

УДК 621.391.3

Гороховський Є.П., здобувач

МЕТОД ВИРІШЕННЯ ЗАВДАННЯ БАГАТОКРИТЕРІАЛЬНОЇ ОПТИМІЗАЦІЇ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ РІЗНОРІДНИМИ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИМИ МЕРЕЖАМИ

Gorohovskyy E.P. The method of solving the problem of multi-objective optimization of control system of telecommunications networks. In the article the solution of multi-objective optimization of management systems for telecommunications networks to ensure optimal performance of quality control that most affect the efficiency of the network. The described solution of vector optimization based on analysis of Pareto. The problem of optimal synthesis is the choice of control variables X , which are permitted area and provide optimal value characteristics CS $Q(X)$. Identified priorities vector synthesis, provides guidance on the selection range of quality, its quantity. It is shown that the main objective in the design of control systems and reduce their costs is to minimize the number of managing information. The problem minimax method of finding the minimum number of managing information in a linear programming problem. Private shown the determination criteria using linear programming methods.

Keywords: system management, optimization, vector optimization controlled objects minimization objective function.

Гороховський Є.П. Метод вирішення завдання багатокритеріальної оптимізації систем управління різномірними телекомунікаційними мережами. У статті пропонується рішення задачі багатокритеріальної оптимізації систем управління телекомунікаційними мережами для забезпечення оптимальних показників якості управління, що найбільш впливають на ефективність функціонування мережі. Описані рішення задачі векторної оптимізації на основі аналізу множин Парето. Визначені першочергові завдання векторного синтезу, даються рекомендації щодо вибору спектру показників якості, їх кількості. Показано, що основним завданням при проектуванні систем управління та зменшення їх вартості є мінімізація кількості управляючої інформації. Приведені визначення приватних критеріїв за допомогою методів лінійного програмування.

Ключові слова: система управління, оптимізація, векторна оптимізація, контрольовані об'єкти, мінімізація, цільова функція.

Gorohovskyy E.P. Method of solution of the multi-criteria optimization problem of control systems of heterogeneous telecommunication networks. In the article the solution of multi-objective optimization of management systems for telecommunications networks to ensure optimal performance of quality control that most affect the efficiency of the network. The described solution of vector optimization based on analysis of Pareto. The problem of optimal synthesis is the choice of control variables X , which are permitted area and provide optimal value characteristics CS $Q(X)$. Identified priorities vector synthesis, provides guidance on the selection range of quality, its quantity. It is shown that the main objective in the design of control systems and reduce their costs is to minimize the number of managing information. The problem minimax method of finding the minimum number of managing information in a linear programming problem. Private shown the determination criteria using linear programming methods.

Ключевые слова: система управления, оптимизация, векторная оптимизация, контролируемые объекты, минимизация, целевая функция.

Вступ

У сучасній науково-технічній літературі розглянуті методи багатокритеріальної оптимізації систем управління (СУ) телекомунікаційними мережами [1 - 9]. Описано особливості СУ як складної системи. Визначено основні критерії (показники) якості які найбільш впливають на ефективність управління мережами. Розроблено методи об'єднання суперечливих критеріїв і визначення узагальненого критерію. Рішення задачі оптимального синтезу полягає у виборі керуючих змінних X , які належать допустимій області та забезпечують оптимальне значення характеристик СУ $Q(X)$.

Виклад основного матеріалу дослідження

Як відомо, характеристика, яка показує відносну перевагу одного варіанта в порівнянні з іншим, називається критерієм оптимальності (цільовою функцією, критерієм ефективності, функцією корисності і т. п.).

Екстремальне значення критерію оптимальності $Q(X)$ (кількісне значення) може бути отримано в залежності від конкретного завдання максимуму або мінімуму цієї функції.

Оптимізація систем управління, як правило, ведеться за кількома критеріями. Має місце задача векторної оптимізації

$$l(q) \rightarrow \min_{q \in Q}.$$

Компоненти l_i векторного критерію I називаються приватними критеріями (показниками). Результати мінімізації приватних критеріїв в загальному випадку не збігаються. На рис. 1 ілюструється завдання мінімізації двох приватних критеріїв $l_1(q)$, $l_2(q)$ які залежать від одного параметра. Оскільки оптимальні значення параметрів не збігаються, тобто $q1^* \neq q2^*$, то виникає питання, що слід вважати рішенням завдання векторної оптимізації.

За визначенням, рішенням завдання векторної оптимізації є множина значень параметрів, де зміна будь-якого параметра з метою поліпшення одного з приватних критеріїв обов'язково погіршує хоча б один інший. Таку множину непокрощуючих рішень називають множиною Парето.

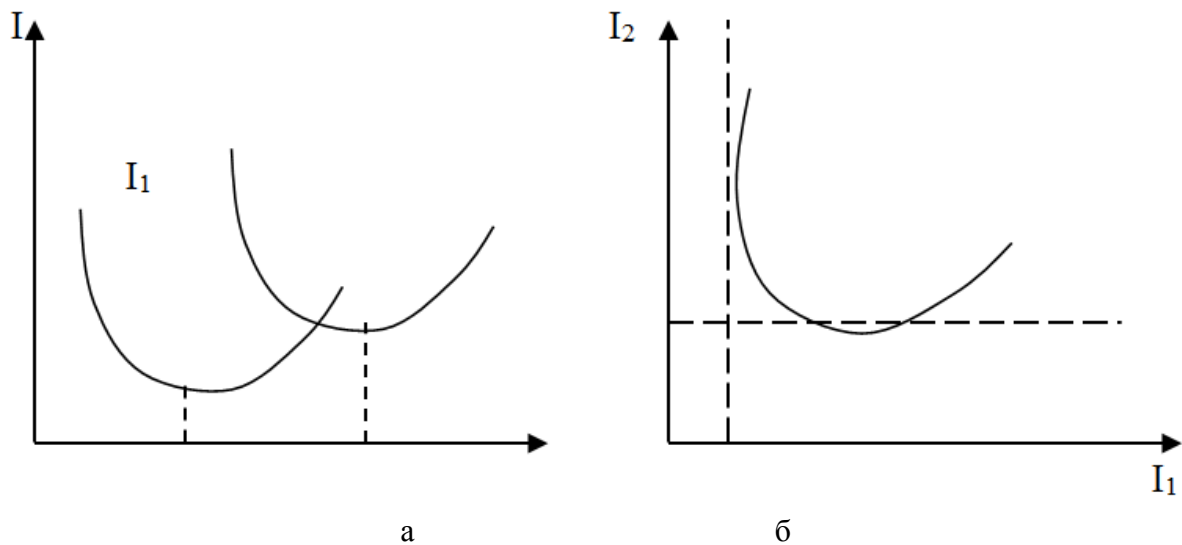


Рис. 1. Ілюстрація завдання векторної оптимізації

На рис. 1, а області Парето на осі параметра q відповідає відрізок між значеннями $q1^*$ і $q2^*$ приватних оптимумів. Тут зміна q з метою зменшення одного показника призводить до збільшення іншого показника. Інша ілюстрація області Парето приведена на рис. 1, б, де по осях відкладені значення приватних показників $l_1(q)$ і $l_2(q)$.

Для кожного критерію $Q_1(X)$, $Q_2(X)$, ..., $Q_m(X)$ необхідно знайти вектор, $\bar{X} = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ який забезпечує мінімальне (максимальне) значення критерію оптимальності:

$$Q_i(x_1, x_2, \dots, x_n) \geq 0, i = \overline{1, m};$$

$$x_j^- \leq x_j \leq x_j^+, j = \overline{1, n}.$$

Таким чином, рішення задачі оптимізації може бути зведено до вирішення умови оптимізації - тобто визначення оптимального значення X^* і знаходження мінімального (максимального) значення критерію оптимальності.

Для СУ доцільно за допомогою методу експертних оцінок визначити наступні приватні критерії:

$Q_1(X)$ - функція, що характеризує кількість керуючої інформації при забезпеченні необхідного спектра послуг;

$Q_2(X)$ - функція, що характеризує затримку керуючої інформації при певній кількості контрольованих об'єктів і швидкодії центрів комутації пакетів СУ;

$Q_3(X)$ - функція, що характеризує достовірність інформації, що передається;

$Q_4(X)$ - функція, що характеризує надійність структури при заданих обмеженнях;

$Q_5(X)$ - функція, що характеризує вартість СУ з урахуванням всіх перерахованих властивостей.

Відзначимо, що екстремальне значення критерію оптимальності $Q(X)$ (кількісне значення) характеризує одне з найважливіших властивостей СУ.

Взагалі при векторному синтезі першочерговим завданням є вибір як спектра показників якості, так і їх кількості. Якщо при виборі критеріїв нехтувати хоча б один показник, який значно впливає на якість СУ, то природно ми не отримуємо ефективне рішення. А якщо їх буде занадто багато, то це призведе не до поліпшення, а до погіршення результатів синтезу.

Реалізуючи векторний синтез, будемо вважати оптимальною систему управління, яка забезпечує виконання умов:

$$K_p = \min f_p(\kappa_1, \dots, \kappa_i, \dots, \kappa_m), \quad (1)$$

$$\kappa_i \leq \overline{\kappa_{im}}, i = \overline{1, m},$$

де $\overline{\kappa_{im}}$ - значення показника якості максимально допустиме з точки зору вимог замовника; m - множина, якій належать допустимі параметри системи S .

Мінімаксний критерій представимо в наступному вигляді:

$$K_p = \min f_p(\kappa_1, \kappa_2, \kappa_3, \kappa_4). \quad (2)$$

Тоді цільова функція при переході до нормованих критеріїв має вигляд

$$f_p = [C_1 \kappa_1; C_2 \kappa_2; C_3 \kappa_3; C_4 f(\kappa_3)] = \min \left[C_1 \frac{\kappa_1}{\overline{\kappa_{1m}}}; C_2 \frac{\kappa_2}{\overline{\kappa_{2m}}}; C_3 \frac{\kappa_3}{\overline{\kappa_{3m}}}; C_4 f\left(\frac{\kappa_3}{\overline{\kappa_{3m}}}\right) \right], \quad (3)$$

де $\kappa_4 = f(\kappa_3)$.

Для вирішення таких завдань мінімаксним методом необхідно розглянути допустимі варіанти зміни критеріїв від мінімально можливих до максимально допустимих значень і, відповідно, вибрати варіант, що забезпечує мінімум цільової функції.

Найбільш прийнятний метод - це метод ітерації.

Таким чином, необхідно визначити як максимально допустимі значення критеріїв, так і мінімальні. Якщо перші, як зазначалося вище, визначаються замовником, то другі за допомогою відомих методів лінійного програмування.

У загальному вигляді задача оптимізації за одним показником якості може бути представлена:

$$\left. \begin{aligned} \kappa_1 = F_1(x_1, \dots, x_n) = \min \\ \kappa_2 = F_2(x_1, \dots, x_n) \leq \kappa_{2M} \\ \text{-----} \\ \kappa_m = F_m(x_1, \dots, x_n) \leq \kappa_{mM} \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

(у виконанні всіх інших умов і обмежень, накладених на систему). В цьому випадку цільові функції $F_2 = (x_1, \dots, x_n), \dots, F_m(x_1, \dots, x_n)$ грають роль функцій обмежень $F_j = (x_1, \dots, x_n)$.

Таким чином, для кожного окремого критерію, що входить в формулу (3), необхідно знайти рішення вираження (3).

Розглянемо, наприклад, рішення задачі (4) для таких критеріїв, як мінімум керуючої інформації.

Припустимо, при організації СУ доцільно закріпити контрольовані об'єкти (КО) за даними медіатора, або SMS (операційною системою).

Різниця об'єктів полягає в тому, що в процесі управління інформаційні потоки, що виникають в результаті взаємодії КО і операційної системи, можуть бути залежні або незалежні між собою.

Характер інформаційних потоків залежить від призначення КО і можливих несправностей, які виявляються СУ в процесі функціонування. Деякі несправності діють на генерацію інформаційних потоків таким чином, що вони залежні, тобто зміни одного параметра тягне несправність іншого.

Природно, якщо інформаційні потоки, які генеруються компонентами КО і SMS (або медіатором) залежні, то кількість керуючої інформації значно зменшується. Це відбувається за рахунок того, що сумарна кількість інформації для залежних повідомлень завжди менше, ніж для незалежних.

Основним завданням при проектуванні СУ є, як відомо, мінімізація кількості керуючої інформації, що значно зменшує вартість СУ.

Це завдання можна вирішити методом лінійного програмування. Для цього необхідно розподілити навантаження на SMS і медіатори таким чином, щоб мінімізувати інформаційні потоки, що виникають між ними за рахунок певного розподілу КО і SMS.

Розглянемо задачу знаходження мінімуму кількості керуючої інформації у вигляді задачі лінійного програмування. Припустимо, що кількість видів КО дорівнює L . Відповідно, результат розрахунку кількості керуючої інформації розподілиться на два види I_1 і I_1' (I_1 - це сумарна кількість керуючої інформації, яка відповідна незалежним інформаційним потокам, а I_1' - залежним).

Кількість інформації, що управляє, необхідної для даної ділянки мережі, представлено в табл. 1.

Математично це завдання представимо у вигляді нерівностей

$$\left. \begin{aligned} I_1 x_1 &\leq L_1 \quad (KO_1); \\ I_1' x_2 &\leq L_1' \quad (KO_1'); \\ I_2 x_1 &\leq L_2 \quad (KO_2); \\ I_2' x_2 &\leq L_2' \quad (KO_2'); \\ I_3 x_1 &\leq L_3 \quad (KO_3); \\ I_3' x_2 &\leq L_3' \quad (KO_3'); \\ I_4 x_1 &\leq L_4 \quad (KO_4); \\ I_4' x_2 &\leq L_4' \quad (KO_4'). \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

При умові (5) загальна кількість керуючої інформації складе

$$F = Ix_1 + I'x_2. \quad (6)$$

Необхідно серед невід'ємних розв'язків системи (S) вибрати таке, при якому форма F приймає найменше значення.

Уявімо з точки зору лінійного програмування рішення задачі знаходження мінімуму затримки керуючої інформації. Це питання для СУ є актуальним, так як транспортна мережа, яка використовується СУ це мережа з комутацією пакетів X.25.

Таблиця 1

Види КО	Параметри КО	Середнє квадратичне відхилення параметрів КО від норми		Кількість управляючої інформації	
		До включення СУ	Необхідне	Для незалежних потоків	Для залежних потоків
S ₁	П ₁₁	σ_{11}	σ_{11}'	I ₁₁	I _{11}'}
	П ₁₂	σ_{12}	σ_{12}'	I ₁₂	I _{12}'}
	П ₁₃	σ_{13}	σ_{13}'	I ₁₃	I _{13}'}
	П ₁₄	σ_{14}	σ_{14}'	I ₁₄	I _{14}'}
S ₂	П ₂₁	σ_{21}	σ_{21}'	I ₂₁	I _{21}'}
	П ₂₂	σ_{22}	σ_{22}'	I ₂₂	I _{22}'}
	П ₂₃	σ_{23}	σ_{23}'	I ₂₃	I _{23}'}
	П ₂₄	σ_{24}	σ_{24}'	I ₂₂	I _{22}'}
S ₃	П ₃₁	σ_{31}	σ_{31}'	I ₃₁	I _{31}'}
	П ₃₂	σ_{32}	σ_{32}'	I ₃₂	I _{32}'}
	П ₃₃	σ_{33}	σ_{33}'	I ₃₃	I _{33}'}
	П ₃₄	σ_{34}	σ_{34}'	I ₃₄	I _{34}'}
S ₄	П ₄₁	σ_{41}	σ_{41}'	I ₄₁	I _{41}'}
	П ₄₂	σ_{42}	σ_{42}'	I ₄₂	I _{42}'}
	П ₄₃	σ_{43}	σ_{43}'	I ₄₃	I _{43}'}
	П ₄₄	σ_{44}	σ_{44}'	I ₄₄	I _{44}'}
	П ₄₅	σ_{45}	σ_{45}'	I ₄₅	I _{45}'}
Сумарна кількість управляючої інформації				I	I'

Основні дані, необхідні для складання цільової функції, представлені в табл. 2, де UC_{ij} - кількість вузлів мережі з комутацією пакетів однієї продуктивності П1, а П2 - іншої. Припустимо, що П1 вище П2, тоді і затримка T_{ij} нижче, ніж T'_{ij} .

Таблиця 2

Види вузлів	Кількість центрів комутації пакетів для даного вузла		Затримка переданої інформації	
	Продуктив. П1	Продуктив. П2	T	T'
S_1	UC_{ij}	UC_{ij}'	T_{11}	T_{11}'
	UC_{12}	UC_{12}'	T_{12}	T_{12}'
	UC_{13}	UC_{13}'	T_{13}	T_{13}'
	UC_{14}	UC_{14}'	T_{14}	T_{14}'
S_2	UC_{21}	UC_{21}'	T_{21}	T_{21}'
	UC_{22}	UC_{22}'	T_{22}	T_{22}'
	UC_{23}	UC_{23}'	T_{23}	T_{23}'
	UC_{24}	UC_{24}'	T_{24}	T_{24}'
S_3	UC_{31}	UC_{31}'	T_{31}	T_{31}'
	UC_{32}	UC_{32}'	T_{32}	T_{32}'
	UC_{33}	UC_{33}'	T_{33}	T_{33}'
	UC_{34}	UC_{34}'	T_{34}	T_{34}'
S_4	UC_{41}	UC_{41}'	T_{41}	T_{41}'
	UC_{42}	UC_{42}'	T_{42}	T_{42}'
	UC_{43}	UC_{43}'	T_{43}	T_{43}'
	UC_{44}	UC_{44}'	T_{44}	T_{44}'
Сумарна затримка			T	T'

Необхідно розподілити вузли комбінації таким чином, щоб сумарна затримка передачі керуючої інформації між КО і SMS була мінімальною.

Математично завдання знаходження мінімуму затримки керуючої інформації представимо у вигляді:

$$\left. \begin{aligned} T_1 x_1 &\leq L_1(S_1); \\ T_1' x_2 &\leq L_2'(S_1'); \\ T_2 x_1 &\leq L_2(S_2); \\ T_2' x_2 &\leq L_2'(S_2'); \\ T_3 x_1 &\leq L_3(S_3); \\ T_3' x_2 &\leq L_3'(S_3'); \\ T_4 x_1 &\leq L_4(S_4); \\ T_4' x_2 &\leq L_4'(S_4'). \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

При цих умовах загальне значення затримки переданої інформації складе

$$F = Tx_1 + T'x_2 \quad (8)$$

Необхідно серед невід'ємних розв'язків системи (7) вибрати таке, при якому F приймає найменше значення [7, 8].

Висновки

У статті пропонується рішення задачі багатокритеріальної оптимізації систем управління телекомунікаційними мережами для забезпечення оптимальних показників якості управління, що найбільш впливають на ефективність функціонування мережі. Описані рішення задачі векторної оптимізації на основі аналізу множин Парето. Визначені першочергові завдання векторного синтезу, даються рекомендації щодо вибору спектру показників якості, їх кількості. Показано, що основним завданням при проектуванні систем управління та зменшення їх вартості є мінімізація кількості управляючої інформації. Приведені визначення приватних критеріїв за допомогою методів лінійного програмування.

Список використаної літератури

1. Стеклов В.К., Беркман Л.Н. Проектирование телекоммуникационных сетей. – К.: Техніка, 2002. - 792 с.
2. Стеклов В.К., Беркман Л.Н., Лев Ю.О., Мніщенко С.І. Постановка задачі оцінки обсягу управляючої інформації у системі управління інтелектуальною мережею // Одеса: Інформатика и связь. - 1996. - №1. - С. 75-87.
3. Стеклов В.К., Беркман Л.Н. Системный метод оптимального проектирования интеллектуальной сети // Зв'язок. - 1998. - №4. - С. 28-32.
4. Стеклов В.К., Карпенко Н.Ф., Беркман Л.Н. Многокритериальная оптимизация систем управления телекоммуникационными сетями // Зв'язок. - 1999. - №6. - С. 26-28.
5. Стеклов В.К., Беркман Л.Н. Оценка объёма управляющей информации в информационных сетях // Электросвязь. - 2000. - № 6. - С. 34-37.
6. Стеклов В.К., Беркман Л.Н., Иванов А.И. Метод определения задержки управляющей информации в системах управления телекоммуникационными сетями // Зв'язок. - 2001. - №1. - С. 49-51.
7. Стеклов В.К., Стародуб Н.М. Беркман Л.Н. Выбор обобщённого критерия оптимальности систем управления информационными сетями // Зв'язок.-2000.-№5. - С. 48-50.
8. Стеклов В.К., Стародуб Н.М. Беркман Л.Н., Объединение векторных критериев оптимальности систем управления телекоммуникационными сетями // Матеріали доповідей учасників Ювілейної міжнародної науково-практичної конференції. - К.: тов. “Знання України”. - 2000. - С. 90-92.
9. Имаев Д.Х., Краснопрошина А.А., Яковлев В.Б. Теория автоматического управления. ч.1.: Учебник для вузов – К.: Вища школа, 1992 - 248 с.

Автори статті

Гороховський Євген Петрович - здобувач, старший викладач кафедри телекомунікаційних систем та мереж, Державний університет телекомунікацій, Київ, Україна.

Authors of the article

Gorohovskyy Evgen Petrovych - applicant, senior lecturer of Department of Telecommunication systems, State university of telecommunications, Kyiv, Ukraine.

Дата надходження в редакцію: 02.02.2017 р.

Рецензент: д.т.н., проф. Л.Н. Беркман