

АЛЕШИН Г.В., д.т.н., профессор (УкрГУЖТ),
КОЛОМІЙЦЕВ А.В., к.т.н., с.н.с. (ХУВС)

Оптимальный выбор параметров радиоэлектронных систем по условному критерию максимума экономической эффективности

Предложен метод оптимального синтеза параметров радиоэлектронных систем по критерию максимальной экономической эффективности при заданной надежности. Оптимизация позволяет оценить экономическую целесообразность создания системы и предназначена для реального проектирования параметров, существенного повышения эффективности системы и борьбы с многомерностью задачи. Постановка задачи должна использовать реальную маркетинговую статистику функциональных элементов. Это повышает достоверность решений.

Ключевые слова: оптимизация, радиосистемы, эффективность, надежность.

Вступление

Синтез параметров предназначен для оценки экономической целесообразности и оптимизации радиоэлектронных систем на множестве параметров по критерию максимальной эффективности по заданной надежности за счет предложенной обработки маркетинговой технико-экономической статистики, используемой при постановке задачи.

Задача представляет собой один из методов задачи выбора оптимальных параметров и соответствующих функциональных элементов из их модульных рядов, который обеспечивает максимум эффективности при заданной надежности системы.

Новый метод решения, сформулированный в виде сепарабельного программирования в развитие метода Вульфа, обеспечивает универсальность программы, глобальность, то есть, независимость от размерности задачи, другие преимущества и допускает автоматизацию проектирования.

Представленное решение проблемы оптимального синтеза параметров радиосистем по своей новизне, полезности и результативности имеет все признаки актуальности.

Цель работы

Целью работы является постановка и решение глобальной, универсальной и эффективной задачи оптимизации радиоэлектронных систем на множестве параметров любой размерности, которые не могут выполнять свою главную функцию при полных независимых отказах функциональных элементов (ФЭ), и оценка экономической целесообразности создания таких систем.

Основные идеи статьи

Рассмотрен метод оптимального выбора параметров радиоэлектронных систем по критерию максимальной эффективности при заданной надежности. Оптимизация предназначена для оценки технической и экономической целесообразности создания или модернизации радиоэлектронных систем на этапе реального проектирования параметров систем при известной структуре и заданном сигнале.

Поиск оптимальных функциональных элементов с требуемыми параметрами в широкой базе маркетинговых данных или по известной технико-экономической статистике позволяет существенно повысить экономическую эффективность такой оптимизации при заданной надежности системы.

Результаты задачи позволяют по заданной надежности и стоимости системы определить гарантированный срок ее службы и максимальную эффективность.

Целевая функция в задаче оптимизации линеаризуется как в методе Вульфа. Это позволяет преобразовать задачу в сепарабельное программирование, чтобы получить решение в аналитическом виде. Это решение ценно тем, что можно использовать его как итеративную формулу при любой выпуклой нелинейной целевой функции. Оно гораздо проще решения Вульфа и универсально относительно формы целевой функции, устраняет проблему многомерности, быстро сходится.

Кроме того, по аналитической форме полученного оптимума можно оценить характер зависимости оптимальной эффективности и стоимости системы от требуемой вероятности безотказной работы, и наоборот, а также от статистики параметров функциональных элементов.

Для упрощения задачи, когда нет зависимости стоимости ФЭ от параметра, предлагается предварительная отбраковка маркетинговой технико-

экономической статистики для получения линий среднеквадратических регрессий стоимости на параметр методом наименьших квадратов. При этом происходит преобразование нечеткого множества стоимости в случайную величину.

Постановка проблемы синтеза параметров радиоэлектронных систем

Известны элементы общей теории радиоэлектронных систем мировых классиков [1]. В работах Р. Вудворда [3], Д. Миддлтона и других современных классиков [1, 5], особенно в теории радиолокации и связи, неправомерно используется интегральная форма функционала правдоподобия, которая привела к некорректной оценке потенциальной точности и к представлениям об оптимальности систем на множествах сигналов, структур и параметров. Это отразилось на теории систем и на их оптимизации.

Тем не менее, со временем стало ясно, что изначальные теории систем имеют множество некорректностей. Поэтому, независимо от этого, начали появляться работы по оптимизации радиоэлектронных систем, использующих методы математического программирования [1]. В основном это локальные задачи, имеющие частный характер [5]. Некоторое системное обобщение, полученное при решении своих задач оптимизации, получила работа Гуткина Л.С. [1], где важным является системное обобщение проблемы оптимизации по различным критериям или векторам качества и необходимость получения не просто решения, а массива решений в виде «кривых обмена». Пока о глобальности задач оптимизации систем никто не упоминал, поскольку не было таких задач, методов и алгоритмов. Методы математического программирования корректны, однако неуниверсальны, то есть, привязаны к формам целевой функции и ограничениям, к цифровому расчету, критичны к размерности, трудоемки и имеют свои особенности и сходимости.

Получилось так, что между теориями систем и реальными системами пролегла пропасть, которую частично преодолевали локальные работы. О затратных показателях долгое время было неприлично говорить приличным ученым. И хотя рыночная экономика взяла свое, все равно в качестве стоимости систем и их ФЭ используется не всегда понятный вид стоимости, нет описания точности такой величины, то есть, она задана на нечетком множестве. А без стоимости не может быть адекватного описания качества систем.

В работе учтены и преодолены указанные трудности теории систем.

Постановка и решение задачи

В качестве радиоэлектронной системы будем иметь в виду лазерную информационно-измерительную систему (ЛИИС) [6], предназначенную, например, для

испытаний летательных аппаратов (ЛА), где отказом подсистемы наведения может служить также сбой наведения луча.

Лучшим критерием качества системы является условный критерий предпочтения [1, 2], например, максимум эффективности или минимум стоимости ЛИИС при заданной надежности.

Отказ ФЭ во всей системе, и даже каждого из каналов, если важные испытания, можно считать полным отказом системы, а если – нет, то для каналов выполняется аналогичная задача.

Зависимость стоимости ФЭ от времени наработки на один отказ T_{iopt} иногда известна. Далее будет изложено, как получать такие зависимости.

Задача оптимизации имеет вид

$$\max \Delta C_0 = [C_3 - \min C_0(\bar{T})] \tag{1}$$

при ограничении $p_{\bar{o}p}(\bar{T}, t_0) \leq p_d$,

где ΔC_0 – экономическая эффективность ЛИИС; \bar{T} – вектор времени наработки на один отказ ФЭ; $C_0(\bar{T})$ – стоимость ЛИИС, как функция \bar{T} ; p_d – допустимая вероятность безотказной работы системы; $p_{\bar{o}p}(\bar{T}, t_0)$ – вероятность безотказной работы системы, как функция времени t_0 и параметров \bar{T} ; n – число элементов.

Причем,

$$p_{\bar{o}p}(\bar{T}, t_0) = \prod_{i=1}^n \exp(-\frac{t_0}{T_i}).$$

Задача или имеет сепарабельный вид, или упрощается за счет линеаризации $C_0(\bar{T})$:

$$\min C_0(\bar{T}) = [C_3(\bar{T}_0) + \min \sum_{i=1}^n C'_i(T_i)], \tag{2}$$

$$\text{при } \prod_{i=1}^n p_i(t_0, T) = \exp[-t_0(\sum_{i=1}^n \frac{1}{T_i})] \leq p_d, \tag{3}$$

$$\text{где } C_3 = \sum_{i=1}^n [C_i(T_{i0}) - C'_{i0}T_{i0}].$$

Задачу (2) и (3), с учетом линеаризации (1), можно представить в виде

$$\min C_A = \sum_{i=1}^n C'_i T_i, \tag{4}$$

$$\text{при } \sum_{i=1}^n \frac{1}{T_i} \leq \frac{1}{T_0} = \frac{1}{t_0} \ln \frac{1}{p_d}, \quad (5)$$

$$\text{где } C_A = C_0 - \sum_{i=1}^n [C_i(T_{i0}) + C'_i(T_{i0})T_{i0}];$$

T_0 – среднее время наработки всей ЛИИС на один (первый отказ), при котором еще сохраняется требуемая вероятность безотказной работы; T_{i0} – начальный план, или переменная – время наработки на один отказ i -го ФЭ, в окрестности значения которого осуществляется линеаризация целевой функции (1).

Функция Лагранжа имеет вид

$$L = \sum_{i=1}^n C'_i T_i + \lambda \sum_{i=1}^n \frac{1}{T_i}.$$

Тогда из условия $\frac{\partial L}{\partial T_i} = 0$ для $i \in (1, n)$ получаем

$$T_{i(1)} = \sqrt{\frac{\lambda}{C'_i(T_{i0})}}. \quad (6)$$

Подставим (6) в (5) и получим решение

$$T_{i(1)opt} = \frac{T_0 \sum_{i=1}^n \sqrt{C'_i(T_{i0})}}{\sqrt{C'_i(T_{i0})}} = T_0 \frac{a(\bar{T}_0)}{\sqrt{C'_i(T_{i0})}}, \quad (7)$$

$$\text{где } a(\bar{T}_0) = \sum_{i=1}^n \sqrt{C'_i(T_{i0})},$$

$$T_0 = t_0 \frac{1}{\ln \frac{1}{p_d}},$$

где T_0 – среднее время наработки на один отказ всей системы.

$$\text{Если } |T_{i(1)opt} - T_{i(0)opt}| \leq M; \quad M = 0,2 \frac{C_i(T_i)}{C_i^1(T_i)},$$

то в формулу (7) подставляется значение параметра T_{i0} . И процесс итерации продолжается. Если – нет, тогда

$$T_{i(1)opt} = T_{i(0)opt} \pm M.$$

Процесс продолжается до стабилизации всех параметров с определенной точностью.

Выражение для оптимальных ассигнований имеет аналитический вид в окрестности оптимального решения

$$\min C_E = a^2 T_0 = a^2 t_0 \frac{1}{\ln \frac{1}{p_d}}. \quad (8)$$

По заданной вероятности безотказной работы p_d и полученному оптимальному среднему времени наработки на один отказ T_0 системы, пересчитанному с учетом цикличности работы, определяется время эксплуатации t_{0z} и экономическая эффективность создания ЛИИС $C_0(\bar{T})$. Экономический эффект одного испытания минус затратные ресурсы C_u можно рассчитать. А экономическая целесообразность определяется по формуле

$$C_{\text{сц}} = [C_u \cdot t_0 - C_0(\bar{T}_{opt})]. \quad (9)$$

Таким образом, при планировании экспериментов и нужного испытательного комплекса появляется возможность априори все рассчитать и принять решение не только по одной системе, но и по всем возможным. Для этого нужно получить для них кривые обмена [1], а потом сравнить их эффективность и принять решение о лучшем составе комплекса.

Ни один метод математического программирования такого аналитического результата не дает. Для них еще нужен цифровой системный анализ результата.

Если не известны зависимости $C_k(T_k)$, то их можно получить обработкой собранной технико-экономической статистики, например, по образцу (рис. 1) по результатам опроса прайс-листов фирм-производителей ФЭ для каждого функционального элемента.

Видно, что цена ФЭ есть нечеткое множество, то есть, никакой корреляции между ценой и параметром не просматривается. Это и понятно – статистика набиралась для ФЭ, которые изготавливались на разных заводах-производителях комплектующих изделий, в разных условиях, с разными технологиями.

Поскольку чем меньше параметры по осям, тем лучше для системы, то отбраковываются неоптимальные верхние данные (сплошная линия).

Однако, неизвестно, где будет оптимальное решение ($X_{i(0)}$). Поэтому нужны данные по всему диапазону.

Для этого методом наименьших квадратов усредняется статистика (пунктирная линия). По существу, нечеткое множество стоимости преобразовали в случайную величину. Технические параметры ЛИИС, для которых нет таких зависимостей, фиксируются и не берут участия в оптимизации.



Рис. 1. Пример отбора статистики по каждому ФЭ

Таким образом, резервирование ФЭ осуществляется совершенно объективно и автоматически. Например, для двойного резервирования ФЭ нужно добавить точку с вдвое меньшим T_i и с вдвое большей стоимостью. Задача сама выберет лучший вариант.

Выводы

В отличие от обычных методов проектирования ЛИИС, где интуитивно выбирают параметры T_{i0} (и ФЭ), в статье предлагается использовать всю маркетинговую статистику, что существенно, возможно, на порядок, повышает эффективность систем. Это объясняется тем, что даже хороший эксперт не может точно угадать, где находится оптимум при нелинейном программировании.

Предложенный новый метод оптимизации ЛИИС имеет следующие преимущества перед существующими методами:

- не влияние проблемы многомерности;
- универсальность алгоритма оптимизации для произвольных целевых функций;
- быстрое схождение итеративного процесса (как и в градиентном методе);
- решение и оптимум получаются в общем виде;
- организация итеративного процесса за счет получения аналитического вида решения и оптимума;
- возможность видеть и прогнозировать развитие производства ЛИИС и их ФЭ.

Литература

1. Гуткин Л.С. Оптимизация радиоэлектронных устройств по совокупности показателей качества / Л.С. Гуткин. – М.: Сов. Радио. 1974.
2. Алешин Г.В., Богданов Ю.А. Эффективность сложных радиотехнических систем / Г.В. Алешин, Ю.А. Богданов. – К.: «Наукова думка». 2008. – 288 с.
3. Вудворд Ф.М. Теория вероятности и теория информации с применением в радиолокации [Текст] / Ф.М. Вудворд. – М.: Сов. Радио. 1966.
4. Альошин Г.В., Левтеров А.І., Ярута А.М. Відбір статистики для задач оптимізації автоматизованої системи управління дорожнім рухом / Г.В.Альошин, А.І. Левтеров, А.М. Ярута. – XV-я міжнародна НТК: «Автомобільний транспорт: проблеми і перспективи». – Севастополь, 10.09.2012.
5. Пратт В.К., Стокс, Хинкли. Определение оптимальных характеристик оптических систем / В.К. Пратт, Стокс, Хинкли. – ТИИЭР. – 1970. – Т. 58, № 10, – С. 355 – 364.
6. Пратт В.К. Лазерные системы связи / В.К. Пратт. – М.: Связь. 1972. – 232 с.

Альошин Г.В., Коломійцев О.В. Оптимальний вибір параметрів радіоелектронних систем за умовним критерієм максимуму економічної ефективності. Запропонований метод оптимального синтезу параметрів радіоелектронних систем за критерієм максимальної економічної ефективності при даній надійності. Оптимізація дозволяє оцінити економічну доцільність створення системи і призначена для реального проектування параметрів, суттєвого підвищення ефективності системи і боротьби з багатовимірністю задачі. Постановка задачі повинна використовувати реальну маркетингову статистику функціональних елементів. Це підвищує достовірність рішень.

Ключові слова: оптимізація, радіосистеми, ефективність, надійність.

Aloshin G. V., Kolomytsev A. V. Optimal choice of radio-electronic system parameters according to the conditional test of economic efficiency maximum. The method of optimal choice of radio-electronic system parameters according to the measure of maximum efficiency under the predetermined reliability has been considered. Optimization is intended for the estimation of technical and economic expediency of creating of modernizing radio-electronic systems at the stage of real designing system parameters under the known structure and preset signal.

The search for optimal functional elements with the

required parameters in the broad marketing database or according to the known technical and economic statistics allows increasing economic efficiency of such optimization at the predetermined reliability of the system substantially.

The results of the task allow us to determine assured service life and maximum efficiency according to predetermined safety and system cost.

The objective function in the task is linearized as in the method of Wolf. This allows transforming the task into separable programming in order to obtain the solution in analytical form. This solution is valuable due to its ability to be used as an iterative formula at any convex nonlinear objective function. It is much easier than Wolf's solutions and is universal concerning the shape of the objective function and what is more it eliminates the multidimensionality problem and converge quickly.

Key words: optimization, radio systems, efficiency, reliability.

Рецензент д.т.н., професор Приходько С.И.
(УкрГУЖТ)

Поступила 16.10.2015г.

Алешин Г.В. доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Транспортная связь» Украинского государственного университета железнодорожного транспорта, Харьков, Украина.

Коломийцев А.В. кандидат технических наук, старший научный сотрудник, Заслуженный изобретатель Украины, начальник научно-исследовательского отдела научного центра Воздушных Сил Харьковского университета Воздушных Сил имени Ивана Кожедуба, Харьков, Украина.

Aloshin G.V., doctor of technical science, professor, professor of "Transport connection" Department, Ukrainian State University of Railway Transport, Kharkov, Ukraine.

Kolomiytsev A.V., candidate of technical science, senior research worker, Deserved inventor of Ukraine, chief of science research department scientific center of Air Forces, Kharkov University of Air Forces named Ivan Kozhedub, Kharkov, Ukraine.