

при меньших абсолютных значениях коэффициента в цепи обратной переходная характеристика становится расходящейся, т.е. система неустойчива.

3. По результатам исследования полюсов системной функции построен график области устойчивости системы при различных значениях запаздывания сигнала и коэффициентах обратной связи. Для поддержания устойчивости системы при запаздывании сигнала более чем на 10 интервалов рекомендуется выбирать коэффициент обратной связи исходя из условия $|b_i| \ll 0,2$.

Литература

1. Савченко А.С. Концептуальная модель системы управления крупной корпоративной сетью / А.С. Савченко // Проблемы інформатизації та управління: зб. наук. праць. – К.: НАУ, 2011. – Вип. 2(34). – С. 120-128.
2. Бесекерский В.А. Теория систем автоматического регулирования / В.А. Бесекерский, Е.П. Попов. – Изд. 3-е. – М.: Наука, 1975. – 768 с.
3. Справочник по теории автоматического управления ; под ред. А.А. Красовского. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1987. – 712 с.
4. Эльсгольц Л.Э. Введение в теорию дифференциальных уравнений с отклоняющимся аргументом / Л.Э. Эльсгольц, С.Б. Норкин. – М.: Наука, 1971. – 296 с.
5. Столлингс В. Современные телекоммуникационные сети / В. Столлингс. – Изд. 2-е. – СПб.: Питер, 2003. – 783 с.
6. Казаков И.Е. Статистическая динамика систем с переменной структурой / И.Е. Казаков. – М.: Наука, 1977. – 416 с.
7. Савченко А.С. Экспериментальное исследование свойств суммарных потоков в вычислительных сетях / А.С. Савченко // Наукові записки Українського науково-дослідного інституту зв'язку. – 2010. – №.4(16). – С.101-107.

УДК 621.391

Варфоломеева О.Г., к.т.н. (*Державний унів-т інформаційно-комунікаційних технологій*)

СИНТЕЗ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ІНФОКОМУНІКАЦІЙНИМИ МЕРЕЖАМИ З ВИКОРИСТАННЯМ МЕТОДІВ БАГАТОКРИТЕРІЙНОЇ ОПТИМІЗАЦІЇ

Варфоломеева О.Г. Синтез системы управления инфокоммуникационными сетями с использованием методов многокритерийной оптимизации. У статті розглядаються деякі особливості вживання методів багатокритерійної оптимізації для систем управління інфокомунікаційними мережами, етапи процесу оптимізації і способи визначення цільової функції.

Ключові слова: ІНФОКОМУНІКАЦІЇ, МЕРЕЖА, ОПТИМІЗАЦІЯ, ЦІЛЬОВА ФУНКЦІЯ

Варфоломеева О.Г. Синтез системы управления инфокоммуникационными сетями с использованием методов многокритерийной оптимизации. В статье рассматриваются некоторые особенности применения методов многокритерийной оптимизации для систем управления инфокоммуникационными сетями, этапы процесса оптимизации и способы определения целевой функции.

Ключевые слова: ИНФОКОММУНИКАЦИИ, СЕТЬ, ОПТИМИЗАЦИЯ, ЦЕЛЕВАЯ ФУНКЦИЯ

Varfolomeieva O.H. Synthesis of management system of infocommunication networks using multicriterion optimization methods. In the article some features of application of methods of multicriterion optimization methods for management system by infocommunication networks, stages of process of optimization and methods of determination of objective function are examined.

Keywords: INFOKOMMUNICATION, NETWORK, OPTIMIZATION, OBJECTIVE FUNCTION

Проектування систем управління зводиться до проблеми оптимізації, яка включає широке коло завдань, починаючи з вибору критерію оптимізації, визначення структури і сукупності параметрів системи і закінчуючи задачами оцінки заданих показників

функціонування та ефективності управління. При постановці завдання оптимального проектування системи управління інфокомунікаційними мережами необхідно врахувати множинність технічних вимог, які пред'являються до основних характеристик системи управління. Система управління є складною системою, до якої пред'являються найрізноманітніші і багатопланові вимоги. Це вимоги до функціональних можливостей, показників якості, надійності і ефективності системи разом з вимогами до економічних показників. Крім того, система управління є складною системою з неоднорідною структурою, для якої характерний взаємозв'язок між об'єктами управління як на одному рівні, так і на різних рівнях ієрархії управління. Вимогу функціональної повноти неможливо задовольнити за допомогою скалярного критерію, оскільки він описує яку-небудь одну властивість системи. Необхідно розглядати сукупність показників, кожен з яких має фізичну інтерпретацію і дозволяє оцінити якість оптимального рішення з різних точок зору.

Все вищевикладене є причиною, через яку найбільш прийнятною математичною моделлю, яка відповідає меті побудови оптимальної системи управління, є задача багатокритерійної оптимізації, в якій потрібно знайти мінімум одночасно по всіх параметрах векторного критерію [1]. При виборі числа критеріїв при рішенні задачі синтезу оптимальної системи управління необхідно враховувати, що, з одного боку, збільшення числа параметрів, що представляють часткові критерії оптимальності, повинно привести до вибору досконалішої системи, а з іншого боку, утрудняє здобуття результуючого критерію оптимальності без введення додаткових обмежень.

Математичну модель системи управління можна представити у вигляді залежностей показників якості системи управління $k = (k_1, k_2, \dots, k_n)$ від параметрів системи $x = (x_1, x_2, \dots, x_l)$:

$$\begin{cases} k_1 = k_1(x_1, x_2, \dots, x_l) \\ k_2 = k_2(x_1, x_2, \dots, x_l) \\ \dots\dots\dots \\ k_n = k_n(x_1, x_2, \dots, x_l) \end{cases}$$

Постановка задачі на оптимізацію процесу управління мережі і її рішення включає ряд етапів, включаючи вибір і обґрунтування мети оптимізації, вибір кількості і складу критеріїв оптимізації, узгодження мети з наявними можливостями, тобто урахування обмежень, реалізація способу досягнення мети (експериментального значення показника якості) при врахуванні обмежень.

Перший етап – вибір і обґрунтування мети оптимізації передбачають визначення показників якості (критеріїв ефективності функціонування системи управління) і цільових функцій, які якнайповніше відображали б цілі оптимізації. Цей етап є одним з основних, оскільки від правильності вибору показника якості залежить рішення задачі в цілому.

Другий етап. Критерії оптимізації є варійованими параметрами процесу управління, які прямо або побічно впливають на показники якості. Наприклад, при побудові оптимальної системи управління мають значення найкращі значення наступних характеристик: *достовірність* отриманого повідомлення; *пропускна* спроможність каналів мережі управління; *час* затримки; *інформаційна* ефективність системи; *інтенсивність* відмов. Ці критерії є досить суперечливими, зменшення одних може привести до збільшення інших. Наприклад, зменшення часу затримки може спричинити збільшення пропускної спроможності каналу і так далі.

Третій етап рішення задачі пов'язаний з визначенням обмежень, які повинні враховуватися в процесі оптимізації. Сенс цього етапу полягає в тому, що якість роботи системи управління характеризується не одним, а групою показників якості, тому якщо система оптимізується за одним показником якості, то на інші показники якості і варійовані параметри накладаються обмеження.

При реалізації **четвертого етапу** застосовується той або інший метод оптимізації, що забезпечує рішення поставленої задачі, – досягнення екстремального значення критерію якості при урахуванні обмежень.

Об'єктом оптимізації є функціонування системи управління інфокомунікаційними мережами або, інакше кажучи, процес управління. Об'єкт оптимізації можна класифікувати по ряду ознак. До таких ознак об'єкту відносяться: *число* параметрів, що оптимізуються; *обсяг* апріорної інформації; *спосіб* математичного опису.

По числу варійованих параметрів розрізняють одно- і багатопараметричні об'єкти. Залежно від об'єму апріорної інформації можуть бути **екстремальні** об'єкти, для яких існує математичний опис, і залежність показника якості K від параметрів Q , що оптимізуються, відома. Для таких об'єктів є достатній об'єм апріорної інформації. Існує також великий клас об'єктів, для яких немає жодного математичного опису. Малий об'єм апріорної інформації про подібні об'єкти послужив приводом називати їх об'єктами типу “**чорний ящик**”.

При загальному формулюванні завдання на оптимізацію вводиться поняття сукупність даних, необхідних для оптимізації об'єкту. Сукупність даних включає сукупності умов $Y = \{Y_1, \dots, Y_k\}$; критеріїв оптимізації (параметрів, що оптимізуються) $Q = \{Q_1, \dots, Q_m\}$; показників якості $K = \{K_1, \dots, K_n\}$; обмежень $O = \{O_1, \dots, O_l\}$.

Сукупність параметрів, що оптимізуються, утворює вектор параметрів об'єкту оптимізації і характеризує вигляд оптимізаційного завдання. Якщо число таких параметрів більше одиниці ($m > 1$), то завдання є багатопараметричним, а при $m = 1$ вона переходить в однопараметричну. Сукупність показників якості утворює вектор показників якості об'єкту $K = \{K_1, \dots, K_n\}$. При необхідності характеризувати об'єкт групою показників якості завдання класифікується як багатокритерійна або векторна, якщо ж для оптимізації вибраний лише один показник якості, то завдання переходить в однокритерійну або скалярну.

Сукупність обмежень грає вельми важливу роль при постановці і рішенні оптимізаційної задачі. Найчастіше зустрічаються обмеження вигляду рівності або нерівності. Обмеження накладаються на варійовані параметри, а також на показники якості. Якщо в завданні векторної оптимізації перевести частину показників якості в розряд обмежень, то можна її звести до скалярного завдання. Систему управління як об'єкт багатопараметричної оптимізації можна представити у вигляді багатовимірної системи з m керованими входами, що характеризують варійовані параметри (критерії оптимізації), за допомогою яких проводиться оптимізація процесу. Об'єкт знаходиться також під впливом сукупності умов (Y_1, \dots, Y_k). Вектори Q, Y, O прикладені до об'єкту. Інформація про роботу об'єкту знімається з його виходу. Вихід цієї багатовимірної системи може бути представлений як скалярний $K = K(Q_1, \dots, Q_m)$ або векторний $K = (K_1, \dots, K_n)$.

Якщо x_i – параметр, що нас цікавить, а $Q_i(x)$ – частковий критерій оптимальності, то визначення загального критерію оптимальності можна розглядати як знаходження мінімуму по всіх компонентах векторного критерію: $Q(x) = [Q_1(x), Q_2(x), Q_3(x), \dots, Q_m(x)]$, тобто завдання векторного синтезу зводиться до знаходження $\min Q(x)$.

При цьому множинність технічних вимог, що пред'являються до системи управління можна звести до системи нерівностей (обмежень) вигляду:

$$\varphi_i(x) \leq \varphi_i^+, \quad i = 1, 2, 3, \dots, m.$$

Значення φ_i характеризує вимоги, що пред'являються до характеристики елементу системи управління, а φ_i^+ – максимальне допустиме значення цих вимог.

При цьому часткові критерії оптимальності визначаються як:

$$Q_i(x) = \begin{cases} 0 & \text{при } \varphi_i(x) \leq \varphi_i^+ \\ c_i(\varphi_i(x) - \varphi_i^+) & \text{при } \varphi_i(x) > \varphi_i^+ \end{cases}$$

c_i – вагові коефіцієнти, що характеризують важливість i -го обмеження, $\sum_{i=1}^m c_i = 1$.

Часткові критерії оптимальності можуть характеризуватися деякою мірою важливості порівняно з іншими критеріями шляхом введення вагових коефіцієнтів. Тоді, в деяких випадках загальний критерій оптимальності може бути визначений як $Q(x) = \sum_{i=1}^m c_i Q_i(x)$,

а $Q_i(x) = \min[c_i^-(\varphi_i(x) - \varphi_i^-), c_i^+(\varphi_i^+ - \varphi_i(x))]$, де c_i^- і c_i^+ – вагові коефіцієнти, що враховують важливість граничних значень вимог до i -го елемента, φ_i^- і φ_i^+ – граничні значення вимог.

Для даних часткових критеріїв, що відображають різні характеристики системи управління завдання багатокритерійної оптимізації зводиться до визначення значень $\max Q_1(x)$, $\min Q_2(x)$, $\min Q_3(x)$, $\max Q_4(x)$, $\min Q_5(x)$, де $Q_1(x)$ – достовірність передаваної інформації, $Q_2(x)$ – пропускна спроможність каналів мережі управління, $Q_3(x)$ – середній час затримки повідомлення, $Q_4(x)$ – інформаційна ефективність системи управління, $Q_5(x)$ – інтенсивність відмов елементів системи управління.

Оптимізація по кожному з цих критеріїв приводить до оптимальних рішень відмінних одне від одного, що є наслідком суперечності критеріїв.

Представляється доцільним введення єдиного m -мерного вектора якості і визначення результуючого показника якості, який повинен досить повно і правильно характеризувати систему. На основі розгляду призначення проектованої системи і з врахуванням залежностей між окремими приватними критеріями встановлюється залежність вигляду:

$$Q_p = f[\varphi_1(x), \varphi_2(x), \varphi_3(x), \dots, \varphi_m(x)], \quad (1)$$

де Q_p – величина, звана результуючим критерієм системи. Якщо всі критерії приведені до стандартного вигляду, то чим менше Q_p , тим краще проектована система управління. Якщо залежність вигляду (1) є відомою величиною, то можна вважати, що критерій досить повно і точно характеризує якість проектованої системи і синтез системи управління можна провести поодинокі результуючому показнику, тобто в цьому випадку векторний синтез можна звести до скалярного [2].

Для сучасних систем управління інфокомунікаціями характерна багатофункціональна структура, для якої з ряду причин не завжди вдається обґрунтувати результуючу цільову функцію. У таких випадках можна сформулювати залежність $Q_p = f[\varphi_1(x), \dots, \varphi_m(x)]$ суб'єктивним способом.

Цільова функція може визначатися як $Q_p = \varphi_1(x) \cdot \varphi_2(x) \cdot \varphi_3(x) \dots \cdot \varphi_m(x)$.

Зважаючи на те, що не всі параметри в даному випадку мають стандартний вигляд, тобто для деяких показників вірне твердження, що, чим вони більші, тим краще система, то результуюча цільова функція набуває вигляду: $Q_p = \varphi_2(x) \cdot \varphi_3(x) \cdot \varphi_5(x) / \varphi_1(x) \cdot \varphi_4(x)$.

Найбільш поширеним методом представлення результуючої цільової функції є визначення функції як зваженої суми нормованих значень характеристик системи:

$$Q_p = c_1 \varphi_1'(x) + c_2 \varphi_2'(x) + c_3 \varphi_3'(x) + \dots + c_m \varphi_m'(x), \text{ де } \varphi_i' = \frac{\varphi_i}{\varphi_{i0}}, \quad \sum_{i=1}^m c_i = 1.$$

При цьому: φ_{i0} – деяке опорне значення характеристики, вибране за одиницю виміру цієї характеристики (найчастіше це максимально допустиме значення характеристики); c_i – вагові коефіцієнти, що характеризують міру важливості кожній з характеристик системи.

Суб'єктивність визначення результуючої функції полягає в тому, що вагові коефіцієнти визначаються на базі думок групи або декількох груп експертів.

Інколи буває зручно сукупність приватних критеріїв звести не до одного результуючого критерію, а до двох: *узгальненого* критерію ефективності, що характеризує якісні показники роботи системи і до *критерію* вартості, що відображає витрати на систему.

Результуюча ефективність в цьому випадку визначається $(m-1)$ -мірним вектором якості: $Q_3 = f[\varphi_1(x), \varphi_2(x), \varphi_3(x), \dots, \varphi_{m-1}(x)]$, а $\varphi_m(x)$ відображає вимоги до вартості системи.

Якщо не представляється можливим обґрунтувати функцію $f[\varphi_1(x), \dots, \varphi_{m-1}(x)]$ шляхом кількісного аналізу призначення системи, то функцію результуючого критерію ефективності

можна визначити суб'єктивним шляхом за допомогою методу експертних оцінок. Далі задачу можна розділити на дві підзадачі [3].

Перша з них полягає у визначенні системи, що забезпечує найвищу ефективність $Q_s = f[\varphi_1(x), \varphi_2(x), \varphi_3(x) \dots \varphi_{m-1}(x)] = \max$, при допустимому значенні вартості $C \leq C_{\max}$.

Результатом рішення **другої** задачі має бути система, що забезпечує $C = C_{\min}$ при $Q_s = f[\varphi_1(x), \varphi_2(x), \varphi_3(x) \dots \varphi_{m-1}(x)] \geq Q_{\min}$

Таким чином, складні системи, до яких можна віднести систему управління інфокомунікаціями, можна оцінити за допомогою декількох показників якості. Для вибору оптимального варіанту побудови системи управління необхідно функціонування системи представити у вигляді математичної моделі, яка характеризується набором показників якості і критеріїв оптимальності. Різноманітність і складність розв'язання задачі багатокритерійної оптимізації передбачає в якості додаткової інформації наявність даних про відносну важливість цих критеріїв. При цьому в якості узагальненого критерію оптимальності можуть використовуватися: *адитивний* критерій оптимальності, *мультиплікативний* критерій оптимальності, *узагальнений логічний* критерій оптимальності, *середньоступеневий* узагальнений критерій оптимальності.

Література

1. Батищев Д.И. Методы оптимального проектирования / Д.И. Батищев. – М.: Радио и связь, 1984. – 247с.
2. Стеклов В. К. Системный метод оптимального проектирования интеллектуальной сети / В.К. Стеклов, Л.Н. Беркман // Зв'язок. – 1998. – №4. – С.43-49.
3. Штойер Р. Многокритериальная оптимизация / Р. Штойер. – М.: Радио и связь, 1992.

УДК 62-55:681.515

Ткаленко О.Н., к.т.н. (*Государст. унив-т информационно-коммуникационных технологий*)

ПРИМЕНЕНИЕ В AQM СИСТЕМАХ НЕЧЕТКОГО РЕГУЛЯТОРА С ИЗМЕРЕНИЕМ ДЛИНЫ ОЧЕРЕДИ И УРОВНЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БУФЕРА

Ткаленко О.М. Застосування в AQM системах нечіткого регулятора з вимірюванням довжини черги та рівня використання буфера. У даній роботі запропоновано декілька основаних на нечіткій логіці ефективних алгоритмів управління перевантаженнями в мережах TCP/IP, головна перевага яких не у використанні механізму відкидання пакетів RED, а в обчисленні втрати пакетів згідно попередньо сконфігурованій нечіткій логіці з використанням довжини черги та рівня використання буфера.

Ключові слова: МЕРЕЖА TCP/IP, ПЕРЕВАНТАЖЕННЯ, АКТИВНЕ УПРАВЛІННЯ ЧЕРГОЮ, AQM, НЕЧІТКИЙ РЕГУЛЯТОР

Ткаленко О.Н. Применение в AQM системах нечеткого регулятора с измерением длины очереди и уровня использования буфера. В данной работе предложено несколько основанных на нечеткой логике эффективных алгоритмов управления перегрузками в сетях TCP/IP, главное преимущество которых не в использовании механизма отбрасывания пакетов RED, а в вычислении потери пакетов согласно предварительно сконфигурированной нечеткой логике с использованием длины очереди и уровня использования буфера.

Ключевые слова: СЕТЬ TCP/IP, ПЕРЕГРУЗКА, АКТИВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ОЧЕРЕДЬЮ, AQM, НЕЧЕТКИЙ РЕГУЛЯТОР

Tkalenko O.M. Appling in AQM systems Fuzzy Controller with measuring the queue length and buffer usage ratio. In this work proposed a few primary of fuzzy logic efficacious algoritms of control of the overloadings in networks TCP/IP, the main advantage wich is not in using packet-dropping RED, but in detecting the loss packet mechanism according to preceding configurated fuzzy logic with using the queue length and butter usage ratio.

Keywords: NETWORK TCP/IP, OVERLOADING, ACTIVE QUEUE MANAGEMENT, AQM, FUZZY-CONTROLLER

Введение. Предложено несколько эффективных нечетких алгоритмов управления перегрузками, основанных на нечеткой логике, которые используют преимущества нечеткой