



Україна

ISSN 1563-0064

РАДИО-

ТЕХНІКА

КОПІЯ ВІРНА
ЗГІДНО З
ОРИГІНАЛОМ

И

Відомо



Відомо

Відомо

2000

4(13)

ТЕХНІКА

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ УКРАИНЫ

ХАРЬКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ

ISSN 1563-00

РАДИОЭЛЕКТРОНИКА И ИНФОРМАТИКА

Научно-технический журнал

Основан в 1997 г.

№ 4(13), октябрь — декабрь 2000

Выходит 4 раза в год

Тематика:

- радиотехника
- электроника
- телекоммуникации
- системы и процессы управления
- компьютерная инженерия и техническая диагностика
- компьютерные науки
- информационные технологии в науке, образовании, культуре, медицине, экономике, экологии, социологии

© Харьковский государственный технический
университет радиозлектроники, 2000

Свидетельство о государственной регистрации КВ № 2657 от 02.06.97.

РЕШЕНИЕ КОМПРОМИССНЫХ ЗАДАЧ СХЕМОТЕХНИЧЕСКОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ МЕТОДОМ ВАРИИРОВАНИЯ ВЕСОВЫМИ КОЭФФИЦИЕНТАМИ В КРИТЕРИАЛЬНЫХ СВЕРТКАХ

КУНИК Е.Г., СЕМЕНЕЦ В.В., ДОВНАРЬ А.И.,
ПРАСОЛ И.В., ПУЩИН Р.В., КОСТЮК Н.Н.

Излагается подход и общий алгоритм варьирования весовыми коэффициентами в аддитивных свертках частных критериев для определения компромиссных решений, удовлетворяющих требованиям минимакса. Процесс проектирования схем электронной медицинской аппаратуры носит итерационный характер и заключается в выборе такой структуры, которая позволяет путем целенаправленного изменения параметров ее элементов достичь оговоренных в техническом задании свойств и характеристик всей схемы в целом. Такая задача обычно решается в рамках автоматизации параметрической оптимизации. Как правило, при решении оптимизационных задач в электронике сталкиваются с проблемой многокритериальности. Наиболее распространенным подходом к решению этих задач остается минимаксный [1], при котором решением считается точка:

$$X^* = f^{-1} \left(\min_{X \in \Omega} \max_j f_j(X), j = \overline{1, m} \right). \quad (1)$$

Здесь f^{-1} — символ обратного преобразования $f(X)$ в X ; $f_j(X)$ — нормированная каким-либо образом непрерывная функция, определяющая j -й критерий качества;

$$\Omega = S_1 \cap S_2, \quad (2)$$

где $S_1 = \{X | g_k' \leq g_k \leq g_k'', k = \overline{1, l}\}$;

$$S_2 = \{X | x_i' \leq x_i \leq x_i'', i = \overline{1, n}\},$$

$g_k(X), k = \overline{1, l}$ — в общем случае нелинейные функции ограничений.

В работе [2] поиск решения (1) предлагается следующим образом.

Пусть

$$F(\lambda, X) = \sum_{j=1}^m \lambda_j f_j(X), \quad (3)$$

$$\lambda_j \in E,$$

$$E = \left\{ \lambda \in R^m \mid 0 \leq \lambda_j \leq 1, \sum_{j=1}^m \lambda_j = 1 \right\}. \quad (4)$$

Тогда

$$X^* = f^{-1} \left(\max_{\lambda \in E} \min_{X \in \Omega} F(\lambda, X) \right). \quad (5)$$

Очевидно, что процесс получения решения (5) представляет собой двухуровневую оптимизацию.

На нижнем уровне при заданных $\lambda_j, j = \overline{1, m}$ используется один из известных методов нелинейного программирования в целях поиска вектора

X^{I*} , минимизирующего свертку (3) на r -м шаге, при этом решение будет принадлежать нижней левой границе (НЛГ) [3]. На верхнем уровне работает алгоритм направленного изменения $\lambda_j, j = \overline{1, m}$, который, основываясь на информации о состоянии оптимизируемой системы в точке X^{I*} , стремится достичь максимума функции $\min_{X \in \Omega} F(\lambda, X)$.

При построении эффективного алгоритма оптимизации верхнего уровня возникает необходимость в определении вектора градиента $\left(\frac{\partial F(\lambda, X)}{\partial \lambda_j} \right), j = \overline{1, m}$.

На первый взгляд численно эту операцию можно было бы осуществить путем попеременного изменения λ_j при неизменных $\lambda_k, k = \overline{1, m}, k \neq j$ и проведения соответствующих процедур минимизации $F(\lambda, X)$ по X . Однако здесь следует учитывать два важных обстоятельства:

а) для получения вектора градиента $\left(\frac{\partial F(\lambda, X)}{\partial \lambda_j} \right), j = \overline{1, m}$ потребуется минимум $(m+1)$ этапа минимизации свертки (3);

б) возникает проблема получения надежного решения, так как при выполнении действия

$$\lambda_j' = \lambda_j + \Delta \lambda_j, \lambda_k = \text{const}, k = \overline{1, m}, k \neq j$$

могут быть нарушены условия (4), что приведет к выходу квазиоптимальной точки X^{I*} за область компромиссов НЛГ. Это недопустимо.

В связи с этим для определения вектора частных

производных $\left\{ \frac{\partial F(\Lambda, X)}{\partial \lambda_j} \right\}, j = \overline{1, m}$ предлагается следующий подход.

Запишем задачу оптимизации (3), (4) в таком виде:

$$F^*(\Lambda) = \max_{\lambda} \sum_{j=1}^m \lambda_j f_j^{\min}(\Lambda), \quad (6)$$

где $f_j^{\min}(\Lambda)$ — значение j -й функции в точке X_{Γ^*} , полученной при минимизации свертки (3) на Γ -м этапе.

Определим вектор $\left\{ \frac{\partial F(\Lambda, X)}{\partial \lambda_j} \right\}, j = \overline{1, m}$ в некоторой

точке Λ^0 :

$$F(\Lambda^0) = \sum_{j=1}^m \lambda_j^0 f_j^{\min}(\Lambda^0);$$

$$F(\Lambda^0 + \Delta\Lambda) =$$

$$= \sum_{j=1}^m (\lambda_j^0 + \Delta\lambda_j) f_j^{\min}(\Lambda^0 + \Delta\Lambda);$$

$$F(\Lambda^0 + \Delta\Lambda) - F(\Lambda^0) =$$

$$= \sum_{j=1}^m (\lambda_j^0 + \Delta\lambda_j) f_j^{\min}(\Lambda^0 + \Delta\Lambda) -$$

$$- \sum_{j=1}^m \lambda_j^0 f_j^{\min}(\Lambda^0) = \sum_{j=1}^m \lambda_j^0 f_j^{\min}(\Lambda^0 + \Delta\Lambda) +$$

$$+ \sum_{j=1}^m \Delta\lambda_j f_j^{\min}(\Lambda^0 + \Delta\Lambda) -$$

$$- \sum_{j=1}^m \lambda_j^0 f_j^{\min}(\Lambda^0) =$$

$$= \sum_{j=1}^m \lambda_j^0 (f_j^{\min}(\Lambda^0 + \Delta\Lambda) - f_j^{\min}(\Lambda^0)) +$$

$$+ \sum_{j=1}^m \Delta\lambda_j f_j^{\min}(\Lambda^0 + \Delta\Lambda) =$$

$$= \sum_{j=1}^m \lambda_j^0 \Delta f_j^{\min}(\Lambda^0) +$$

$$+ \sum_{j=1}^m \Delta\lambda_j f_j^{\min}(\Lambda^0 + \Delta\Lambda).$$

Вычислим теперь частную производную по одной из координат:

$$\frac{F(\Lambda^0 + \Delta\Lambda) - F(\Lambda^0)}{\Delta\lambda_k} =$$

$$= \sum_{j=1}^m \lambda_j^0 \frac{f_j^{\min}(\Lambda^0 + \Delta\Lambda) - f_j^{\min}(\Lambda^0)}{\Delta\lambda_k} +$$

$$+ \sum_{j=1}^m \frac{\Delta\lambda_j}{\Delta\lambda_k} f_j^{\min}(\Lambda^0 + \Delta\Lambda). \quad (7)$$

Переходя к предельно малым величинам, получаем:

$$\frac{\partial F(\Lambda)}{\partial \lambda_k} = \sum_{j=1}^m \lambda_j \frac{\partial f_j^{\min}(\Lambda)}{\partial \lambda_k} +$$

$$+ \sum_{j=1}^m \frac{\partial \lambda_j}{\partial \lambda_k} f_j^{\min}(\Lambda).$$

Наличие сомножителя $\frac{\partial \lambda_j}{\partial \lambda_k}$ свидетельствует о том,

что множество переменных Λ является внутренне зависимым, т.е. весовые коэффициенты зависят от своих же значений внутри компакта E .

Раскроем этот сомножитель следующим образом.

Пусть

$$\lambda_j^1 = \frac{\lambda_j^0}{1 + \Delta\lambda_k^p}; \quad \lambda_k^1 = \frac{\lambda_k^0 + \Delta\lambda_k^p}{1 + \Delta\lambda_k^p}; \quad j \neq k,$$

где $\Delta\lambda_k^p$ — рабочее приращение k -го весового коэффициента. Таким образом, предполагается подвижная связь между всеми весовыми коэффициентами. Тогда

$$\Delta\lambda_j = \frac{\lambda_j^0}{1+\Delta\lambda_k^p} - \lambda_j^0 = -\frac{\lambda_j^0\Delta\lambda_k^p}{1+\Delta\lambda_k^p};$$

$$\Delta\lambda_k = \frac{\lambda_k^0 + \Delta\lambda_k^p}{1+\Delta\lambda_k^p} - \lambda_k^0 = \frac{\Delta\lambda_k^p(1-\lambda_k^0)}{1+\Delta\lambda_k^p},$$

$$\frac{\Delta\lambda_j}{\Delta\lambda_k} = -\frac{\lambda_j}{1-\lambda_k} \quad \text{для } j \neq k,$$

а для λ_k это частное будет равно, естественно, единице и формула (7) запишется в следующем виде:

$$\frac{\partial F(\Lambda)}{\partial \lambda_k} = \sum_{j=1}^m \lambda_j \frac{\partial f_j^{\min}(\Lambda)}{\partial \lambda_k} - \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq k}}^m \frac{\lambda_j}{1-\lambda_k} f_j(\Lambda) + f_k(\Lambda). \quad (8)$$

Выражение (8) дает возможность построить следующий алгоритм численного дифференцирования функции $\min_{X \in \Omega} \sum_j \lambda_j f_j(X)$:

1. Исходная точка, в которой необходимо определить вектор — градиент, задается, допустим, значениями $\lambda_j^0 \in E$.
2. Определяется точка, доставляющая минимум свертке (3).
3. Определяются $f_j^{\min}(\Lambda^0)$, $j = \overline{1, m}$.
4. Задается $\Delta\lambda$.
5. Вычисляется $\lambda_j^1 = \frac{\lambda_j^0}{1+\Delta\lambda}$; $\lambda_s^1 = \frac{\lambda_s^0 + \Delta\lambda}{1+\Delta\lambda}$, $1 \leq s \leq m$, $j \neq s$.
6. Выполняется п.2 для Λ^1 .
7. Выполняется п.3 для Λ^1 .
8. По формуле (8) вычисляются составляющие

$$\text{вектора производных} \left\{ \frac{\partial F(\Lambda, X)}{\partial \lambda_j} \right\}, j = \overline{1, m}.$$

Тестовый пример

Пусть нормированные критерии качества описываются следующей системой функций:

$$f_1 = (x_1 - 1)^2 + x_2^2,$$

$$f_2 = (x_1 - 2)^2 + (x_2 - 2)^2,$$

$$f_3 = (x_1 - 3)^2 + x_2^2, \quad \Omega = R^2.$$

Необходимо определить точку X^* , в которой

$$\min_{X \in \Omega} \sum_{j=1}^3 \lambda_j f_j(X^*) \Rightarrow \max_{\lambda \in E}$$

Продифференцировав заданную свертку (3) по X и приравняв частные производные нулю, получим значения вектора X , в которых достигается ее минимум при заданных λ_j , $j = \overline{1, 3}$. Это будут соответственно

$$x_1 = \lambda_1 + 2\lambda_2 + 3\lambda_3; x_2 = 2\lambda_2.$$

Тогда можно записать, что

$$f_1^{\min}(\Lambda) = (\lambda_1 + 2\lambda_2 + 3\lambda_3 - 1)^2 + 4\lambda_2^2;$$

$$f_2^{\min}(\Lambda) = (\lambda_1 + 2\lambda_2 + 3\lambda_3 - 2)^2 + (2\lambda_2 - 2)^2;$$

$$f_3^{\min}(\Lambda) = (\lambda_1 + 2\lambda_2 + 3\lambda_3 - 1)^2 + 4\lambda_2^2;$$

$$\frac{\partial f_1^{\min}(\Lambda)}{\partial \lambda_1} = 2(\lambda_1 + 2\lambda_2 + 3\lambda_3 - 1);$$

$$\frac{\partial f_1^{\min}(\Lambda)}{\partial \lambda_2} = 4(\lambda_1 + 4\lambda_2 + 3\lambda_3 - 1);$$

$$\frac{\partial f_1^{\min}(\Lambda)}{\partial \lambda_3} = 6(\lambda_1 + 2\lambda_2 + 3\lambda_3 - 1);$$

$$\frac{\partial f_2^{\min}(\Lambda)}{\partial \lambda_1} = 2(\lambda_1 + 2\lambda_2 + 3\lambda_3 - 2);$$

$$\frac{\partial f_2^{\min}(\Lambda)}{\partial \lambda_2} = 4(\lambda_1 + 4\lambda_2 + 3\lambda_3 - 4);$$

$$\frac{\partial f_2^{\min}(\Lambda)}{\partial \lambda_3} = 6(\lambda_1 + 2\lambda_2 + 3\lambda_3 - 2);$$

$$\frac{\partial f_3^{\min}(\Lambda)}{\partial \lambda_1} = 2(\lambda_1 + 2\lambda_2 + 3\lambda_3 - 3);$$

$$\frac{\partial f_3^{\min}(\Lambda)}{\partial \lambda_2} = 4(\lambda_1 + 4\lambda_2 + 3\lambda_3 - 3);$$

$$\frac{\partial f_3^{\min}(\Lambda)}{\partial \lambda_3} = 6(\lambda_1 + 2\lambda_2 + 3\lambda_3 - 3).$$

1) Допустим $\lambda_1 = \lambda_2 = \lambda_3 = \frac{1}{3}$. Тогда

$$X^{r*} = (2, 0, 667), f^{\min}(\Lambda) = (1, 444, 1, 778, 1, 444).$$

Вектор частных производных, вычисленный по формуле (8), будет следующим:

$$\frac{dF(\Lambda)}{d\Lambda} = (-0, 167, 0, 333, -0, 167).$$

2) Теперь в другой точке:

$$\lambda_1 = 0, 1; \lambda_2 = 0, 3; \lambda_3 = 0, 6,$$

$$X^* = (2.5, 0.6); F^{\min}(\lambda) = (2.61; 2.21; 0.61);$$

$$\frac{dF(\lambda)}{d\lambda} = (1.467, 1.314, -1.7).$$

Анализ результатов приводит к выводу, что полученные частные производные верно указывают знак и относительную величину приращения весовых коэффициентов на следующем шаге оптимизации.

Изложенное выше позволяет следующее.

1. Для любой точки НЛГ определить вектор частных производных

$$\left(\frac{\partial F(\lambda, X)}{\partial \lambda_j} \right), j = 1, m.$$

2. Эта операция проводится с приемлемой точностью (в зависимости от $\Delta \lambda_j$) всего за две минимизации свертки (3).

3. Так как известны граничные значения весовых коэффициентов λ_j , можно легко определить оптимальную длину вектора приращений.

Практическое применение полученных результатов дает возможность более эффективно реализовать подход к решению общей задачи поиска компромиссных решений методом варьирования весовых коэффициентов в критериальных свертках, рассмотренным в [2].

Литература: 1. Норенков И.П., Мулярчик С.Г., Иванов С.Р. Экстремальные задачи при схемотехническом проектировании в электронике. Минск: Б.И., 1976. 240 с. 2. Куник Е.Г., Довнар Е.И. Алгоритм варьирования весовых коэффициентов для определения комп-

УДК 681.3 : 622.276

ЗАСТОСУВАННЯ ТЕОРІЇ НЕЧІТКИХ МНОЖИН ДЛЯ ІНФОРМАЦІЙНОГО ОПИСУ НАФТОГАЗОВИХ ОБ'ЄКТІВ

ЮРЧИШИН В.М.

Аналізуються підходи до рішення задач в умовах інформаційної невизначеності і класичні методи оптимізації стосовно пошуку, розвідки та розробки нафтових родовищ. Розглядаються основні положення, що розкривають суть підходу до інформаційних описів з нечіткою початковою інформацією і нечітким відношенням при прийнятті рішення. Пропонуються математичні описи допустимих альтернатив і відношень нафтогазової предметної області.

Вдосконалення процесів пошуку, розвідки та розробки нафтогазових родовищ, здійснення контролю за зміною параметрів, що описують нафтогазові об'єкти, вимагає рішення різноманітних оптимізаційних задач в умовах інформаційної невизначеності.

Для прийняття рішення в конкретній ситуації необхідний формальний опис цілі. Але в нафтогазовій галузі формалізація цілі не завжди можлива.

ромиссных решений при схемотехническом проектировании. Автоматизированные системы управления и приборы автоматики. 1982. Вып. 63. С. 18-23. 3. Гуткин Л.С. Оптимизация радиоэлектронных устройств по совокупности показателей качества. М.: Сов. радио. 1975. 368 с.

Поступила в редколлегию 22.06.2000

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Ягуп В.Г.

Куник Евгений Григорьевич, канд. техн. наук, проф. кафедры БМЭ, декан факультета заочного обучения ХТУРЭ. Научные интересы: автоматизация схемотехнического проектирования, параметрический синтез. Адрес: Украина, 61093, Харьков, ул. Социалистическая, 60а, кв. 156, тел. 72-20-30.

Семенец Валерий Васильевич, д-р техн. наук, проф. кафедры БМЭ, проректор ХТУРЭ. Научные интересы: автоматизация проектирования БИС. Адрес: Украина, 61166, Харьков, ул. Правды, 7, кв. 35, тел. 47-41-54.

Довнар Александр Иосифович, канд. техн. наук, ст. инженер НПО "Турбоатом". Научные интересы: решение векторных задач оптимизации. Адрес: Украина, 61184, Харьков, ул. Дружбы народов, 237, кв. 85.

Прасол Игорь Викторович, канд. техн. наук, доцент кафедры БМЭ ХТУРЭ. Научные интересы: макромоделирование в схемотехническом проектировании. Адрес: Украина, 61093, Харьков, ул. Социалистическая, 56, кв. 7, тел. 72-88-66.

Пушин Роман Вячеславович, аспирант ХТУРЭ. Научные интересы: решение многокритериальных задач оптимизации. Адрес: Украина, 61124, Харьков, пр. Гагарина, 176, кв. 52, тел. 16-07-36.

Костюк Николай Николаевич, аспирант ХТУРЭ. Научные интересы: оптимизация сложных электронных систем, макромоделирование. Адрес: Украина, 61005, Харьков, переул. Юрьевский, 1/26, кв. 3.

При цьому труднощі обумовлені відсутністю формалізованих моделей задач, що підлягають рішенню, неможливістю врахування усіх факторів при формалізації недостатньої або недостовірної початкової інформації. Фактично потрібне поєднання математичних методів і частково формальних процедур, що виконуються фахівцем нафтогазової галузі [1,2], тобто виникає проблема формалізованого прийняття рішення в умовах невизначеності.

Для розв'язання задач в умовах невизначеності здійснюються різні підходи: розробка спеціальних методів врахування невизначеності інформації, методів багатокритеріальної (або векторної) оптимізації, експертної оцінки і т.ін. У всіх цих підходах поряд з математичними методами передбачається безпосереднє використання досвіду, знань і інтуїції фахівців, що беруть участь в управлінні, оптимізації і прийнятті рішення. Кожний з вказаних методів описується поняттями нечітких множин і відношень, що введені Л.А. Заде [3,4]. Класичні методи оптимізації вимагають точного задання цілі і обмежень, а інколи й існування оптимального. Однак в задачах пошуку, розвідки та розробки нафтових родовищ рідко точно можна сформулювати цілі і обмеження. Крім того, сприйняття цілі оптимізації фахівцем нафтогазової галузі може не збігатися з простою максимізацією корисності.