

МНОГОКРИТЕРИАЛЬНЫЙ ВЫБОР ПРОГРАММИРУЕМЫХ ЛОГИЧЕСКИХ ИНТЕГРАЛЬНЫХ СХЕМ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ УСТРОЙСТВ ОБРАБОТКИ ЦИФРОВОЙ ИНФОРМАЦИИ

Литвинская О.С., Турыгин И.Г.

В работе предложена схема и этапы процесса принятия решения по выбору программируемых логических интегральных схем (ПЛИС). Представлена математическая модель метода принятия решения на основе целевого функционала: сформировано множество альтернативных вариантов решения, сформировано множество критериев оценки альтернатив, получены оценки альтернатив по критериям, получены рекомендации по выбору лучшей альтернативы.

Ключевые слова: программируемые логические интегральные схемы (ПЛИС), параметры, целевой функционал, принятие решения, оптимальный выбор.

Введение. Постановка задачи

В настоящее время одним из активно развивающихся в России направлений разработок является аппаратура для телекоммуникаций. Несмотря на то что крупнейшие операторы коммуникаций в нашей стране используют в основном готовое зарубежное оборудование, открытыми остаются вопросы о сопряжении его с существующими отечественными каналами связи, а также о реализации дополнительных функций, необходимых потребителю. На базе ПЛИС реализуются коммутаторы, системы защиты информации и т.п. Немаловажно, что специальная связь реализуется только на отечественном оборудовании, при разработке которого в последние годы широко используется импортная элементная база, в том числе ПЛИС [1].

Из обзора практических способов выбора можно сделать вывод, что на текущий момент времени не существует оптимального метода принятия решения по выбору ПЛИС [2]. Любой выбор связан с процессом обработки информации об альтернативах, о критериях, о возможных исходах, о системах предпочтений и способах отображения множества допустимых альтернатив во множество критериальных оценок возможных исходов. Задача выбора при проектировании специализированных цифровых устройств обработки информации сводится к адекватному математическому описанию.

В этом случае детерминированное отображение множества альтернатив во множество крите-

риальных оценок осуществляется посредством сравнительной оценки. Сравнительная оценка предполагает наличие оптимизации векторного целевого функционала, которая позволяет выразить параметры сигналов и ПЛИС в виде числовых зависимостей. В работе предполагается привести ряд решений, которые позволили бы количественно оценить параметры обрабатываемого сигнала и реализуемого алгоритма, а на основе этих оценок разработать целевую функцию.

Многокритериальный метод выбора ПЛИС

Анализ существующих методов принятия решений показал, что если объединить ряд подходов прикладной теории принятия решений, различающиеся способом представления и обработки знаний и количественных методов прогнозирования, базирующиеся на оценках экспертов, то получим новый подход к принятию решения, основанный на объединении параметров различных условий [2, 3]. Новый подход основывается на отношениях порядка среди альтернатив (классическая модель принятия решений, в которой каждой альтернативе ставится в соответствие некоторое число) и на отношениях включения (поведенческая модель, основанная на принадлежности альтернатив к некоторому множеству).

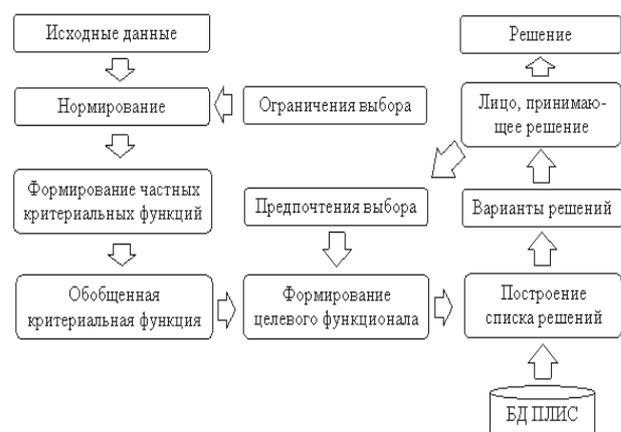


Рис. 1. Обобщенная схема выбора

Схема выбора, объединяющая параметры ПЛИС и параметры обрабатываемого сигнала в единый целевой функционал, представлена на

рис. 1. Последовательность действий, которая реализуется в предлагаемом методе объективного выбора ПЛИС, состоит в следующем.

1. Определение исходных данных: определение параметров ПЛИС и сигналов $w_i = \{w_1, w_2, \dots, w_n\}$; определение максимальных значений множества параметров $\gamma_i = \{\gamma_1, \gamma_2, \dots, \gamma_n\}$. Множество исходных параметров предлагается разделить на две группы: параметры ПЛИС и параметры сигналов. При проектировании устройства для телекоммуникаций или обработки изображений задачи ПЛИС сводятся к обработке цифровых сигналов, в связи с чем к параметрам ПЛИС отнесем следующие: C_{MAX} – максимальная цена микросхемы; N_{LE} – число эквивалентных логических элементов, показатель логической емкости микросхемы; N_{MC} – число эквивалентных макроячеек; N_M – число встроенных умножителей; N_{SP} – число встроенных сигнальных процессоров; T_{PD} , нс – максимальное время задержки сигнала; F_{MAX} , МГц – максимальная тактовая частота; N_{PC} – максимальное число встроенных микропроцессорных ядер; $N_{IO,MIN}$ – минимальное число программируемых пользователем вводов/выводов; $N_{PCIO,MIN}$ – минимальное число выводов встроенной микропроцессорной системы.

К параметрам сигнала отнесем $F_{S,MAX}$, МГц – максимальную частоту сигнала; N_{PS} – число измеряемых параметров сигналов.

2. Формирование ограничения выбора: формальное описание взаимосвязи параметров ПЛИС и сигнала на ограничение выбора ПЛИС при проектировании устройств обработки цифровой информации сводится к двум выражениям: условию однозначного детектирования сигнала, вытекающему из теоремы Котельникова [4]:

$$F_{S,MAX} \leq F_{MAX} / 2, \quad (1)$$

и условию совместимости числа обрабатываемых сигналов с числом линий ввода-вывода:

$$N_{PS} \leq N_{IO,MIN} + N_{PCIO,MIN}. \quad (2)$$

3. Нормирование параметров w_i осуществляется по их максимальным значениям, при этом получается множество безразмерных коэффициентов параметров $K_i = w_i / \gamma_i$:

$$K_i = \left\{ \begin{array}{l} K_{MAX}^C, K_{LE}^N, K_{MC}^N, K_M^N, K_{SP}^N, K_{PD}^T, \\ K_{MAX}^F, K_{PC}^N, K_{IO,MIN}^N, K_{PCIO,MIN}^N \end{array} \right\}. \quad (3)$$

4. Формирование частных критериальных функций математической модели $y_i^{(M)}(K_i)$: при

наличии существенно разнородных коэффициентов бывает сложно указать их приоритет, поэтому в работе выделяются существенные коэффициенты параметров – K_i^S . Применительно к группе параметров ПЛИС существенным является K_{MAX}^C – коэффициент цены микросхемы.

Некоторые из указанных коэффициентов можно объединить в выражения, позволяющие количественно оценить вычислительную мощность микросхемы. В таких выражениях будем использовать последовательность Фибоначчи – более значимые коэффициенты будут умножаться на числа с большим индексом в последовательности Фибоначчи [5]. Значимость коэффициентов K_i определяется экспертом, являющимся специалистом в данной предметной области.

Последовательность Фибоначчи строится следующим образом [6]:

$$\begin{aligned} f_{FIB}(1) &= 1; f_{FIB}(2) = 1; \\ f_{FIB}(n) &= f_{FIB}(n-1) + f_{FIB}(n-2), \end{aligned}$$

где $f_{FIB}(i)$ – элементы последовательности, $i = 1..n$. Одним из свойств последовательности Фибоначчи является:

$$\sum_{i=1}^n f_{FIB}(i) = f_{FIB}(n+2) - 1. \quad (4)$$

Общий вид выражения для количественной оценки вычислительной мощности микросхемы, основанного на свойстве последовательности Фибоначчи (4), представим в виде:

$$y_i^{(M)} = \frac{\sum_{i=1}^n f_{FIB}(i) \cdot K_i}{f_{FIB}(n+2) - 1}. \quad (5)$$

Частными критериальными функциями $y_i^{(M)}(K_i)$ могут быть:

– выражение, включающее коэффициенты, которые определяют параметры ПЛИС архитектуры SoC:

$$y_1^{(M)} = \frac{\left(\begin{array}{l} 8K_{LE}^N + 5K_{PC}^N + 3K_{MAX}^F + \\ + 2(1 - K_{PD}^T) + K_{PCIO,MIN}^N + \\ + K_{IO,MIN}^N \end{array} \right)}{20}; \quad (6)$$

– выражение, включающее коэффициенты, которые определяют параметры ПЛИС архитектуры CPLD:

$$y_2^{(M)} = \frac{2K_{MC}^N + K_{MAX}^F + K_{IO,MIN}^N}{4}; \quad (7)$$

– выражение, включающее коэффициенты, которые определяют параметры ПЛИС комбинированной архитектуры PLD:

$$y_3^{(M)} = \frac{3K_{LE}^N + 2K_{MC}^N + K_{MAX}^F + K_{IO,MIN}^N}{7}; \quad (8)$$

– выражение, включающее коэффициенты, которые определяют параметры ПЛИС архитектуры FPGA:

$$y_4^{(M)} = \frac{2K_{LE}^N + K_{MAX}^F + K_{IO,MIN}^N}{4}. \quad (9)$$

Для определения обобщенной критериальной функции объединим выражения (6)-(9), в которых используются все рассмотренные ранее коэффициенты, в виде выражения:

$$Y^{(M)} = \begin{cases} e^{y_1^{(M)}}, & \text{если } K_{PC}^N > 0; \\ e^{y_2^{(M)+1}}, & \text{если } K_{PC}^N = K_{LE}^N = 0; \\ e^{y_3^{(M)+2}}, & \text{если } K_{PC}^N = 0 \text{ и } K_{MC}^N, K_{LE}^N > 0; \\ e^{y_4^{(M)+3}}, & \text{если } K_{PC}^N = K_{MC}^N = 0; \\ 0, & \text{если } K_{PC}^N = K_{MC}^N = K_{LE}^N = 0. \end{cases} \quad (10)$$

Однако применительно к группе параметров ПЛИС обобщенная критериальная функция (10) не позволяет выполнить комплексный анализ всех выделенных параметров, используемых при выборе ПЛИС. Она не учитывает соотношения цены и вычислительной мощности микросхемы – это учитывает целевой функционал.

5. Формирование целевого функционала модели выбора $J^{(M)}(X^{(M)})$ варианта ПЛИС, который определяет поведение модели в зависимости от обобщенной критериальной функции $Y^{(M)}(y_i^{(M)}, K_i)$ и существенных коэффициентов K_i^S :

$$J^{(M)} = f(Y^{(M)}, K_i^S). \quad (11)$$

6. Задание множества альтернативных вариантов:

$$X^{(M)} = \{X_1, X_2, \dots, X_L\}. \quad (12)$$

Альтернативы ПЛИС можно разделить на группы по типу архитектур. Наиболее часто применяемые:

а) CPLD – сложные программируемые логические устройства, содержат относительно крупные программируемые логические блоки – макроячейки, соединяемые в требуемую электрическую схему с помощью общего коммута-

тора, реализующего принцип «все – со всеми». Функциональная структура CPLD формируется с помощью конфигурационного файла, хранящегося в энергонезависимой памяти, поэтому нет необходимости их перепрограммировать при включении;

б) FPGA – программируемые вентиляльные матрицы, соединяемые в требуемую электрическую схему с помощью цепей межсоединений, размещенных между логическими блоками. Содержат блоки умножения-суммирования, которые широко применяются при обработке сигналов, а также логические элементы и блоки коммутации. Имеют более гибкую архитектуру, чем CPLD;

в) PLD – комбинированная архитектура, представляет собой совмещение архитектур CPLD и FPGA;

г) SoC – система на кристалле, электронная схема, выполняющая функции целого устройства, размещенная на одной интегральной схеме и представляющая собой совмещение архитектуры FPGA и микропроцессорного ядра. Таким образом, множество альтернативных вариантов выбора микросхемы ПЛИС (12) можно свести к четырем:

$$X^{(M)} = \{X_1, X_2, X_3, X_4\},$$

где X_1 – группа ПЛИС с архитектурой SoC (система на кристалле), X_2 – группа ПЛИС с архитектурой CPLD (сложные программируемые логические устройства), X_3 – группа ПЛИС с архитектурой PLD (комбинированная архитектура), X_4 – группа ПЛИС с архитектурой FPGA (программируемые вентиляльные матрицы).

7. Зональное разделение области значений целевого функционала $\Delta J_{X_i}^{(M)}$, соответствующие альтернативным вариантам:

$$\Delta J_{X_i}^{(M)} \in \{\Delta J_{X_1}^{(M)}, \Delta J_{X_2}^{(M)}, \Delta J_{X_3}^{(M)}, \Delta J_{X_4}^{(M)}\}.$$

Предполагается экспоненциальное разделение на интервалы:

$$\Delta J_{X_i}^{(M)} \in \begin{cases} [1 \dots e^{y_1^{(M)}}], & \text{при } X_i = X_1; \\ [e^{y_1^{(M)}} \dots e^{y_2^{(M)+1}}], & \text{при } X_i = X_2; \\ [e^{y_2^{(M)+1}} \dots e^{y_3^{(M)+2}}], & \text{при } X_i = X_3; \\ [e^{y_3^{(M)+2}} \dots e^{y_4^{(M)+3}}], & \text{при } X_i = X_4. \end{cases} \quad (13)$$

На данном этапе, аналитическое выражение целевого функционала (11) может иметь следующий вид:

$$J^{(M)} = a_1 \cdot Y^{(M)} + a_2 \cdot (1 - K_{MAX}^C), \quad (14)$$

где a_i – весовые коэффициенты, они должны удовлетворять условию $\sum_{i=1}^2 a_i = 1$.

Коэффициент a_1 определяет вес требований вычислительной мощности микросхемы, а коэффициент a_2 определяет вес требования выгодной стоимости микросхемы.

8. Процесс принятия решения: принятие решения для многокритериальной модели в условиях определенности формулируется следующим образом: попадание значения реального целевого функционала $J^{(R)}$ в интервал значений $\Delta J_{X_i}^{(M)}$ будет определять выбираемый вариант $X_i^{(R)}$. Процесс принятия решения можно записать в виде выражения:

$$X_i^{(R)} = X_i^{(M)} \in \{X_1, X_2, \dots, X_L\},$$

при $J^{(R)}(Y^{(R)}, K_i^{(S_R)}) \in \Delta J_{X_i}^{(M)}$, то есть принимается решение о выборе архитектуры ПЛИС $X^{(R)}$ при проектировании устройств обработки цифровой информации по реальным исходным данным w_i^R , принадлежащего множеству альтернатив $X^{(M)}$ при условии попадания значения целевого функционала $J^{(R)}$, рассчитанного с использованием реальных параметров, в интервал значений, соответствующих одному из интервалов значений целевого функционала модели $\Delta J_{X_i}^{(M)}$.

Применительно к выбору кристалла ПЛИС принятие решения выполняется в несколько этапов: определяются предварительные варианты подходящих микросхем из диапазона допустимых архитектур с учетом параметров сигналов на основе формального описания (1) и (2). Для каждой ПЛИС вычисляется свой целевой функционал и производится выбор кристалла по максимальному значению целевого функционала в диапазоне одной архитектуры.

Заключение

Таким образом, в работе представлен новый подход к выбору ПЛИС на основе целевого функционала. Была разработана подсистема классификации и выдачи информации о ПЛИС [7] для макетного исследования полученной математической модели, на что имеется свидетельство о

регистрации программ [8]. В настоящее время в рамках НИОКР по программе УМНИК (Договор 04/17250) ведется апробация предложенного подхода выбора ПЛИС. На основе результатов макетирования планируется корректировка математической модели и разработка системы поддержки принятия решения по выбору ПЛИС.

Литература

1. Стешенко В.Б. ЕДА. Практика автоматизированного проектирования радиоэлектронных устройств. М.: Нолидж, 2002. – 768 с.
2. Турыгин И.Г., Литвинская О.С. Влияние характеристик новейших разработок производителей ПЛИС на выбор кристалла // Успехи современного естествознания. № 6, 2012. – С. 100-102.
3. Литвинская О.С., Сальников И.И. Основы теории выбора средств реализации проектируемой информационно-технической системы. Пенза: ЦНТИ, 2011. – 125 с.
4. Котельников В.А. О пропускной способности «эфира» и проволоки в электросвязи // Успехи физических наук. Т. 176, №7, 2006. – С. 762-770.
5. Кияница А.С. Уровни Фибоначчи: там, где лежат деньги. М.: МАБТ «Форекс клуб», 2004. – 268 с.
6. Воробьев Н.Н. Числа Фибоначчи. М.: Наука, 1978. – 144 с;
7. Турыгин И.Г., Литвинская О.С. Специальное программное обеспечение классификации и выдачи структурированной информации о ПЛИС // Материалы XI ВНТК «Современные методы и средства обработки пространственно-временных сигналов». Пенза: Приволжский Дом Знаний, 2012. – С. 82-84;
8. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2012617101. Подсистема классификации и выдачи структурированной информации о программируемых логических интегральных схемах // Сериков А.В., Чигирев М.А., Турыгин И.Г. РДПИ.01438-01. Зарег. в реестре программ для ЭВМ 8.08.2012.

THE MULTICRITERION CHOICE OF THE PROGRAMMABLE LOGIC DEVICES IN THE DIGITAL DATA PROCESSING DEVICE DESIGN

Litvinskaya O.S., Turygin I.G.

The scheme and the decision-making process stages are proposed in the article. The decision-making method mathematical model on basis of the objective functional is presented: formed the alternative candidates solution variety, formed the criterias variety of alternatives evaluating, received the estimations of alternatives on criterias, received the advices on the best alternative choosing.

Keywords: *programmable logical device (PLD), parameters, objective functional, decision making, optimal choice.*

Литвинская Ольга Сергеевна, к.т.н., доцент Кафедры вычислительных машин и систем (ВМиС) Пензенского государственного технологического университета (ПензГТУ). Тел. (8-412) 49-61-56; 8-927-366-59-45. E-mail: oslit@ya.ru

Турьгин Игорь Геннадьевич, аспирант Кафедры ВМиС ПензГТУ. Тел. (8-412) 49-61-56; 8-937-413-72-21. E-mail: tigseir@ya.ru

НОВЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

УДК 025.4.03

АНАЛИЗ АЛГОРИТМОВ ФОНЕМНОГО ТРАНСКРИБИРОВАНИЯ В ЗАДАЧАХ КОНТЕКСТНОГО ПОИСКА РЕЧЕВЫХ ДОКУМЕНТОВ

Прозоров Д.Е., Яшина А.Г.

В статье описаны и проанализированы методы фонемного транскрибирования: метод, использующий скрытую марковскую модель, и метод, основанный на теории графов. Указанные методы используются в разработанной системе контекстного поиска речевых документов. Произведен анализ времени фонемного транскрибирования, приведены значения эффективности поиска речевых документов, которые достигаются при использовании данных методов.

Ключевые слова: информационный поиск, распознавание речи, фонемное транскрибирование, поиск речевых документов.

Введение

Качество работы современных информационных систем существенно зависит от применяемых методов контекстного поиска. Существующие методы поиска ориентированы в основном на обработку текстовых документов. В то же время все большее распространение получают коллекции мультимедийных, в том числе речевых, документов. Примерами таких документов являются радио- и видеонews, аудиокниги, записи лекций, доклады конференций и т.п. Задача контекстного поиска речевых документов по текстовому или устному запросу относится к области Spoken Document Retrieval (SDR).

Основными этапами работы SDR-системы являются: распознавание речи, индексирование и поиск документов, релевантных запросу [1]. При этом ошибки, возникающие на этапе распознавания, снижают эффективность SDR-системы в целом.

Качество распознавания речи в основном зависит от используемого метода, количества и качества обучающих акустических данных, качества записи речевых документов, а также числа

дикторов [3]. Улучшить качество распознавания речи можно переходом к распознаванию подслов [4] или фонов/фонем [5], что позволяет не зависеть от объема словаря, используемого при распознавании слов.

Другой подход, позволяющий повысить эффективность SDR-системы, основан на использовании методов поиска, учитывающих ошибки распознавания речевых единиц [2; 6].

Так, в [2] результат фонемного распознавания корректируется на основе статистики ошибок, связанных с пропуском, заменой и добавлением фонем. Метод, изложенный в [6], использует фонемное транскрибирование текстового представления распознанных речевых документов и запросов пользователя, что позволяет учитывать сходство произношения речевых единиц.

В данной работе анализируются два метода получения фонемных транскрипций слов, которые позволяют повысить эффективность контекстного поиска речевых документов. Данные методы частично учитывают сходство произношения речевых единиц и статистику ошибок распознавания слов речевых документов. Первый метод основан на теории графов, во втором методе используется скрытая марковская модель.

Постановка задачи

Транскрибирование представляет собой запись слов посредством некоторого алфавита, которая осуществляется для передачи особенностей произношения. Пусть задан алфавит фонем $\{\varphi_k\}$ и слово w_i представлено в виде последовательности букв $v_1 v_2 \dots v_m$. Тогда задача фонемного транскрибирования заключается в построении соответствующей последовательности фонем для слова

$$f(v_1 v_2 \dots v_m) = \varphi_1 \varphi_2 \dots \varphi_n. \quad (1)$$