

УДК 621.391

Лещенко О. О., к.т.н.

(Державний університет телекомунікацій, м. Київ. +380 (44) 249 25 88. lesolga@ukr.net)

ОСОБЛИВОСТІ МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ІНФОКОМУНІКАЦІЙНОЇ МЕРЕЖІ

Лещенко О. О. Особливості моделювання системи управління інфокомунікаційної мережі. У роботі представлено результати моделювання системи управління інфокомунікаційної мережі за двома обраними критеріями якості з допомогою математичного пакету Matlab та вбудованого додатку Simulink. Проаналізовано параметри системи управління, визначено варійовані та основні параметри. Розглянуті основні етапи проектування інфокомунікаційних мереж. При описі цільової функції використано математичний апарат теорії катастроф, який дозволяє дослідити стійкість системи, відносно непередбачених змін структури системи та стрибкоподібних переходів.

Ключові слова: система управління, інфокомунікаційна мережа, цільова функція, математичне моделювання, теорія катастроф

Лещенко О. А. Особенности моделирования системы управления инфокоммуникационной сети. В работе представлены результаты моделирования системы управления инфокоммуникационной сети по двум выбранным критериям качества с помощью математического пакета Matlab встроенного приложения Simulink. Проанализированы параметры системы управления, определены варьируемые и основные параметры. Рассмотрены основные этапы проектирования инфокоммуникационных сетей. При описании целевой функции использован математический аппарат теории катастроф, который позволяет исследовать устойчивость системы, относительно непредвиденных изменений структуры системы и скачкообразных переходов.

Ключевые слова: система управления, инфокоммуникационная сеть, целевая функция, математическое моделирование, теория катастроф

Leshchenko O. O. Features of the simulation system of information and communication network. The paper presents the simulation results of the optimal control system information and communication network for two selected quality criteria using the mathematical package Matlab and embedded applications Simulink. Analysis of management options, set a variable and basic options. The basic stages of planning of infocommunication networks are considered. In describing the objective function used mathematical apparatus of the theory of catastrophes, which allows to analyze the stability of the system in respect of unforeseen changes in the structure of jumps and transitions.

Keywords: control systeme, infocommunication network, objective function, mathematical modelling, catastrophe theory

Вступ. Сучасна інфокомунікаційна мережа має складну структуру і велику кількість компонентів та функціональних зв'язків. Для взаємодії розподілених компонентів управління в єдиній мережі, а також для реалізації нею функцій управління створюється система, по якій передається інформація управління. Сучасні інженерні продукти стають все більш складними, зокрема, у таких галузях, як інфокомунікаційні технології. Оптимізація складних систем є унікальною проблемою, незважаючи на те, що численні формальні методики для оптимізації складних систем уже розроблені.

В даний час поступово виникає питання про те, що для побудови систем на якісно іншому рівні, а не просто їх модернізації, необхідно бути озброєним теоретичними відомостями про те, у якому напрямку розвиваються системи. Це необхідно для організації керування процесом, що підвищить як показники якості систем, так і ефективність процесів їх проектування, функціонування й експлуатації.

Найбільший теоретичний і практичний інтерес представляє розробка математичних моделей, алгоритмів і програмного забезпечення завдань обробки даних динамічних вимірів і моделювання нестандартних (позаштатних і екстремальних) ситуацій, пов'язаних з

системами управління (СУ) інфокомунікаційними мережами (ІКМ). Нелінійність і нестационарність процесів взаємодії СУ із зовнішнім середовищем значно ускладнюють процедури інтерпретації вимірювальної інформації в режимі реального часу.

До основних факторів, що викликають втрату структурної й функціональної стійкості СУ ІКМ, можна віднести мультисервісність (ріст числа надаваних послуг), мультипротокольність; збільшення числа користувачів послуг; розширення переліку й жорсткість змісту вимог, пропоновані до якості обслуговування і т.д. Дані причини нерідко стають причиною виникнення перевантажень локального й глобального характеру, неконтрольованого росту затримок і джиттера пакетів, втрат повідомлень, переповнення буферів черг на вузлах мережі в цілому.

Метою роботи є моделювання оптимальної системи управління ІКМ за двома обраними критеріями якості за допомогою математичного пакету Matlab та вбудованого додатку Simulink. Для вибору оптимальної системи має бути попередньо обраний критерій оптимальності, тобто правило, за яким одне значення критерію вважається кращим від іншого його значення.

Постановка задачі оптимізації систем управління. Під оптимізацією параметрів СУ в даному випадку мається на увазі пошук мінімуму цільової функції [1], тобто потрібно знайти точку x^* , що називається точкою мінімуму, яка мінімізує цільову функцію

$$F(x): R^n \rightarrow R^1,$$

тобто, функцію, для якої

$$F(x^*) = \min \{F(x) | x \in R^n\}.$$

Якщо цільова функція $F(x)$ диференційована, то всі частинні похідні від $F(x)$ в точці x^* повинні дорівнювати 0, тобто x^* є розв'язком системи рівнянь

$$f_i = \frac{\partial}{\partial x_i} F(x) = 0, \quad i = 1, \dots, n.$$

Якщо дана умова не виконується або тип критичної точки не визначений та потребує додаткового дослідження потрібні додаткові дослідження. В роботі запропоновано використати методи теорії катастроф.

Використання теорії біфуркацій динамічних систем та теорії катастроф при математичному описі процесів, що протікають в системі управління інфокомунікаційними системами, дозволяє проаналізувати та забезпечити стійкість системи, відносно непередбачених змін структури системи та умов функціонування [2]. Використання теорії катастроф дозволяє представити вихідну інформацію у вигляді топологічної карти зміни характерних точок і областей досліджуваних фізичних процесів.

На відміну від класичних методів математичного аналізу, що дозволяє досліджувати плавні безперервні процеси, теорія катастроф представляє собою універсальний інструментарій дослідження стрибкоподібних переходів, розривів, раптових якісних змін.

Поняття оптимізації передбачає отримання найкращих результатів у заданих умовах. З математичної точки зору задача оптимізації полягає у знаходженні екстремуму деякого критерію (набору критеріїв) ефективності функціонування реального об'єкта за наявності ряду обмежень на його технологічні та конструкційні параметри.

Стосовно до оптимізації параметрів системи управління (СУ) інфокомунікаційною мережею (ІКМ) в якості основних параметрів системи розглядаються:

- $T_{\text{транз}}$ транзитні затримки;
- $P_{\text{помил}}$ імовірність помилки;
- $V_{\text{п.д}}$ швидкість передачі даних.

В якості варійованих параметрів розглядаються:

- $T_{\text{транз}}$ – транзитні затримки;
- $P_{\text{помил}}$ – імовірність помилки;
- $V_{\text{п.д}}$ – швидкість передачі даних;
- $T_{\text{зат}}$ – затримка встановлення мережевого з'єднання;
- $T_{\text{розр}}$ – затримка завершення мережевого з'єднання;
- $P_{\text{втрат}}$ – імовірність невдалої передачі інформації;
- $P_{\text{н.розр}}$ – імовірність відмови завершення транспортного з'єднання.

Етапи проектування інфокомунікаційних мереж. На стадії проектування ІКМ в завданні її оптимізації можна виділити наступні основні етапи:

- 1) загальний аналіз задачі оптимізації;
- 2) визначення критерію ефективності або оптимізації;
- 3) вибір оптимізуючих або керуючих змінних і аналіз їх впливу на критерій оптимізації;
- 4) складання математичної моделі;
- 5) вибір алгоритму пошуку оптимального значення;
- 6) програмна реалізація та проведення оптимізаційних розрахунків.

Перший етап передбачає попередній загальний аналіз задачі оптимізації: аналіз можливих варіантів технологічних схем, з'ясування типу задачі оптимізації і т.д.

На другому етапі визначається вид цільової функції оптимізації СУ. Для оцінки ефективності СУ ІКМ можуть бути використані критерії різного виду: технологічні, економічні та т.п. Найбільш загальним і повним є техніко-економічний критерій ефективності у вигляді наведених витрат.

Третій етап передбачає виявлення якісного впливу оптимізуючих змінних на обрану цільову функцію з урахуванням можливих обмежень. При виборі оптимізуючих змінних необхідно враховувати, що за деякими з них оптимум може перебувати на самому обмеженні. Крім того, на цьому етапі важливо виключити всі обмеження, які не будуть досягатися в оптимальному режимі.

Четвертий етап призначений для встановлення в математичній формі зв'язку критерію оптимізації з керованими змінними, а також математичної трактування всіх наявних обмежень. Мета цього етапу – отримання математичного формулювання задачі оптимізації.

П'ятий етап полягає в складанні послідовності логічних і обчислювальних дій, які забезпечують вирішення математичної задачі знаходження екстремуму критерію оптимізації в області змін керованих змінних. У практиці математичного моделювання найбільшого поширення набули графічний спосіб запису алгоритму (блок-схеми) і запис алгоритму у вигляді послідовності кроків.

Шостий етап включає в себе реалізацію обчислювального алгоритму і пошук оптимальних значень цільової функції.

Розглянемо систему з двома керуючими параметрами: k_1 та k_2 – пропускна здатність та затримка керуючого сигналу. Її стійкий стан відповідає одній з семи елементарних катастроф приведених у [3]. Ця катастрофа має назву «збірка», де x – змінна, описується диференціальним рівнянням:

$$F(x, k_1, k_2) = R + \varepsilon f = \frac{1}{4}x^4 + \frac{1}{2}k_1x^2 + k_2x, \quad (1)$$

де $F(x, k_1, k_2)$ – цільова функція.

В функції F величина x^4 являється «ростком» катастрофи, який є стійким до зовнішніх змін в системі управління.

Величина $\varepsilon f = k_2x + \frac{k_1x^2}{2}$ – довільне зовнішнє збурення.

Сепаратриса являється границею стабільного стану системи. Розв’язок системи алгебраїчних рівнянь

$$\begin{cases} x^3 + k_1x + k_2 = 0 \\ 3x^2 + k_1 = 0 \\ 6x = 0 \end{cases}$$

дає рівняння сепаратриси

$$\left(\frac{k_1}{3}\right)^3 + \left(\frac{k_2}{2}\right)^2 = 0.$$

Для регулювання управляючих параметрів k_1 та k_2 з рівнянь можна визначити їх співвідношення [4, 5]:

$$k_1 = -3x^2, \quad k_2 = 2x^3.$$

Реальна задача управління насправді набагато складніша, оскільки рівняння, що описують процес, є нелінійними. Проте критерій, виведений для лінійних систем, може використовувати для дослідження стійкості в загальному нелінійному випадку.

При проведенні моделювання системи управління ІКМ в математичному пакеті Matlab, в якості цільової функції взято рівняння (1).

На Рис.1 представлена найпростіша схема моделювання біфуркації типу «збірки» в програмному засобі «Simulink» [6] математичного пакету Matlab [7]. Нелінійна частина моделі представлена блоком x^3-x , лінійна частина, що відображає динаміку, представлена аперіодичною ланкою першого порядку. Керуючими параметрами є коефіцієнт передачі K і вхідний сигнал f . Таким чином, отримуємо вже динамічну систему, яка, перебуваючи в деякому початковому стані по координаті x , при певному значенні керуючих параметрів K і f приходиться в одне з двох стійких станів рівноваги.

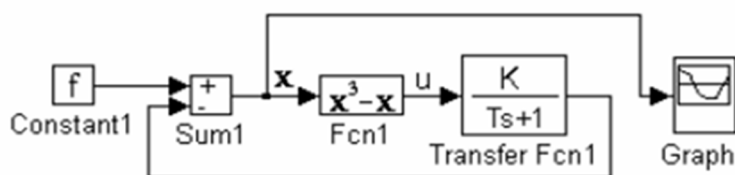


Рис. 1. Схема моделювання біфуркації

Прирівнюючи оператор диференціювання нулю ($s=0$), отримуємо схему для побудови стану рівноваги (Рис. 2)

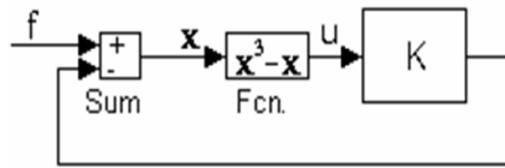


Рис. 2. Схема моделювання стану рівноваги

Запишемо рівняння для стану рівноваги:

$$u = x_s^3 - x_s, \quad x_s = f - K_u .$$

Підставляючи u з першого рівняння в друге отримаємо:

$$-x_s^3 + \frac{K-1}{K}x_s + \frac{f}{K} = 0 .$$

Порівнюючи отримане рівняння з рівнянням “збірки”, можна спостерігати:

$$k_1 = \frac{K-1}{K}, \quad k_2 = \frac{f}{K} .$$

Побудуємо криву катастроф (Рис. 3):

$$k_2 = \pm \sqrt{\frac{4k_1^3}{27}} \quad \text{або} \quad f = \pm \frac{2\sqrt{3}}{9}(K-1)\sqrt{\frac{K-1}{K}} .$$

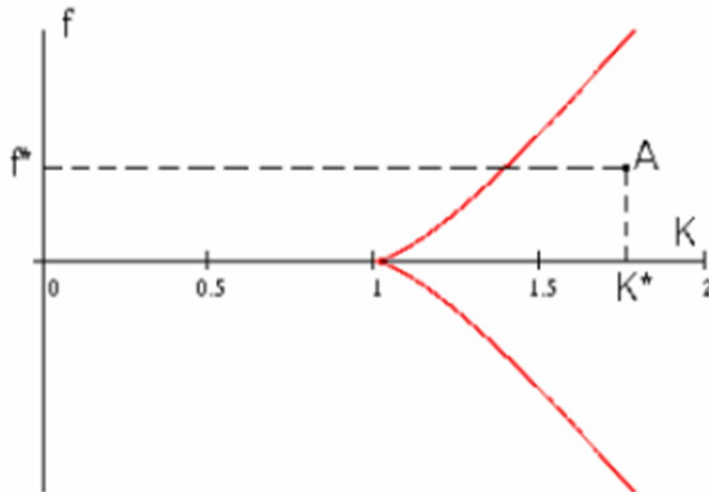


Рис. 3. Крива катастроф

Крива катастроф представляє собою розгалуження, проте особлива точка здвигнута по координаті K на 1 відносно початку координат. Обираючи будь-яку точку всередині розгалуження, наприклад, точку A з координатами $[f^*, K^*]$ отримуємо три стани рівноваги системи: два стійких і один нестійкий.

Область всередині розгалуження визначається рівнянням:

$$|f| < \frac{2\sqrt{3}}{9}(K-1)\sqrt{\frac{K-1}{K}}.$$

Поза областю система має один стійкий стан рівноваги.

Висновок. При переході від традиційної мережі до мережі нового покоління, а саме до мультисервісних мереж, виникає необхідність у нових теоретичних даних про оцінку ефективної роботи системи управління телекомунікаційними мережами. Теоретичний і практичний інтерес представляє розробка математичних моделей для моделювання нестандартних (позаштатних і екстремальних) ситуацій, пов'язаних з системами управління. Представлено моделювання оптимальної системи управління інфокомунікаційної мережі за двома обраними критеріями якості з допомогою математичного пакету Matlab та вбудованого додатку Simulink. При описі цільової функції використано математичний апарат теорії катастроф, який дозволяє проаналізувати стійкість системи, відносно непередбачених змін структури системи та стрибкоподібних переходів.

Література

1. Стеклов В. К. Оптимізація та моделювання пристроїв і систем зв'язку / В. К. Стеклов, Л. Н. Беркман, Є. В. Кільчицький. – К.: Техніка, 2007. – 576 с.
2. Томпсон Дж. М. Неустойчивости и катастрофы в науке и технике / Дж. М. Томпсон ; пер. с англ. – Москва : Мир, 1985. – 254 с.
3. Арнольд В. И. Теория катастроф / В. И. Арнольд. – Москва : Наука, 1990. – 128 с.
4. Постон Т. Теория катастроф и её приложения / Т. Постон, И. Стюарт. – Москва : Мир, 1980.
5. Касти Дж. Большие системы. Связность, сложность и катастрофы / Дж. Касти ; пер. с англ. – Москва : Мир, 1982. – 216 с.
6. Черных И. Simulink: среда создания инженерных приложений / И. Черных. – Москва : Диалог-МИФИ, 2003.
7. Гультяев А. К. MATLAB 5.2. Имитационное моделирование в среде Windows : практическое пособие / А. К. Гультяев. – Санкт-Петербург : КОРОНА принт, 1999. – 288 с.

Дата надходження в редакцію: 19.03.2014 р.

Рецензент: д.т.н., проф. М. А. Віноградов