

УДК: 004.89

О.С. Литвинская, И.И. Сальников

Пензенская государственная технологическая академия, Россия
440039, г. Пенза, проезд Байдукова, 1а

Принятие решений в иерархической системе выбора с использованием целевого функционала при проектировании устройств цифровой обработки информации

O.S. Litvinskaya, I.I. Salnikov

Penza State Technological Academy, Russia
440039, Penza, proezd Baydukova, 1a

Decision-Making in the Hierarchical System of Elections Using the Trust in Design Functional Devices Digital Information Processing

О.С. Литвинська, І.І. Сальников

Пензенська державна технологічна академія, Росія
440039, м. Пенза, проїзд Байдукова, 1а

Прийняття рішень в ієрархічній системі вибору з використанням цільового функціонала при проектуванні пристроїв цифрової обробки інформації

При проектировании систем цифровой обработки информации используется широкий спектр средств реализации в виде различных электронных компонентов. Выбор этих средств в настоящее время выполняется субъективно, определяется знаниями и приверженностями разработчика. В работе предлагается использовать количественный подход в виде системы принятия решения на основе целевого функционала, имеющего экстремальный вид.

Ключевые слова: принятие решения, выбор, средство реализации, целевой функционал.

In the design of digital information processing systems using a wide range of implementation tools in a variety of electronic components. The selection of these resources are being satisfied subjectively determined by the knowledge and commitment of the developer. We propose to use a quantitative approach in the form of a decision based on the objective function, which has an extreme.

Key words: decision-making, choice, means of implementation, target functional.

При проектуванні систем цифрової обробки інформації використовується широкий спектр засобів реалізації у вигляді різних електронних компонентів. Вибір цих засобів нині виконується суб'єктивно, визначається знаннями та теоретичними перевагами розробника. У роботі пропонується використовувати кількісний підхід у вигляді системи прийняття рішення на основі цільового функціонала, що має екстремальний вид.

Ключові слова: прийняття рішення, вибір, засіб реалізації, цільовий функціонал.

Введение

Задачи принятия решения (ЗПР) встречаются во всех без исключения областях знаний и отличаются большим разнообразием. ЗПР имеет место тогда, когда необходимо совершить выбор лучшего в определенном смысле варианта среди существующего множества альтернатив [1].

Наиболее близким научным направлением к теме данной статьи является раздел систем искусственного интеллекта, связанный с принятием решений и получивший широкое распространение в виде систем поддержки принятия решения (СППР), по которым имеется большое количество научных публикаций. Однако, авторам не известны публикации, в которых описывались бы предлагаемые подходы к организации СППР по выбору средств реализации устройств цифровой обработки информации на основе формирования целевого функционала, содержащего частные параметрические функции, вытекающие из заданных требований.

Одним из научных направлений, представляющих определенный интерес, является разработка СППР по объективному выбору средств реализации устройств цифровой обработки информации (ЦОИ), являющихся, как правило, частью проектируемой информационной технической системы.

При разработке систем ЦОИ в настоящее время используется широкий спектр средств реализации в виде электронных компонентов: универсальных ЭВМ, микроконтроллеров, сигнальных процессоров, программируемых логических интегральных схем, имеющих самые разнообразные технические характеристики. Выбор этих средств при проектировании систем ЦОИ в настоящее время выполняется субъективно, определяется знаниями и приверженностями разработчика.

С другой стороны, исходные условия для проектирования систем ЦОИ, как правило, характеризуются многопараметричностью и разнородностью. В качестве подобных исходных условий могут служить требования по быстродействию, по информационной производительности, по виду заданного алгоритма ЦОИ, по вероятностным характеристикам и др. Наличие многопараметрических и разнородных условий приводит к необходимости использовать **иерархическую** структуру в организации СППР.

Научная проблема, по мнению авторов, заключается в субъективности выбора средств реализации проектируемых систем цифровой обработки информации при существующей в настоящее время широкой номенклатуре электронных компонентов.

В этой связи, поставленная **цель работы** – разработка иерархической системы поддержки принятия решения по объективному выбору средства реализации проектируемого устройства цифровой обработки информации при многопараметрических разнородных условиях, являющаяся развитием теории принятия решения, представляется актуальной.

В рамках сформулированной цели ставятся следующие **задачи**:

- разработать обобщенную структурную схему СППР применительно к задаче выбора средств реализации проектируемых устройств ЦОИ;
- сформировать частные параметрические функции на основе исходных многопараметрических и разнородных требований к проектируемому устройству ЦОИ;
- обосновать уровни иерархии принимаемого решения;
- сформировать вид целевого функционала с входящей в него обобщенной параметрической функцией, которая представляет собой объединение частных параметрических функций;
- разработать метод объективного выбора средства реализации проектируемой системы ЦОИ, основанный на сопоставлении рассчитанного значения целевого функционала с заданными диапазонными значениями, характеризующими вариант принимаемого решения.

Используемые методы и подходы

В работе использован количественный подход при разработке системы поддержки принятия решения, в основе которой лежит метод принятия решения на основе целевого функционала, имеющего экстремальный вид. Целевой функционал являет-

ся количественным инструментом метода принятия решения и включает в себя обобщенную параметрическую функцию, которая должна быть сформирована на основе частных параметрических функций, описывающих исходные данные на проектирование устройств ЦОИ [2], [3].

Частная параметрическая функция должна представлять собой нормированную зависимость, характеризующую основные свойства используемого параметра. Например, это может быть коэффициент заданного быстродействия, или коэффициент заданной информационной производительности и множество других характеристик. Основное требование к этим характеристикам – они должны иметь **количественную форму**.

Далее предполагается, что нормированные частные параметрические функции объединяются в некоторую **обобщенную функцию** с использованием весовых коэффициентов, определяющих значимость каждой параметрической функции. При этом, для определения весовых коэффициентов необходимо использовать экспертные оценки.

Метод принятия решения основан на соотношении оценки экстремального значения функционала при заданных исходных параметрах и интервальных значениях, характеризующих конкретные решения.

Предполагаемый метод принятия решения должен быть иерархическим. Причем, в качестве ступеней можно использовать следующие уровни иерархии относительно средств реализации устройств ЦОИ:

– *верхний уровень* – группы средств ЦОИ: универсальные ЭВМ, микропроцессоры (МП) и программируемые логические интегральные схемы (ПЛИС);

– *средний уровень* – соответствующий кластер в группе средств ЦОИ: для универсальных ЭВМ – это ПЭВМ (CPU), или графические станции (GPU); для микропроцессоров (МП) – это микроконтроллеры (MCS), предназначенные для систем управления, или сигнальные процессоры (DSP), предназначенные для реализации интегральных преобразований; для ПЛИС – это архитектура FPGA или архитектура CPLD;

– *нижний уровень* – конкретный тип электронного компонента, входящий в выбранный кластер и характеризуемый детальными техническими характеристиками. На этом уровне должна использоваться база данных. Таким образом, используется иерархический выбор по принципу «от общего к частному».

Конечно, окончательный вариант решения выбирает лицо, принимающее решение (ЛПР), но разрабатываемая СППР существенно облегчает процесс выбора средства реализации устройств ЦОИ в существующем «море» электронных компонент.

Структура системы принятия решения, представленная на рис. 1, содержит следующие основные элементы.

Предметная область – совокупность знаний, параметров, условий существования и видов взаимодействия, характеризующих объекты, для которых разрабатывается СППР. В предметную область входит техническое задание на разработку системы ЦОИ, в котором указываются:

– *входные параметры* обрабатываемого сигнала;
– *требуемые параметры*, которые должна обеспечивать проектируемая система ЦОИ;
– *требуемые характеристики* системы ЦОИ;
– *база данных и знаний* для характеристик и свойств средств реализации системы ЦОИ, которые необходимо выбрать.

В техническом задании на проект системы ЦОИ должен быть представлен алгоритм, для которого следует определить его *вид*. Им может быть, например, один из трех: управляющий, вычислительный или преобразовательный. Каждый из этих алгоритмов характеризуется вычислительной сложностью, которая должна влиять на выбор средства реализации системы ЦОИ.



Рисунок 1 – Структура системы поддержки принятия решения

Частная параметрическая функция формируется для каждого из входных исходных параметров, требуемых параметров, требуемых характеристик и вида алгоритма. Она должна представлять некоторую зависимость от различных параметров. Частная параметрическая функция должна принимать безразмерные значения, для чего её необходимо пронормировать по своему максимальному возможному значению.

Обобщенная параметрическая функция представляет собой объединение частных параметрических функций с учетом весовых коэффициентов. Простейшей формой объединения может служить сумма частных параметрических функций, но могут быть использованы и другие зависимости. Весовые коэффициенты назначаются на основе экспертных оценок влияния каждой частной параметрической функции на принимаемое решение.

Наряду с обобщенной параметрической функцией могут быть использованы коэффициенты, наиболее значимые для данной СППР. *Значимые коэффициенты* должны напрямую влиять на целевой функционал. Например, это может быть коэффициент быстрогодействия, учитывающий требования по быстродействию, или коэффициент автономной работы, учитывающий требования по долгосрочной работе системы ЦОИ от аккумуляторных батарей.

Целевой функционал формируется на основе обобщенной параметрической функции и значимых коэффициентов и представляет собой математическое выражение, имеющее экстремум.

Принятие решения реализуется в виде вариантов на основе соотнесения оценки экстремального значения функционала при заданных исходных параметрах и интервальных значениях, характеризующих конкретные решения. То есть, предварительно область допустимых значений целевого функционала разбивается на зоны, каждая из которых соответствует варианту принятого решения. Для реальных значений данных, вытекающих из технического задания, на проект системы ЦОИ, рассчитывается значение целевого функционала и определяется интервал значений, который соответствует варианту решения.

База данных и знаний хранит таблицы параметров и характеристик средств реализации, относительно которых принимается решение. Если база данных представляет собой простой набор таблиц с характеристиками тех или иных вариантов решений, то база знаний представляет собой значительно более сложную структуру. Она включает в себя алгоритмы принятия решений, параметрические функции и отдельные структуры принятия решений.

Получив *вариант решения*, лицо, принимающее решение (ЛПР), может выполнить апостериорную оценку эффективности, то есть оценить его оптимальность. При принятии варианта решения возможна коррекция условий принятия решения.

В результате использования целевого функционала формируются *варианты решения*, каждый из которых предлагается ЛПР с априорной оценкой эффективности. Это может быть вероятность, выраженная в процентах, это может быть некоторый безразмерный коэффициент в пределах $0 \div 1$, или качественная оценка эффективности, например, «низкая», «средняя», «высокая» и «наивысшая», когда невозможно в количественном виде оценить эффективность предложенных вариантов решений.

ЛПР принимает варианты решений с априорными оценками их эффективности и выносит одно *решение*, которое и является целью ЗПР. Если предлагаемые варианты решения по каким-то внутренним, известным лишь ЛПР причинам, не удовлетворяют его, или оценки эффективности не соответствуют знаниям и опыту ЛПР, то в СППР корректируются варианты решения и априорная эффективность на основе апостериорных замечаний, сделанных ЛПР.

Выбор средства реализации системы ЦОИ – один из важных вопросов, решение которых определяет основные взаимосвязанные показатели качества проектируемой информационной системы, такие как быстродействие, надежность, помехоустойчивость, габариты, масса и потребляемая мощность.

Формализация принятия решений в условиях многоальтернативной оптимизации в задачах проектирования технических систем связана с поиском эффективного решения в области выбора средств реализации.

Анализируя методы принятия решений [4-10], попробуем совместить достоинства методов теории полезности (возможность оценки любого количества альтернативных вариантов), теории нечетких множеств (учет взаимных отношений критериев) и количественных методов в виде формализации принятия решения на основе целевого функционала.

Рассмотрим задачу выбора средств реализации информационной технической системы на этапе проектирования как сложную информационную техническую систему (ИТС) S (рис. 2).

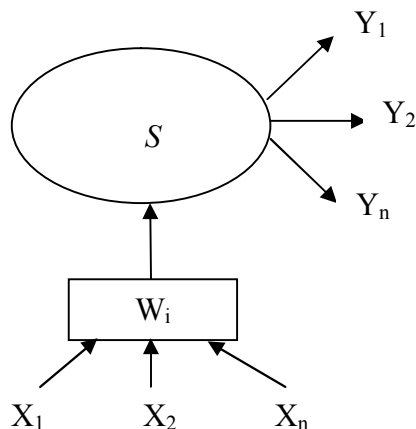


Рисунок 2 – Структура сложной информационной технической системы

Любая задача выбора состоит из определения одного варианта из множества альтернативных вариантов – X_n . Каждый из множества вариантов выбора обладает варьируемыми параметрами W_i , которые объединяются для исследований в модель принятия решений. Взаимосвязи между ними задаются рядом функций. Результатом работы ИТС является выдача рекомендаций по оптимальному решению в виде средства реализации Y_i . Выработка решений происходит в зависимости от критериев выбора.

В простейшем детерминированном случае под критерием понимается функционал $J(\bar{x}, \bar{y})$, определенный на множестве возможных решений, и при оптимизации необходимо найти решение (\bar{x}, \bar{y}) , обеспечивающее максимум этого функционала.

Общая постановка задачи принятия решений с помощью критериального языка описания выбора формулируется следующим образом.

Пусть X – множество альтернатив, Y – множество возможных исходов, результатов. Предполагается связь между выбором некоторой альтернативы $x_i \in X$ и наступлением соответствующего исхода $y_i \in Y$. Требуется выбрать наилучшую альтернативу x_i , для которой исход имел бы наилучшую оценку качества. Под качеством на стадии проектирования ИТС здесь понимается удовлетворение основным требованиям технического задания.

Задачу выбора применительно к области проектирования можно считать задачей в условиях определенности, т.е. нам заранее известны исходы при указанных альтернативах. В этом случае существует однозначное отображение $X \xrightarrow{\varphi} Y$, т.е. реализуется функция $y = \varphi(x)$. Поскольку связь детерминированная, то $f: Y \rightarrow R$, т.е. каждый исход можно оценить конкретным вещественным числом R .

Функцию f назовем параметрической функцией. В этом случае сравнение исходов сводится к сравнению соответствующих им чисел, например в случае максимизации более предпочтительным исходу y_j может быть исход y_i , если $f(y_i) > f(y_j)$.

В случае рассмотрения ряда задач из области проектирования ИТС, получается множество частных параметрических функций: $f_k: Y \rightarrow R_k$ – при $k=1,2,\dots,n$. Поскольку речь идет о детерминированной связи между множеством X и множеством Y , то параметрические функции f трансформируются в некоторую функцию J , заданную на множестве X и являющуюся суперпозицией φ и f :

$$J: X \rightarrow R, J = f \cdot \varphi. \quad (1)$$

Поскольку функция J выполняет однозначное отображение множества исходов на множество вещественных чисел, то ее можно называть целевым функционалом. Если применить метод линейной свертки, основанный на объединении частных критериальных функций в один **целевой функционал**, то задача выбора может быть описана выражением:

$$J(x) = \sum_{i=1}^n \alpha_i \cdot f_i(x) \rightarrow extr, \tag{2}$$

где α_i – весовые коэффициенты или показатели значимости отдельных критериальных функций f_i , причем $\forall \alpha_i : \alpha_i > 0; \sum_{i=1}^n \alpha_i = 1$.

Более реалистичной часто оказывается ситуация, когда целевой функционал оценивается не одним числом, а интервалом, т.е. работа ведется с векторным отображением:

$$J : X \rightarrow R^n, J = \{J_1, J_2, \dots, J_n\}, J_i = f_i(\varphi(x)). \tag{3}$$

В результате мы приходим к распространенной в приложениях многокритериальной модели принятия решений или задаче многокритериальной оптимизации вида

$$J_{optim}(x) \rightarrow_{x \in X} extr, i = 1, \dots, n, m.e. X \subset R^n. \tag{4}$$

Последнее уточнение указывает на то, что все альтернативы параметризованы и каждому из решений соответствует точка

$$x \in R^n, x = (x_1, \dots, x_n). \tag{5}$$

Детализируя общую постановку задачи выбора средств реализации, получим следующую структуру сложной ИТС S , где все параметры предлагается разделить на группы, например, параметры сигналов, параметры алгоритмов, которые предполагается реализовать, и параметры средств реализации и обозначить $\forall G \in \{G_1, G_2, \dots, G_j\}$ (рис. 3.)

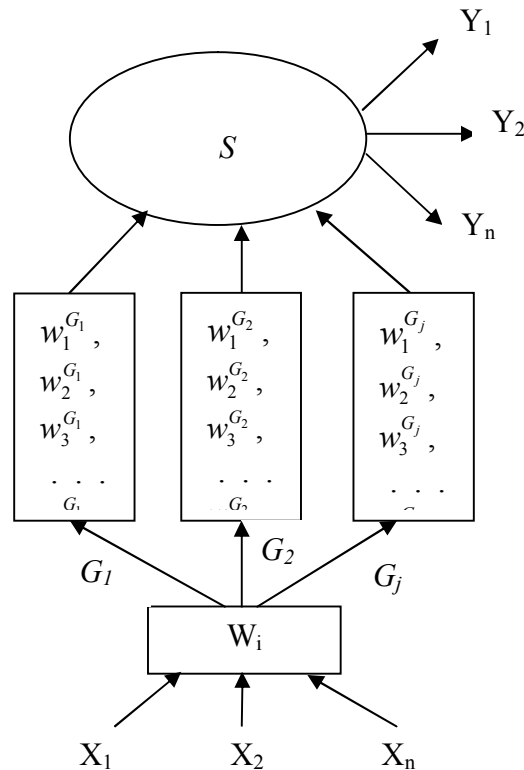


Рисунок 3 – Уточнение параметров W_i для S

Рассмотрим непосредственно структуру сложной ИТС диаграммами Венна (рис. 4).

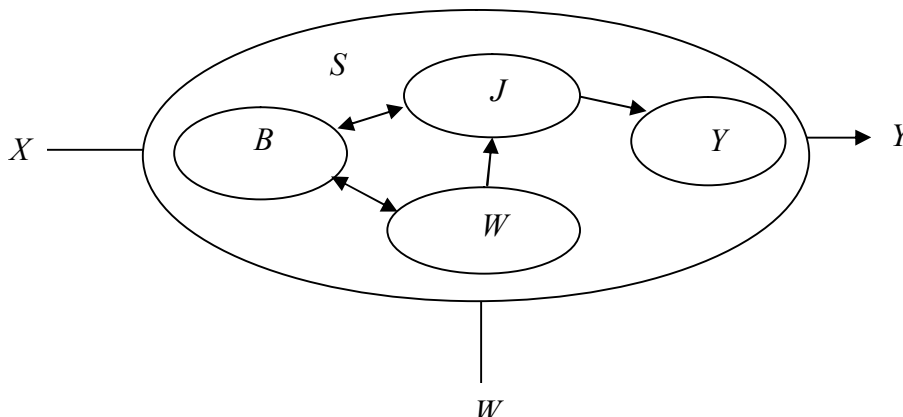


Рисунок 4 – Внутренняя структура S

Структура $S \in \{B \cup W \cup J \cup Y\}$ состоит из множества параметров $W \in \{W_1, W_2, \dots, W_i\}$, базы данных, содержащей конкретные значения параметров W , т.е.

$$B \in W_{real} = \{W_1^{G_1}, \dots, W_m^{G_1}, W_1^{G_2}, \dots, W_m^{G_2}, \dots, W_1^{G_j}, \dots, W_m^{G_j}\},$$

множества возможных реализаций целевого функционала $J \in \{J_1, J_2, \dots, J_k\}$ и множества возможных вариантов решений $Y \in \{Y_1, Y_2, \dots, Y_n\}$.

Множество параметров средств реализации представляется различными единицами измерений, поэтому для дальнейших преобразований подвергается нормированию:

$$K_m = \frac{w_m^{G_j}}{\max\{w_m^{G_j}\}}, \quad (6)$$

где $w_m^{G_j}$ – значение параметра w_m из группы G_j ; K_m – нормированные коэффициенты.

Совокупность параметров средств реализации взаимосвязана частными параметрическими функциями $f(K_m)$. Из всех нормированных коэффициентов K_m предлагается выделить существенные коэффициенты параметров K_m^S , оказывающие весомое, значительное влияние на выбор средства реализации алгоритмов, параметрические функции которых обозначим $f(K_m^S)$.

Формирование целевого функционала определится зависимостью от параметрических функций $f(K_m)$ и $f(K_m^S)$:

$$J(x) = J\left(\left(\sum_{i=1}^n \alpha_i \cdot f_i(K_m)\right), f_i(K_m^S)\right), \quad (7)$$

где n – количество частных параметрических функций, α_i – весовые коэффициенты.

Весовые коэффициенты α_i рассматриваются как показатели относительной значимости исходных параметров. При наличии существенно разнохарактерных коэффициентов определяется их приоритет согласно методике [7].

Целевой функционал ограничивается двумя условиями:

- областью определения является множество положительных значений;
- наличие экстремумов, при этом, вид может быть унимодальным.

Примерами унимодальных функций могут быть гауссова функция, параболическая, комбинированная экспоненциальная функция и ряд других, имеющих экстремум.

Выработка решения, т.е. формирование множества Y , начинается с разделения области допустимых значений функционала на диапазоны R^n , соответствующие вариантам реализации X_i . Множество вариантов реализации определяет совокупность интервалов значений целевого функционала R^n :

$$J : X \rightarrow R^n, J = \{J_1, J_2, \dots, J_k\} \quad (8)$$

при этом интервалу значений целевого функционала R^i приписывается соответствующий вариант реализации X_i . Если неизвестно преобладание какого-либо варианта реализации, то выбирается равномерное разделение области допустимых значений ЦФ на n интервалов [7].

Принятие решения для многокритериальной модели в условиях определенности формулируется следующим образом: попадание экстремума функционала в интервал значений и будет определять вариант реализации алгоритма. Процесс принятия решения можно записать в виде выражения:

$$J_{optim}(x) = J\left(\left(\sum_{i=1}^m \alpha_i \cdot f_i(K_i)\right), f_i(K_i^S)\right) \rightarrow \underset{x \in X}{extr}, X_i \subset R^i, i = 1, \dots, n. \quad (9)$$

Положение экстремума дает оптимальное значение множества Y при заданных исходных параметрах системы S .

Часть выражения (9) назовем обобщенной параметрической функцией:

$$F = \left(\sum_{i=1}^m \alpha_i \cdot f_i(K_i)\right), \quad (10)$$

тогда целевой функционал будет выглядеть

$$J_{optim}(x) = J(F, f_i(K_i^S)) \rightarrow \underset{x \in X}{extr}. \quad (11)$$

Альтернативные варианты реализации алгоритмов могут принципиально отличаться между собой (быть независимыми) и аналогичными (быть зависимыми). Для независимых вариантов реализации указание интервалов допустимых значений определяет однозначный выбор варианта реализации, и не допускает компромисса. Для зависимых вариантов реализации полученное решение не является однозначным. В этом случае может быть выбрано другое средство реализации, оно будет допустимым, но не оптимальным с точки зрения выбранного критерия.

Литература

1. Сальников И.И. Растровые пространственно-временные сигналы в системах анализа изображений / Сальников И.И. – М. : ФИЗМАТЛИТ, 2009. – 248 с.
2. Литвинская О.С. Основы теории выбора средств реализации проектируемой информационно-технической системы / О.С. Литвинская, И.И. Сальников. – Пенза : ЦНТИ, 2011. – 125 с.
3. Литвинская О.С. Структура принятия решения по выбору цифрового средства реализации алгоритма в информационной технической системе / О.С. Литвинская, И.И. Сальников // Журнал «Фундаментальные исследования». – М. : Российская академия естествознания. – 2010. – № 12. – С. 111-119.
4. Ларичев О.И. Теория и методы принятия решений, а также Хроника событий в Волшебных Странах : учебник для вузов / Ларичев О.И. – М. : Логос, 2000. – 296 с.
5. Микони С.В. Многокритериальный выбор на конечном множестве альтернатив : учебное пособие / Микони С.В. – СПб. : Лань, 2009. – 272 с.
6. Петровский А.Б. Теория принятия решения : учебник для студентов высших учебных заведений / Петровский А.Б. – М. : Академия, 2009. – 400 с.
7. Саати Т.Л. Принятие решений при зависимостях и обратных связях. Аналитические сети / Саати Т.Л. – М. : Радио и связь, 2009. – 285 с.

8. Черноурцкий И.Г. Методы оптимизации в теории управления : учебное пособие / Черноурцкий И.Г. – С/Пб. : Питер, 2004. – 256 с.
9. Юдин Д.Б. Вычислительные методы теории принятия решения / Юдин Д.Б. – М. : Наука, 1989. – 320 с.
10. Сальников И.И. Применение функции выбора при оптимизации параметров проектируемой сложной информационной системы / И.И. Сальников // Журнал «Искусственный интеллект», изд-во НАН Украины. – 2008. – № 4. – С. 291-301.

Literatura

1. Salnikov I.I. Rastrovye prostanstvenno-vremennye signaly v sistemah analiza izobrazheniy. – M. : Fizmatlit, 2009. – 248 s.
2. Litvinskaya O.S., Salnikov I.I. Osnovy teorii vybora sredstv realizacii proektiruemoj informacionno-tehnicheskoy sistemy. Penza: CNTI, 2011. – 125 s.
3. Litvinskaya O.S., Salnikov I.I. Struktura prinayatiya resheniya po vyboru cifrovogo sredstva realizacii algoritma v informacionnoy tehnicheskoy sisteme // Jurnal Fundamentalnye issledovaniya. – M. : Rossiyskaya akademiya estestvoznaniya, №12, 2010. – S.111-119.
4. Larichev O.I. Teoriya i metody prinayatiya resheniy, a takje Hronika sobytii v Volshebnyh Stranah: Uchebnic dlya vuzov. – M. : Logos, 2000. – 296 s.
5. Mikoni S.V. Mnogokriterialniy vibor na konechnom mnojestve alternative : uchebnoe posobie. – SPb. : Lan, 2009. – 272 s.
6. Petrovskii A. B. Teoriya prinayatiya resheniya: Uchebnic dlya studentov visshih uchebnyh zavedenii. – M. : Akademiya, 2009. – 400 s.
7. Saati T.L. Prinayatie reshenii pri zavisimostyah I obratnyh svyazyah. Analiticheskie seti. – M. : Radio i savyaz, 2009. – 285 s.
8. Chernourckii I.G. Metody optimizacii v teorii upravleniya: uchebnoe posobie. – SPb.: Piter, 2004. – 256 s.
9. Udin D.B. Vichislitelnye metody teoriiya prinayatiya resheniya. – M. : Nauka, 1989. – 320 s.
10. Salnikov I.I. Primenenie funkcii vibora pri optimizacii parametrov proektiruemoi sloznoi informacionnoi system. Jurnal «Iskusstvennyi intellect», Izd-vo NAN Ukraina, №4, 2008. – S. 91-301.

RESUME

O.S. Litvinskaya, I.I. Salnikov

Decision-Making in the Hierarchical System of Elections Using the Trust in Design Functional Devices Digital Information Processing

In the design of digital information processing device is used a wide range of implementation tools in a variety of electronic components. The choice of these funds currently is subjective, determined by the knowledge and commitment to the developer. We propose to use a quantitative approach as the system supports decision making (DSS) based on the objective functional, having an extreme.

The structural scheme of decision support system, which includes the paradise of the signal, the signal processing algorithm is implemented, the requirements for the designed device: performance, information per-formance, power consumption, and others. The presence of multi-parameter and heterogeneous environment leads to the need to use a hierarchical structure in the organization of the DSS.

In the article from generic entries addressed the issue of formalizing the process of decision making under multialternative optimization that arises in problems of design of technical systems the choice of means of implementation.

The algorithm of decision support system based on the use of the objective functional, which includes private parametric functions, and which has an extreme.

Статья поступила в редакцию 19.04.2013.