

## ВЫБОР НА ОСНОВЕ ЦЕЛЕВОГО ФУНКЦИОНАЛА ПРОГРАММИРУЕМЫХ ЛОГИЧЕСКИХ ИНТЕГРАЛЬНЫХ СХЕМ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫХ УСТРОЙСТВ

Литвинская О.С., Турыгин И.Г.

*Пензенская государственная технологическая академия, Пенза, Россия (440605, г. Пенза, пр-д Байдукова/ул. Гагарина, 1а/11), e-mail: los@pgta.ru, tigseir@ya.ru*

Предлагаемая работа является развитием теории принятия решений в области оптимального проектирования специализированных устройств. Задача выбора при проектировании специализированных цифровых устройств обработки информации в условиях неопределенности, когда нет полной количественной исходной информации, сводится к адекватному математическому описанию. В этом случае детерминированное отображение множества альтернатив во множество критериальных оценок осуществляется посредством математических моделей. Работа посвящена разработке оптимального метода выбора программируемых логических интегральных схем на основе целевого функционала. Представлены выводы из обзора практических способов выбора программируемых логических интегральных схем. В работе предложена схема и этапы процесса принятия решения. 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. В работе предлагается ряд решений, которые позволили бы количественно оценить характеристики средства реализации. Однако задача выбора, рассмотренная в статье, находится на стадии разработки. В связи с этим требуется дополнение математической модели частными критериальными функциями, учитывающими параметры сигналов. Вследствие этого требуется корректировка поведения аналитической модели целевого функционала.

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

## THE PROGRAMMABLE LOGIC DEVICES CHOICE ON BASIS OF OBJECTIVE FUNCTIONAL IN THE SPECIAL-PURPOSE HARDWARE DESIGN

Litvinskaya O.S., Turygin I.G.

*Penza state technological academy, Penza, Russia (440605, Penza, driveway Baydukova/street Gagarina, 1a/11), e-mail: los@pgta.ru, tigseir@ya.ru*

This paper is an elaboration of the decision making theory in the special-purpose digital hardware optimal design field. The selecting problem of the information processing special-purpose digital hardware design under uncertainty conditions, when there is uncompleted information quantitative source, is reduced to an adequate mathematical description. In this case, the alternatives set determinate mapping in a variety of criteria estimates carried out by means of mathematical models. The work is dedicated to the programmable logical device selection optimal method design on basis of the objective functional. The conclusions from the programmable logical device choosing practical ways review are presented. 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. The decisions series that would quantitatively rate the implementer adjectives are proposed in the paper. However, the selection problem, discussed in the article, is still under development. In this connection, the mathematical model completing by the partial criterial functions which considerates the signal data is required. Therefore, the adjustment of the objective functional analytical model behavior is required.

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

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 программируемых логических интегральных схем (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. Первыми, получившими доступ к элементной базе и системам автоматизированного проектирования, были разработчики из Министерства обороны и спецслужб [3].

Из обзора практических способов выбора можно сделать вывод, что на текущий момент времени не существует оптимального метода принятия решения по выбору ПЛИС [4]. 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 оптимального выбора при проектировании специализированных цифровых устройств обработки информации в условиях неопределенности сводится к адекватному математическому описанию. В этом случае детерминированное отображение множества альтернатив во множество критериальных 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 проекте предполагается привести ряд решений, которые позволили бы количественно оценить характеристики обрабатываемого сигнала и реализуемого алгоритма и на основе этих оценок разработать целевую функцию.

Цель работы – разработка оптимального метода выбора на основе целевого функционала ПЛИС при проектировании специализированных устройств.

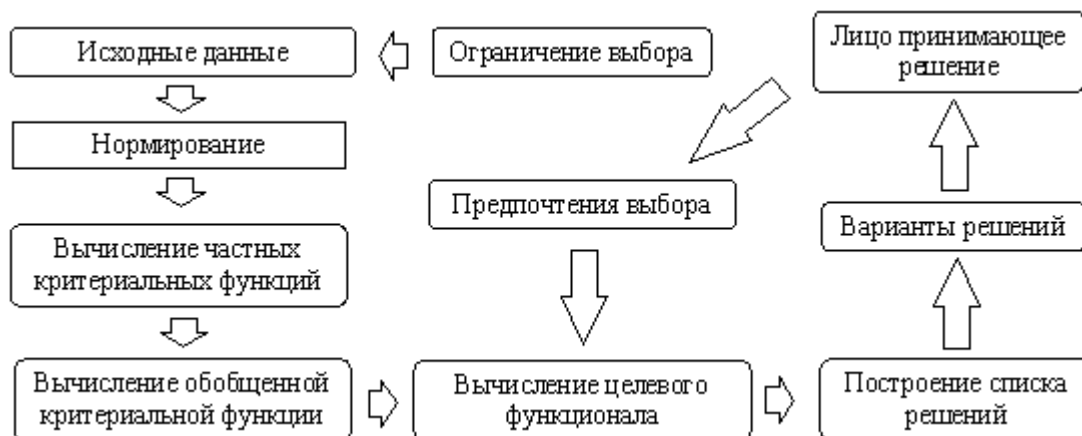
Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие общие задачи: анализ методов и подходов к проблеме принятия решений; разработка метода принятия решений с использованием сравнительной оценки в виде целевого функционала; разработка программной реализации системы поддержки принятия решений.

Анализ существующих методов принятия решений показал, что если объединить ряд подходов прикладной теории принятия решений, различающихся способом представления и обработки знаний и количественных методов прогнозирования, базирующихся на оценках экспертов, то получим новый подход к принятию решения, основанный на объединении параметров разнородных условий [2]. 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).

Схема выбора, объединяющая параметры ПЛИС и параметры обрабатываемого сигнала в единый целевой функционал, представлена на рисунке 1.

Последовательность действий, которая реализуется в предлагаемом методе объективного выбора ПЛИС, состоит в следующем:

1) определение исходных данных: определение параметров ПЛИС и сигналов  $\{w_1, w_2, \dots, w_n\}$ ; определение максимальных значений множества параметров  $\{\gamma_1, \gamma_2, \dots, \gamma_n\}$ . Множество исходных параметров предлагается разделить на две группы: аппаратные и параметры сигналов.



**Рис. 1. Обобщенная схема выбора.**

К аппаратной группе относятся следующие параметры ПЛИС: РСМАХ (руб.) – максимальная цена микросхемы; СLE (шт.) – количество эквивалентных логических элементов, показатель логической емкости микросхемы; СМС (шт.) – количество эквивалентных макроячеек; СМ18 (шт.) – количество встроенных умножителей 18x18 бит; СМ19 (шт.) – количество встроенных умножителей 18x19 бит; CDSP27 (шт.) – количество встроенных сигнальных процессоров 27x27 бит; CDSPVP (шт.) – количество встроенных сигнальных процессоров настраиваемой точности; TPD (нс) – максимальное время задержки сигнала; СGCN (шт.) – количество глобальных цепей тактирования; FMAX (МГц) – максимальная тактовая частота; СРС (шт.) – максимальное количество встроенных микропроцессорных ядер; СUIO (шт.) – минимальное количество программируемых пользователем выводов; СНPSP (шт.) – минимальное количество выводов встроенной микропроцессорной системы.

К параметрам сигнала относятся те, которые оказывают значительное влияние на выбор ПЛИС, а именно тип сигнала: аналоговый или цифровой, амплитуда и частота;

2) нормирование параметров  $w_i$  по максимальным значениям, при этом получаются безразмерные коэффициенты параметров  $K_i = w_i / \gamma_i$ . В первом приближении рассмотрим только группу аппаратных параметров, представляемых множеством:

$$K_i = \{K_{PCMAX}, K_{CLE}, K_{CMC}, K_{CM18}, K_{CM19}, K_{CDSP27}, K_{CDSPVP}, K_{TPD}, K_{CGCN}, K_{FMAX}, K_{CPC}, K_{CUIO}, K_{CHPSP}\},$$

где  $K_{PCMAX}$  – коэффициент цены микросхемы;  $K_{CLE}$  – коэффициент количества эквивалентных логических элементов;  $K_{CMC}$  – коэффициент количества эквивалентных макроячеек;  $K_{CM18}$  – коэффициент количества встроенных умножителей 18x18 бит;  $K_{CM19}$  – коэффициент количества встроенных умножителей 18x19 бит;  $K_{CDSP27}$  – коэффициент количества встроенных сигнальных процессоров 27x27 бит;  $K_{CDSPVP}$  – коэффициент количества встроенных сигнальных процессоров с регулируемой точностью;  $K_{TPD}$  – коэффициент времени задержки сигнала;  $K_{CGCN}$  – коэффициент количества глобальных цепей тактирования;  $K_{FMAX}$  – коэффициент тактовой частоты;  $K_{CPC}$  – коэффициент количества встроенных микропроцессорных ядер;  $K_{CUIO}$  – коэффициент количества программируемых пользователем выводов;  $K_{CHPSP}$  – коэффициент количества выводов встроенной микропроцессорной системы;

3) формирование частных критериальных функций модели  $f_i^{(M)}(K_i)$ . При наличии существенно разнородных коэффициентов бывает сложно указать их приоритет, поэтому в работе выделяются существенные коэффициенты параметров –  $K_i^S$ . Применительно к группе аппаратных параметров существенным коэффициентом является  $K_{PCMAX}$  – коэффициент цены микросхемы, а частными критериальными функциями  $f_i^{(M)}(K_i)$  могут быть:

– коэффициент количества встроенных умножителей 18x18 бит и коэффициент количества встроенных умножителей 18x19 бит объединяются в виде выражения:

$$f_1^{(M)} = K_{CM18} + K_{CM19}; \quad (1)$$

– коэффициент количества встроенных сигнальных процессоров 27x27 бит и коэффициент количества встроенных сигнальных процессоров с регулируемой точностью объединяются в виде выражения:

$$f_2^{(M)} = K_{DSP27} + K_{DSPVP}; \quad (2)$$

Некоторые коэффициенты можно объединить в выражения, позволяющие количественно оценить вычислительную мощность микросхемы. В таких выражениях удобно использовать последовательность Фибоначчи – более значимые коэффициенты умножаются на числа с большим индексом в последовательности. Последовательность

Фибоначчи строится следующим образом:  $U_1=1; U_2=1; U_n=U_{n-1}+U_{n-2}$ , где  $U_n$  – элементы последовательности.

Одним из свойств последовательности Фибоначчи [1] является

$$\sum_{i=1}^n f_{FIB}(i) = f_{FIB}(n+2) - 1. \quad (3)$$

Общий вид выражения для количественной оценки вычислительной мощности микросхемы, основанного на свойстве последовательности Фибоначчи (3), может иметь вид:

$$f_i^{(M)} = \frac{\sum_{i=1}^n f_{FIB}(i) \cdot K_i}{f_{FIB}(n+2) - 1};$$

– коэффициенты, определяющие быстродействие ПЛИС архитектуры CPLD, объединяются в виде выражения:

$$f_3^{(M)} = \frac{3K_{CMC} + 2K_{FMAX} + K_{CUIO} + K_{CGCN}}{7}; \quad (4)$$

– коэффициенты, определяющие быстродействие ПЛИС архитектуры SoC, объединяются в виде выражения:

$$f_4^{(M)} = \frac{34K_{CLE} + 21K_{CPC} + 13K_{FMAX} + 8(1 - K_{TPD}) + 5K_{CUIO} + 3K_{CHPSP} + 2K_{CGCN} + f_1 + f_2}{88}; \quad (5)$$

– коэффициенты, определяющие быстродействие ПЛИС архитектуры FPGA, объединяются в виде выражения:

$$f_5^{(M)} = \frac{8K_{CLE} + 5K_{FMAX} + 3K_{CUIO} + 2K_{CGCN} + f_1 + f_2}{20}; \quad (6)$$

– коэффициенты, определяющие быстродействие ПЛИС комбинированной архитектуры PLD, объединяются в виде выражения:

$$f_6^{(M)} = \frac{13K_{CMC} + 8K_{CLE} + 5K_{FMAX} + 3K_{CUIO} + 2K_{CGCN} + f_1 + f_2}{33}; \quad (7)$$

Все рассмотренные ранее коэффициенты (1, 2, 4, 5, 6, 7) можно объединить одним – коэффициентом вычислительной мощности. Для его определения предлагается применить обобщенную критериальную функцию:

$$F^{(M)} = \begin{cases} \text{если } K_{CPC} > 0, \text{ то } \exp(f_4^{(M)}); \\ \text{если } K_{CPC} = 0 \text{ и } K_{CMC} = 0, \text{ то } \exp(f_5^{(M)} + 3); \\ \text{если } K_{CPC} = 0 \text{ и } K_{CLE} = 0, \text{ то } \exp(f_3^{(M)} + 1); \\ \text{если } K_{CPC} = 0 \text{ и } K_{CMC} > 0 \text{ и } K_{CLE} > 0, \text{ то } \exp(f_6^{(M)} + 2); \end{cases} \quad (8)$$

Однако, применительно к группе аппаратных параметров, обобщенная критериальная функция (8) 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;

4) формирование целевого функционала модели выбора  $J^{(M)}(X^{(M)})$  варианта ПЛИС, который определяет поведение модели в зависимости от обобщенной критериальной функции  $F^{(M)}(f_i^{(M)}, K_i)$  и существенных коэффициентов  $K_i^S$ :

$$J^{(M)} = (F^{(M)}, K_i^S); \quad (9)$$

5) задание множества альтернативных вариантов:

$$X^{(M)} = \{X_1, X_2, \dots, X_L\}. \quad (10)$$

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, соединенные с внешними выводами и внутренними шинами. Функциональная структура CPLD кодируется в энергонезависимой памяти, поэтому нет необходимости их перепрограммировать при включении; б) FPGA – программируемые вентильные матрицы, 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 (10) 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 вентильные матрицы);

б) зональное разделение области значений целевого функционала  $\Delta J_{X_i}^{(M)}$ , соответствующее альтернативным вариантам:

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

На данном этапе, рассматривая только группу аппаратных параметров, аналитическое выражение целевого функционала (9) может иметь следующий вид:

$$J^{(M)} = a_1 \cdot F^{(M)} + a_2 \cdot (1 - K_{PCMAX}), \quad (11)$$

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. Однако этот вид целевого функционала не является объективным, поскольку не учтены в модели параметры сигналов;

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

$$X_i^{(R)} = X_i^{(M)} \in \{X_1, X_2, \dots, X_L\}, \text{ при } J^{(R)}(F^{(R)}, K_i^{(S_R)}) \in \Delta J_{X_i}^{(M)},$$

то есть принимается решение о выборе архитектуры ПЛИС  $X^{(R)}$  при проектировании специализированных устройств 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 иерархическое, т.е. выполняется в два этапа: определяются предварительные варианты подходящих микросхем из диапазона допустимых архитектур, для каждой ПЛИС вычисляется свой целевой функционал и производится выбор кристалла по максимальному значению целевого функционала в диапазоне одной архитектуры.

На основе полученной математической модели была разработана подсистема классификации и выдачи информации о ПЛИС [5].

Таким образом, в работе представлен новый подход к выбору и предлагается уникальный вариант принятия решения. Задача выбора ПЛИС, рассмотренная в статье, находится на стадии разработки. В связи с этим требуется дополнение математической модели частными критериальными функциями, учитывающими параметры сигналов, и, как следствие, корректировка поведения аналитической модели целевого функционала (11).

## Список литературы

1. Воробьев Н.Н. Числа Фибоначчи. – М. : Наука, 1978. – С. 11.

2. Литвинская О.С., Сальников И.И. Основы теории выбора средств реализации проектируемой информационно-технической системы : монография. – Пенза : Пенз. центр научно-технической информации, 2011. – С. 125.
3. Стешенко В.Б. EDA. Практика автоматизированного проектирования радиоэлектронных устройств. – М. : Нолидж, 2002. – С. 127-128.
4. Турыгин И.Г., Литвинская О.С. Влияние характеристик новейших разработок производителей ПЛИС на выбор кристалла // Успехи современного естествознания. – М. : Академия естествознания, 2012. – № 6. – С. 100-102.
5. Турыгин И.Г., Литвинская О.С. Специальное программное обеспечение классификации и выдачи структурированной информации о ПЛИС // Современные методы и средства обработки пространственно-временных сигналов. – Пенза : Приволжский дом знаний, 2012. – С. 82-84.
6. Черноруцкий И.Г. Методы принятия решений. – СПб. : БХВ-Петербург, 2005. – С. 31-59.

**Рецензенты:**

Малыгин Александр Юрьевич, д.т.н., профессор, директор Центра трансфера технологий Пензенского государственного университета, ФГБОУ ВПО «Пензенский государственный университет», г. Пенза.

Урнев Иван Васильевич, д.т.н., профессор, директор ООО «НПП «Вольта», г. Пенза.