

УДК 621.391; 519.863 (045)

Комарова Л. О., к.ф.-м.н. (Державний унів-т телекомунікацій. +380 (44) 249 25 70. lacosta_k@ukr.net)

МЕТОД РІШЕННЯ ЗАДАЧИ БАГАТОКРИТЕРІЙНОЇ ОПТИМІЗАЦІЇ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИМИ МЕРЕЖАМИ

Комарова Л. О. Метод рішення задачі багатокритеріальної оптимізації систем управління телекомунікаційними мережами. Вирішується задача синтезу і вибору управляючих змінних 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. Розглянута задача знаходження мінімуму кількості управляючої інформації у вигляді завдання лінійного програмування. Приведені визначення окремих критеріїв за допомогою апарату лінійного програмування.

Ключові слова: телекомунікаційна мережа, система управління, оптимальний синтез, векторна оптимізація, множина Парето, лінійне програмування, частковий критерій, мінімакський критерій

Комарова Л. А. Метод решения задачи многокритериальной оптимизации систем управления телекоммуникационными сетями. Решается задача синтеза и выбора управляющих переменных систем управления телекоммуникационными сетями для обеспечения оптимальных показателей качества управления, которые наиболее влияют на эффективность функционирования сети. Описаны решения задачи векторной оптимизации на основе анализа множеств Парето. Определены первоочередные задачи векторного синтеза, даются рекомендации относительно выбора спектра показателей качества, их количества. Показано, что основной задачей при проектировании систем управления и уменьшения их стоимости является минимизация количества управляющей информации. Рассмотрена задача нахождения минимума количества управляющей информации в виде задания линейного программирования. Приведены определения отдельных критериев с помощью аппарата линейного программирования.

Ключевые слова: телекоммуникационная сеть, система управления, оптимальный синтез, векторная оптимизация, множество Парето, линейное программирование, частичный критерий, минимаксный критерий

Komarova L. O. Method of multicriteria optimization solution of telecommunication networks control systems. The tasks of synthesis and choice of control variables of telecommunication networks control systems are resolved to provide optimal quality management indices which influences the most network operation efficiency. The solutions of vector optimization problem are described on the basis of the Pareto sets analysis. Primary tasks of vector synthesis are defined and recommendations for the choice of quality and quantity indices spectrum. It is shown that the main task while designing control systems and reducing their cost is to minimize the number of control information. The problem of finding the minimum quantity of control information by means of setting linear programming is analyzed. Definitions of specific criteria using the apparatus of linear programming are given.

Keywords: telecommunication network, control system, optimal synthesis, vector optimization, Pareto set, linear programming, partial criterion, minimax criterion

Сьогодні світова телекомунікаційна індустрія зазнає революційних змін. Постійний розвиток інформаційних технологій, поява нових апаратно-програмних комплексів ставлять перед операторами і провайдерами телекомунікаційних послуг складні завдання у частині управління функціонуванням об'єктів зв'язку, основна мета якого полягає у підтримці нормативної якості надання послуг і функціонування мережі.

Для підтримки заданого рівня якості послуг необхідна автоматизація контролю, моніторингу і управління різноманітним устаткуванням і системами зв'язку на основі єдиних принципів. Вирішенням проблеми евристичного опису процесу управління телекомунікаційних систем (ТС) може стати адаптація математичного апарату декількох напрямів наукового знання для створення адекватної моделі об'єкту. За її допомогою стане можливим здобуття якісної і кількісної оцінок ефективності функціонування ТС по сукупності критеріїв для подальшого здійснення управління.

У сучасній науково-технічній літературі розглянуті методи багатокритеріальної оптимізації систем управління (СУ) телекомунікаційними мережами. Описані особливості СУ як складної системи. Визначені основні критерії (показники) якості управління, що найбільш впливають на ефективність, мережами. Розроблені методи об'єднання суперечливих критеріїв і визначення узагальненого критерію.

Рішення задачі оптимального синтезу полягає у виборі управляючих змінних X , які належать допустимій області і забезпечують оптимальне значення характеристик СУ $Q(X)$. Як відомо, характеристика, яка показує відносну перевагу одного варіанту у порівнянні з іншим, називається критерієм оптимальності (цільовою функцією, критерієм ефективності, функцією корисності тощо.).

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

Оптимізація систем управління, як правило, ведеться за декількома критеріями. Має місце завдання векторної оптимізації $I(q) \rightarrow \min_{q \in Q}$.

Компоненти I_i векторного критерію I називаються окремими (частковими) критеріями (показниками). Результати мінімізації окремих критеріїв в загальному випадку не співпадають. На Рис. 1 ілюструється завдання мінімізації двох приватних критеріїв $I_1(q)$, $I_2(q)$ залежних від одного параметра. Оскільки оптимальні значення параметрів не співпадають, тобто $q_1^* \neq q_2^*$, то виникає питання, що слід вважати рішенням задачі векторної оптимізації.

Рішенням задачі векторної оптимізації є множина значень параметрів, де зміна будь-якого параметра з метою поліпшення одного з часткових критеріїв обов'язково погіршує хоч би один інший. Таку множину непокращуваних рішень називають множиною Парето.

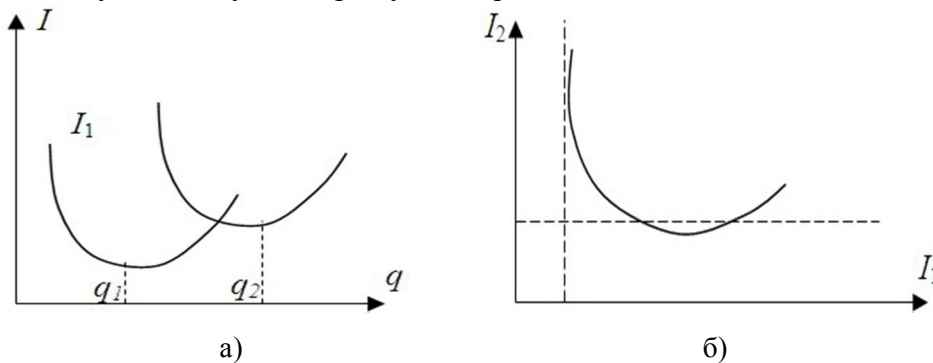


Рис. 1. Ілюстрація завдання векторної оптимізації

На Рис. 1(а) області Парето на осі параметра q відповідає відрізок між значеннями q_1^* і q_2^* часткового оптимуму. 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 часткових показників $I_1(q)$ і $I_2(q)$.

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

$$Q_i(x_1, x_2, \dots, x_n) \geq 0, i = \overline{1, m}; \quad x_j^- \leq x_j \leq x_j^+, \quad j = \overline{1, n}.$$

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

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

$Q1(X)$ – функція, що характеризує кількість управляючої інформації при забезпеченні необхідного спектру послуг;

$Q2(X)$ – функція, що характеризує затримку інформації, що управляє, при певній кількості контрольованих об'єктів і швидкодії центрів комутації пакетів СУ;

$Q3(X)$ – функція, що характеризує достовірність переданої інформації;

$Q4(X)$ – функція, що характеризує надійність структури при заданих обмеженнях;

$Q5(X)$ – функція, що характеризує вартість СУ з урахуванням усіх перерахованих властивостей.

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

Взагалі при векторному синтезі першочерговим завданням є вибір як спектру показників якості, так і їх кількості. Якщо при виборі критеріїв не врахувати хоч би один показник, що значно впливає на якість СУ, то природно ми не отримаємо ефективне рішення. А якщо їх буде надто багато, то це приведе не до поліпшення, а до погіршення результатів синтезу.

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

$$K_p = \min f_p(\kappa_1, \dots, \kappa_i, \dots, \kappa_m), \quad \kappa_i \leq \kappa_{im}, \quad i = \overline{1, m}, \quad (1)$$

де κ_{im} – значення показника якості, максимально допустиме з точки зору вимог замовника; m – множина, якій належать допустимі параметри системи S .

Мінімаксий 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:

$$f_p = [C_1 \kappa_1; C_2 \kappa_2; C_3 \kappa_3; C_4 f(\kappa_3)] = \min \left[C_1 \frac{\kappa_1}{\kappa_{1m}}; C_2 \frac{\kappa_2}{\kappa_{2m}}; C_3 \frac{\kappa_3}{\kappa_{3m}}; C_4 f\left(\frac{\kappa_3}{\kappa_{3m}}\right) \right], \quad \text{де } \kappa_4 = f(\kappa_3). \quad (3)$$

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

Найбільш прийнятний метод – це метод інтеграції. Таким чином, необхідно визначити, як максимально допустимі значення критеріїв, так і мінімальні. Якщо перші, як вказувалося вище, визначаються замовником, то другі – за допомогою відомих методів лінійного програмування.

У загальному вигляді завдання оптимізації за одним показником якості (і виконанні усіх інших умов і обмежень, накладених на систему) 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 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 приватного критерію, що входить у формулу (3), необхідно знайти рішення виразу (3).

Розглянемо, наприклад, рішення задачі (4) для таких критеріїв, як мінімум інформації управління. Припустимо, при організації СУ доцільно закріпити контрольовані об'єкти (КО) за даними медіатора, або SMS (операційною системою).

Відмінність 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, генеровані компонентами КО і SMS (або медіатором) залежні, то кількість управляючої інформації значно зменшується. Це відбувається за рахунок того, що сумарна кількість інформації для залежних повідомлень завжди менша, ніж для незалежних.

Основним завданням при проектуванні СУ є, як відомо, мінімізація кількості управляючої інформації, що значно зменшує вартість СУ. Це завдання можна вирішити методом лінійного програмування. Для цього необхідно розподілити навантаження на SMS і медіатори так, щоб мінімізувати інформаційні потоки, що виникають між ними за рахунок певного розподілу КО і SMS.

Розглянемо завдання знаходження мінімуму кількості управляючої інформації у вигляді завдання лінійного програмування. Припустимо, що кількість видів КО дорівнює L . Відповідно, результат розрахунку кількості управляючої інформації розподілиться на два види – I_1 і I_1' (I_1 – ця сумарна кількість управляючої інформації відповідає незалежним інформаційним потокам, а I_1' – залежним).

Кількість управляючої інформації необхідна для цієї ділянки мережі, представлена в Табл. 1.

Табл. 1

КО	Параметри КО	Середнє квадратичне відхилення КО від норми		Кількість управляючої інформації	
		До включення СУ	Потреба	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}'
Суммарна кількість управляючої інформації				I	I'

Математично це завдання представимо у вигляді нерівностей

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

За умов (5) загальна кількість управляючої інформації складе

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

Вимагається серед не негативних рішень системи (S) вибрати таке, при якому форма F набуває найменшого значення. Представимо з точки зору лінійного програмування рішення задачі знаходження мінімуму затримки управляючої інформації.

Це питання для СУ є актуальним, оскільки транспортна мережа, яка використовується СУ – це мережа з комутацією пакетів X.25. Основні дані, необхідні для складання цільової функції, представлені в Табл. 2, де UC_{ij} – кількість вузлів мережі з комутацією пакетів однієї продуктивності PI_1 , а PI_2 – інший.

Припустимо, що Π_1 вище Π_2 , тоді і затримка T_{ij} нижча, ніж T_{ij}' . Необхідно розподілити вузли комбінації так, щоб сумарна затримка передачі інформації між КО і SMS була мінімальною.

Табл. 2

Види вузлів	Кількість центрів комутації пакетів для вузла		Затримка інформації	
	Похідна Π_1	Похідна Π_2	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'

Математично завдання знаходження мінімуму затримки управляючої інформації що представимо у вигляді:

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

При цих умовах загальне значення затримки передаваної інформації складає

$$F = T x_1 + T' x_2.$$

Вимагається серед ненегативних рішень системи (7) вибрати таке, при якому F набуває найменшого значення.

У статті представлений метод рішення задачі багатокритерійної оптимізації СУ і приведені визначення окремих критеріїв за допомогою апарату лінійного програмування.

Література

1. Стеклов В. К. Многокритериальная оптимизация систем управления телекоммуникационными сетями / В. К. Стеклов, Н. Ф. Карпенко, Л. Н. Беркман // Зв'язок. – 1999. – №6. – С.26-28.
2. Стеклов В. К. Оценка объёма управляющей информации в информационных сетях / В. К. Стеклов, Л. Н. Беркман // Электросвязь. – 2000. – №6. – С. 34-37.
3. Стеклов В. К., Беркман Л. Н., Иванов А. И. Метод определения задержки управляющей информации в системах управления телекоммуникационными сетями / В. К. Стеклов, Л. Н. Беркман, А. И. Иванов // Зв'язок. – 2001. – №1. – С.49-51.
4. Стеклов В. К. Выбор обобщённого критерия оптимальности систем управления информационными сетями / В. К. Стеклов, Л. Н. Беркман, А. И. Иванов // Зв'язок. – 2000. – №5. – С. 48-50.