется в предлагаемом методе объективного выбора ПЛИС, освещена в материалах статьи [1], сформулирован подход по созданию и заполнению базы данных математических моделей с частными критериями эффективности функционирования, учитывающей параметры сигналов и корректировка аналитической модели на основе ПЛИС и унифицированных электронных модулей.

На выбор ПЛИС большое значение имеет правильный подход по вариантам реализации вычислительных устройств на основе унифицированных электронных модулей [2, 3, 4].



Как известно, мощнейшим средством сокращения сроков проектирования, удешевления общей стоимости вычислителя и расширение возможностей его модернизации является использование унифицированных электронных модулей. Дополнительная экономия средств может быть достигнута при повторном использовании унифицированных электронных модулей в других вычислительных устройствах. [2]

Дальнейшее изложение ориентируется на поиск оптимального варианта реализации специализированного вычислительного устройства для заданного набора технико-экономических показателей. Для определённости будем считать, что вычислительное устройство имеет модульную структуру, и может быть поставлена задача унификации модулей вычислительного устройства. Решение задачи унификации модулей в первую очередь связано с разработкой унифицированного конструктива, унифицированных систем электропитания, управления и обмена данными. В указанной постановке задачи возникают явные аналогии с оптимизацией построения инфотелекоммуникационных систем.

Достижение качественно новых показателей создаваемого вычислительного устройства возможно только на основе всестороннего анализа всей совокупности комбинаций технических решений, в частности, использования новейших компонентов РЭА. Вероятность нахождения «прорывных» решений возрастает вместе с возрастанием числа новых не рассмотренных ранее комбинаций, что предполагает разработку иерархической структуры показателей качества рассматриваемых технических решений, позволяющих в зависимости от ситуации реализовать как быстрое интегральное, так и многокритериальное сравнение вариантов реализации вычислительного устройства. Как известно, подобные задачи формирования и выбора вариантов реализации сложных систем, относятся к слабо структурированным проблемам. При решении таких задач исследователю в основном доступна информация качественного и интервального характера.

Классический алгоритм морфологического анализа, предложенный Фрицом Цвикки, предполагает непредвзятый перебор всех возможных вариантов решения задачи. В нашем случае указанный перебор сопровождается проверкой совместимости оборудования, поиском возможности унификации и формированием оценок технико-экономических показателей варианта технического решения.

С точки зрения системного анализа мы можем рассматривать специализированную вычислительную систему как совокупность подсистем, состоящих из одного или нескольких унифицированных модулей, и реализующих за счёт выполнения подсистемами своих функциональных задач, а также использования конечного числа связей между подсистемами выполнение задач вычислительной системы. Количество вариантов распределения конечного числа функциональных задач на конечном множестве подсистем конечно.

Формализуем задачу выбора из сформированного структурного множества допустимых вариантов. Пусть подсистемы $Q_i (i = 1, 2, \dots, m)$ являются результатом функциональной декомпозиции вычислительной системы $Q = \bigcup_{i=1}^m Q_i$ в соответствии с заданным набором задач. В свою очередь, каждая i -я подсистема может иметь вариантов реализации: $Q_{ij} (i = 1, 2, \dots, m, j = 1, 2, \dots, n_i)$

Совокупность указанных данных по каждой подсистеме может быть представлена в виде морфологической таблицы. Морфологические таблицы являются эффективным средством представления знаний о системе. Они позволяют систематизировать достаточно большой объем знаний о морфологии вычислительной системы в компактном виде. Разработка морфологической таблицы дает возможность формализовать процесс упорядочивания множества заключенных в ней вариантов систем. Качество составления морфологической матрицы таблицы во многом определяет конечный результат поиска искомого решения проблемы. Разработка морфологических таблиц связана с первым шагом метода морфологического исследования — морфологическим анализом.



Общее число всевозможных вариантов N , образующих морфологическое множество, определяется как декартово произведение множеств альтернатив

$$N = \prod_{i=1}^m n_i$$

Правила генерации вариантов исследуемых систем таково, что каждый целостный вариант отличается от любого другого варианта рассматриваемого морфологического множества хотя бы одной альтернативой.

При формировании множества допустимых вариантов вычислительной системы должны учитываться ограничения на структуру, параметры и техническую реализацию компонентов и системы в целом, а также допустимые комбинации соединения компонентов и ограничения на значение показателей качества системы. Предварительные работы по унификации подсистем позволяют изначально отбросить несовместимые варианты.

Здесь существуют противоречивые требования. С одной стороны, желательно с максимальной полнотой представить все варианты системы. С другой стороны, существуют ограничения, определяемые допустимыми затратами (времени и средств) на проектируемые системы.

После задания указанным способом множества допустимых вариантов системы, определяемых вполне конкретной структурой (набором компонентов системы и связей между ними), целесообразно с помощью экспертных методов оценить значения показателей качества и одним из известных способов выделить множество Парето-оптимальных вариантов, а также в последующем выполнить сужение множества до единственного наиболее предпочтительного варианта системы. Сравнение эффективности вариантов, как это принято при решении задач системного анализа, осуществляют по интегральному показателю эффективности – скалярной целевой функции, сформированной по взвешенной совокупности оценок заданных показателей

s_k [2, 3]: $S = \sum_k \alpha_k s_k$, где α_k – весовые коэффициенты заданные экспертами.

На рисунке 2 даны примеры графической интерпретации данных морфологического анализа для $K = 5$. Диаграмма 1 отражает представление нормированных технических требований к вычислительной системе. Значения весовых коэффициентов отражены в ширине столбцов диаграммы. Допустимые варианты реализации вычислительной системы, технические характеристики которых равны или превышают заданные технические требования представлены на диаграммах 2 и 3.

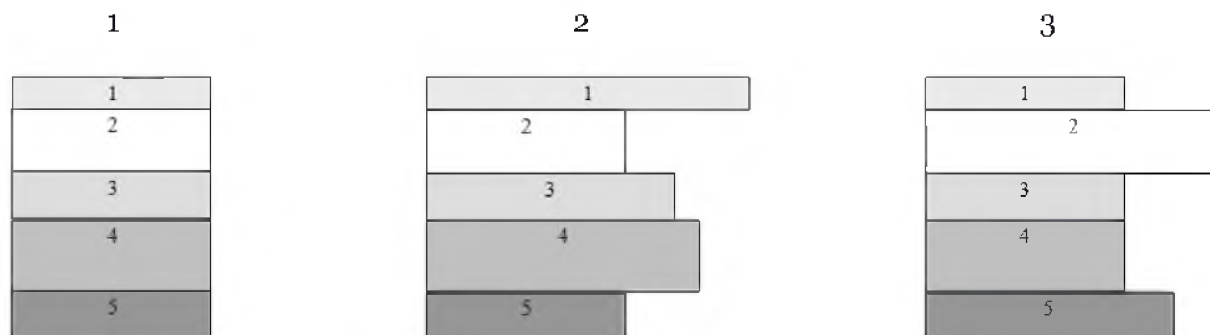


Рис. 2. Диаграммы взвешенного формирования целевой функции

Указанный подход позволяет выделить Парето-оптимальные варианты реализации с близкими значениями на множестве допустимых вариантов. Технико-экономические показатели, которые не вошли в заданный набор, формирующий целевую функцию, могут рассматриваться как опциональные предпочтения, что позволяет реализовать однозначный выбор среди Парето-оптимальных вариантов.



Перед макетированием вычислительной системы целесообразно воспользоваться информацией о возможных вычислительных затратах и потоках данных между модулями для имитационного моделирования процесса вычислений в предельных ситуациях, что позволит убедиться в правильности принятого решения.

Выводы

Представленные аналитические материалы по выбору ПЛИС при проектировании вычислительных устройств для обработки информации. Показано, что использование унифицированных модулей для построения вычислительной системы в целом снимает проблему несовместимости и переводит задачу в плоскость поиска оптимального варианта реализации специализированной вычислительной системы.

Список литературы

1. Турыгин И.Г., Кручинина М.В., Литвинская О.С. Многокритериальный выбор программируемых логических интегральных схем при проектировании специализированных устройств. Вопросы радиоэлектроники. Серия СОИУ. Выпуск 4. 2012 г. 145-156 с.
2. Маликов С.Н., Ройко Г.А., Чудинов С.М. Модели выбора вариантов реализации вычислительных устройств на основе унифицированных электронных модулей. Вопросы радиоэлектроники. Серия ЭВТ. Выпуск 2. 2013 г. 167-171 с.
3. Маликов С.Н., Чудинов С.М., Омерова Л.У. УЭМ – универсальный инструмент интеграции высокоуровневых ресурсов для решения научных и инженерных задач. Вопросы радиоэлектроники. Серия ЭВТ. Выпуск 1. 2014 г. 18-30 с.
4. Чудинов С.М., Томакова Р.А., Зуев И.В. Применение устройств fpga-технологии в автоматизированных системах для сегментации сложноструктурируемых изображений. Научные ведомости. №22 (165) Выпуск 28/1. 2014 г. 129-134 с.

APPROACHES FOR CHOICE IN DESIGN FPGA VYCHESLITELNYH INFORMATION PROCESSING APPARATUS

S.M. CHUDINOV¹

S.N. MALIKOV¹

I.V. ZUEV²

¹⁾ OJSC "NII Super-EVM"

²⁾ Moscow Research Institute of VC

e-mail:

chud35@yandex.ru

i.zuev@mchs.gov.ru

Article is devoted to the development of an optimal method of choice when designing FPGA computing devices. Describes approaches to the selection model embodiments computing devices based on unified electronic modules built using FPGA.

Keywords: FPGA, the parameters in the form of tables, unified electronic modules, forming a plurality of valid choices.