

УДК 519.863:621.394.4

*Розглядаються особливості застосування теорії багатокритеріальної оптимізації для вибору оптимального рішення при проектуванні систем передачі інформації*

*Ключові слова: радіочастотна ідентифікація, проектування систем, багатокритеріальна оптимізація*

*Рассматриваются особенности применения теории многокритериальной оптимизации для выбора оптимального решения при проектировании систем передачи информации*

*Ключевые слова: радиочастотная идентификация, проектирование систем, многокритериальная оптимизация*

*The article reviews the specifics of the theory of multi-criteria optimization for the optimal solution for the information transmission systems design*

*Keywords: RFID, systems design, multi-criteria optimization*

# МЕТОДОЛОГИЯ МНОГО- КРИТЕРИАЛЬНОЙ ОПТИМИЗАЦИИ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ РАДИОЧАСТОТНОЙ ИДЕНТИФИКАЦИИ

**И. В. Филиппенко**

Кафедра автоматизации проектирования вычислительной  
техники

Харьковский национальный университет  
радиоэлектроники

пр. Ленина, 14, г. Харьков, 61166

## 1. Введение

Задача проектирования систем передачи информации, как задача синтеза технической системы с заданными технико-экономическими характеристиками, представляет собой многоэтапный процесс. В современных условиях конкуренции возрастают требования к срокам и качеству проектирования, которые возможно решить с применением методов и средств автоматизированного проектирования (САПР).

Использование САПР приводит к повышению качества проектных решений, уменьшению времени проектирования, уменьшению трудоемкости проектирования. При этом для автоматизации процесса проектирования информационных систем радиочастотной идентификации возникает необходимость [1, 2]:

- формирования расчетной математической модели в виде соответствующей экстремальной задачи;
- выбора метода решения экстремальной задачи и способов его наилучшей практической реализации;
- создание соответствующих пакетов прикладных программ.

Системы радиочастотной идентификации характеризуются не одним, а некоторой совокупностью технико-экономических показателей качества. В частности, при проектировании системы необходимо учитывать

такие показатели качества как дальность связи, мощность ридера и метки, полоса частот, занимаемая в канале связи, скорость передачи данных и время считывания информации с метки, стоимость ридера и метки. При этом все показатели качества систем передачи информации тесно связаны между собой, многие из них являются противоречивыми, т.е. улучшение одних приводит к ухудшению других показателей. Следовательно, для повышения эффективности проектирования и нахождения оптимального варианта системы возникает необходимость использования методов многокритериальной оптимизации [3].

В статье рассматривается методология решения задачи многокритериальной оптимизации для нахождения оптимального проектного решения системы радиочастотной идентификации использующей кодовое разделение каналов.

## 2. Постановка задачи оптимизации проектируемой системы передачи информации

Систему радиочастотной идентификации в общем случае можно рассматривать как сложную систему упорядоченного множества элементов, которые полностью определяют ее структуру и эффективность работы [5].

Последовательность выбора оптимального проектного решения состоит в формировании множества

допустимых вариантов системы, затем определении совокупности показателей качества и на их основе задания обобщенного критерия оптимальности системы. На последнем этапе осуществляется выбор варианта системы, оптимального по заданному критерию [4, 5].

Пусть число проектных параметров будет равно  $n$ , а сами проектные параметры системы обозначим  $x$ . Тогда для каждого из альтернативных вариантов  $x_i$  из допустимого множества  $D$  может быть определено значение его полезности (ценности)  $P_i(x)$ .

Исходя из того, что некоторые из показателей качества систем радиочастотной идентификации являются противоречивыми, т.е. улучшение одних приводит к ухудшению других показателей, для совместного учета всей совокупности частных критериев необходимо рассматривать векторный критерий оптимальности

$$[P_1(x), P_2(x), \dots, P_n(x)] \quad (1)$$

приводящий к задаче многокритериальной оптимизации, решение которой в общем случае, не является оптимальным ни для одного из частных критериев и оказывается компромиссом для вектора  $P(\%)$  в целом.

Наиболее распространенный подход к решению многокритериальной задачи – сведение ее к однокритериальной [6]. Основой такого подхода является теория полезности, согласно которой предполагается, что существует некоторая обобщенная оценка ценности или полезности любого решения. Таким образом, задача по нескольким критериям оптимальности фактически сводится к тому, что при проведении оптимизации целевая функция должна быть единственной, т.е. критерий оптимальности принимает скалярный, а не векторный характер:

$$P(x) = [P_1(x), P_2(x), \dots, P_n(x)] \quad (2)$$

Под решением задачи оптимального проектирования будем понимать процесс выбора управляемых переменных  $x$ , принадлежащих области допустимых значений  $D$  и обеспечивающих единственное лучшее (эффективное) решение  $x^{opt} \in D$ :

$$x^{opt} = \operatorname{argextr} \{P_i(x)\}, i = \overline{1, n}. \quad (3)$$

Совокупность требований, при выполнении которых допустимое решение в наилучшей степени удовлетворяет поставленным целям, будем называть критерием оптимальности решения.

### 3. Методы выбора оптимального проектного решения на основе Парето-оптимальных проектных множеств

В общем виде множество допустимых решений  $X$  является композицией двух подмножеств: области согласованных решений и области компромиссов [6]. Под областью компромиссов или областью Парето-оптимальных решений понимается подмножество  $X$ , в котором ни один частный критерий

не возможно улучшить, не ухудшив хотя бы один другой частный критерий, таким образом в области компромиссов не выполняется принцип доминирования, а частные критерии являются противоречивыми.

Оптимальным по Парето на множестве допустимых решений соответствует подмножество Парето-оптимальных оценок  $P(X) = \operatorname{opt}_2 X$ , которые являются недоминируемыми вариантами системы по отношению  $\succ$ . Вариант системы  $x^0$  включается подмножество Парето, если на множестве допустимых вариантов  $D$  не существуют другие варианты, для которых выполняется векторное неравенство [3, 6]

$$\bar{p}(x) \succeq \bar{p}(x^0). \quad (4)$$

Последовательно выполняя перебор согласно (3) на множестве допустимых вариантов  $D$  проектируемой системы находится подмножество Парето-оптимальных проектных решений, которое в общем случае содержит не один, а несколько вариантов системы, недоминируемых по отношению строгого предпочтения. Остальные варианты системы, как безусловно худшие, отбрасываются.

Если найденное подмножество Парето-оптимальных вариантов системы оказалось узким, то на дальнейших этапах проектирования системы радиочастотной идентификации можно использовать любой из них [5, 6]. Как правило, подмножество Парето-оптимальных вариантов содержит большое количество систем. Следовательно, возникает задача сужения найденного подмножества с привлечением в качестве дополнительной информации предпочтений заказчика.

Выбор альтернативного варианта осуществляется на основе предпочтений лица, принимающего решения (ЛПР). В качестве методологической основы используется теория полезности, в соответствии с которой для каждого из альтернативных вариантов  $x$  может быть определено значение его полезности (ценности)  $P(x)$ . При этом:

$$\begin{aligned} x, y \in X: x \sim y &\leftrightarrow P(x) = P(y); \\ x \succ y &\leftrightarrow P(x) > P(y); \\ x \succeq y &\leftrightarrow P(x) \geq P(y). \end{aligned} \quad (5)$$

Одним из распространенных методов сужения подмножества Парето-оптимальных решений является метод свертывания векторного критерия к скалярной функции, оптимизация которой приводит к выбору одного варианта системы из подмножества Парето. Суть данного метода заключается в том, что частные критерии  $P_i(X), i = \overline{1, n}$  каким-либо образом объединяются в один интегральный критерий  $P(x) = \Phi(P_1(X), P_2(X), \dots, P_n(X))$ , а затем находится максимум или минимум данного критерия. В частности может быть использован метод аддитивного критерия оптимальности.

В этом случае целевая функция получается путем сложения нормированных значений частных критериев. В общем виде целевая функция имеет следующий вид:

$$P(X) = \sum_{i=1}^n \alpha_i p_i \rightarrow \max(\min), \tag{6}$$

при условии, что

$$\sum_{i=1}^n \alpha_i = 1,$$

где  $n$  – количество объединяемых частных критериев;

$\alpha_i$  – весовой коэффициент  $i$  – го частного критерия;

$p_i(X)$  – нормированное значение  $i$  – го частного критерия.

Так как частные критерии  $P_i(X), i=1, \dots, n$  имеют различную физическую природу, следовательно, различную размерность, просто суммировать их некорректно. В связи с этим выбирается линейное нормирующее преобразование частных критериев:

$$P_i = \left( \frac{P_i(x) - P_{i_{\text{нх}}}}{P_{i_{\text{ил}}} - P_{i_{\text{нх}}}} \right)^{\gamma_k}, \tag{7}$$

где  $P_{i_{\text{ил}}}$ ,  $P_{i_{\text{нх}}}$  – наилучшее и наихудшее значения  $i$  – го критерия;

$\gamma_k$  – показатель нелинейности, определяющий вид зависимости. При  $\gamma_k = 1$  имеет место место линейная зависимость, при  $0 < \gamma_k < 1$  – выпуклая, при  $\gamma_k > 1$  – выпуклая вниз зависимость.

В связи с тем, что размерности самих частных критериев и соответствующих нормирующих делителей одинаковы, в итоге обобщенный аддитивный критерий получается безразмерной величиной.

Для равноценных критериев, то есть критериев, для которых невозможно установить приоритет по важности, значения весовых коэффициентов выбираются одинаковыми [4]

$$\alpha_i = \frac{1}{n}, i = 1, 2, \dots, n. \tag{8}$$

Для неравноценных критериев, то есть критериев, для которых ЛПР может установить приоритет по важности, значения весовых коэффициентов выбираются в соответствии с важностью критерия. Возникает вопрос, каким образом выбрать численные значения весовых коэффициентов.

Анализ показал, что в предложениях о знаниях ЛПР существует определенный парадокс. С одной стороны, ЛПР дается право самому выбирать компромиссное решение, а с другой стороны, предполагается, что ЛПР не может четко указать, какое же решение он желает получить в рамках допустимых решений. В выражении для обобщенного критерия (5) обязательно присутствуют коэффициенты важности критериев. Задавать их должно ЛПР на основании собственной системы предпочтений (знаний) еще до начала решения задачи векторной оптимизации. Обоснованный выбор численных значений коэффициентов важности сводится к некоей совокупности предположений и догадок.

Очевидно, что обоснованное задание  $\alpha_i$  возможно только в случае, если ЛПР четко знает, какие значения критериев в результате решения задачи векторной оптимизации он хочет получить. Однако это требуемое решение всегда оказывается либо идеальным, т.е. несуществующим, либо существующим, но не являющимся компромиссной точкой [7]. Угадать компромиссную точку практически невозможно, тем более что желание ЛПР почти всегда идеалистично. Поэтому обоснованное задание  $\alpha_i$  реально невыполнимо.

Решение этой задачи возможно при использовании дополнительной информации о важности частных критериев оптимальности. В этом случае ЛПР осуществляет назначение весовых коэффициентов по численным значениям попарных приоритетов. В некоторых случаях информация о важности частных критериев оптимальности может быть задана по бальной шкале в виде числовых оценок приоритетов  $\xi_{ij}$  между двумя частными критериями  $P_i$  и  $P_j$  [8].

Пусть ЛПР задал дискретный ряд значений бальных оценок, например  $\alpha, \beta, \gamma, \delta$ , и определил по этой шкале сравнительную важность двух критериев оптимальности  $P_i$  и  $P_j$  следующим образом:

$$\xi_{ij} = \begin{cases} \delta/\alpha - \text{подавляющая важность } P_i \text{ по сравнению с } P_j \\ \gamma/\alpha - P_i \text{ имеет значительно большую важность по сравнению с } P_j \\ \beta/\alpha - P_i \text{ имеет большую важность, чем } P_j \\ \beta/\alpha - P_i \text{ и } P_j \text{ примерно равны по важности} \end{cases}. \tag{9}$$

$$\xi_{ij} = 0 \text{ при } i = j$$

При этом чаще всего  $\alpha=1$ .

Например, оценка 10/1 присваивается при подавляющей важности  $i$ -го критерия по сравнению с  $j$ -м критерием, оценка 5/1 – при значительно большей важности, 2/1 – при большей важности и 1/1 – при примерно равной важности.

По имеющейся информации о степени предпочтения по важности каждой пары частных критериев оптимизации составляется матрица  $n \times n + 1$ , в каждую строку которой вносится оценка приоритетов  $\xi_{ij}$ , которая характеризует по отношению к остальным важность каждого критерия оптимальности. Каждый элемент матрицы образуется следующим образом: в  $i$ -ю строку на место  $j$ -го столбца ставится числитель оценки  $\xi_{ij}$ , а в  $j$ -ю строку на место  $i$ -го столбца – 1.

В последнем  $(n+1)$ -м столбце матрицы для каждой строки находятся суммы оценок по столбцам  $n_k$ , которые характеризуют суммарную важность  $i$ -го критерия относительно всех остальных частных критериев.

Очевидно, что частным критериям, имеющим большую суммарную оценку  $n_k$ , должен соответствовать больший весовой коэффициент. Относительная важность каждого частного критерия в этом случае может быть определена из системы уравнений [8]:

$$\frac{\alpha_i}{\alpha_j} = \frac{n_k}{n_j}, j, i = 1, 2, \dots, n, i \neq j, \sum_{i=1}^n \alpha_i = 1 \tag{10}$$

---

#### 4. Применение методов многокритериальной оптимизации при проектировании системы передачи информации

---

Рассмотренная выше методология выбора оптимального проектного решения с учетом совокупности показателей качества была использована при решении задач проектирования систем передачи информации. При заданных начальных условиях проектируемой системы были выбраны такие показатели качества как скорость передачи данных, скрытность и помехозащитность передаваемого сигнала, ширина пропускания канала и т.д. Было получено множество возможных вариантов системы при одинаковых начальных условиях.

Затем согласно (4) было выделено Парето-оптимальное подмножество вариантов системы. С помощью (6) и с учетом (10) был получен единственный оптимальный вариант проектируемой информационной системы радиочастотной идентификации.

Рассмотренная методология получения оптимального решения может быть использована для разработки системы автоматизированного проектирования информационной системы радиочастотной идентификации.

---

#### 5. Выводы

---

В статье были рассмотрены особенности применения теории многокритериальной оптимизации для выбора оптимального решения при проектировании систем передачи информации. Была рассмотрена методология принятия решений в задачах векторной оптимизации, позволяющая максимально учесть пожелания заказчика, которая может быть использована для разработки системы автоматизированного проектирования информационной системы радиочастотной идентификации.

---

#### Литература

1. Захарченко М.В. и др. Автоматизация проектирования устройств, систем та мереж зв'язку –К.: Радиоаматор, 1996. -268с.
2. Тимченко А.А. Основи системного проектування та системного аналізу складних об'єктів: Основи САПР та системного проектування складних об'єктів. –К.: Либідь, 2003.
3. Ногин В.Д. и др. Основы теории оптимизации. М.: Высшая школа, 1986, 384 с.
4. Ногин В.Д. Принятие решений в многокритериальной среде: количественный подход. –М.: ФИЗМАТЛИТ, 2002. – 144 с.
5. Безрук В.М. Векторна оптимізація та статистичне моделювання в автоматизованому проектуванні систем зв'язку. –Харків: ХНУРЕ, 2002.-164с.
6. Петров Е.Г., Новожилова М.В., Гребеннік І.В. Методи і засоби прийняття рішень у соціально-економічних системах. –Київ.: Техніка, 2004. –256с.
7. Михалевич В.С, Волкович В.Л. Вычислительные методы исследования и проектирования сложных систем. – М.:Наука, 1982. –278с.
8. Батищев Д.И., Шапошников Д.Е. Многокритериальный выбор с учетом индивидуальных предпочтений / ИПФ РАН. Н. Новгород, 1994. – 92с.