

УДК 519.816

Д.М. Обідін

Кіровоградська льотна академія Національного авіаційного університету, Кіровоград

ОЦІНКА ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ СТІЙКОСТІ ІНФОРМАЦІЙНО-ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ МЕРЕЖ НА ОСНОВІ АВТОМАТИЗОВАНИХ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ

Запропонований математичний апарат для кількісної оцінки функціональної стійкості інформаційної телекомунікаційної мережі автоматизованих систем управління спеціального призначення.

Ключові слова: функціональна стійкість, автоматизована система управління, інформаційна мережа.

Вступ

Як відомо інформаційно телекомунікаційна мережа (ІТМ) складається з вузлів комутації і каналів (ліній) зв'язку між ними. Головною вимогою, що висувається до інформаційних телекомунікаційних мереж, є виконання нею основної функції – забезпечення абонентів мережі потенційною можливістю доступу до розподілених інформаційних ресурсів, об'єднаних у ІТМ. Всі інші вимоги – продуктивність, надійність, точність, сумісність, керованість, живучість, розширюваність і масштабованість – зв'язані з якістю виконання цієї основної задачі [1]. У сучасних умовах на ІТМ впливають внутрішні (відмови, збої, помилки) і зовнішні (протидія супротивника, наслідки застосування інформаційної зброї) фактори. Тому задача забезпечення стійкого функціонування ІТМ є актуальною.

Ця задача досліджувалась багатьох наукових працях [1 – 3]. Основна увага в них приділяється вирішенню задач побудови резервованих інформаційно-керуючих систем, відмовостійких керуючих обчислювальних систем, адаптивних систем управління.

В [4] ведене поняття функціональної стійкості складних динамічних об'єктів, що можуть описуватися системою диференціальних рівнянь. Однак для складних організаційних систем даний апарат неприйнятний. В теорії надійності [2] обчислення показників надійності опирається в основному на приведенні структури до послідовних і паралельних з'єднань. Це також не прийнятно для складних організаційних систем з безліччю перехресних зв'язків і взаємовпливом станів окремих елементів на інші елементи.

Метою даної статті є побудова математичного апарату для кількісної оцінки функціональної стійкості інформаційної телекомунікаційної мережі АСУ спеціального призначення.

Основний результат

Під функціональною стійкістю розуміється властивість системи виконувати свої функції протягом заданого часу при впливі потоку експлуатаційних

відмов, навмисних ушкоджень, втручання в обмін і обробку інформації, а також при помилках обслуговуючого персоналу [4, 5]. Фактично функціональна стійкість складної технічної системи поєднує властивості надійності, відмовостійкості, живучості і характеризує здатність об'єкта до відновлення працездатного стану за рахунок використання надмірності.

Математична модель представлення структури ІТМ має вид неорієнтованого графа $G(V, E)$, $v_i \in V$, $e_{ij} \in E$, $i, j=1, \dots, n$, описуваного матрицею суміжності. Множині вершин V відповідає множина вузлів комутації розмірності n , а множині ребер E – множина ліній зв'язку між вузлами комутації. Приймається, що ІТМ буде виконувати основну функцію – обмін даними, якщо між будь-якою парою вузлів комутації знайдеться хоча б один маршрут передачі інформації. Таким чином, вимога зв'язності графа дає підставу кількісно оцінити властивість функціональної стійкості інформаційної телекомунікаційної мережі. У технічній кібернетиці, а саме в теорії автоматичного керування [6], побудована класична теорія стійкості динамічних систем, засновником якої є О.М. Ляпунов. В даній теорії можна оцінити стійкість, не вирішуючи систему диференціальних рівнянь, що описують об'єкт, а, використовуючи прості ознаки, умови і критерії стійкості, розроблені Вишнеградським І.О., Гурвицем А., Михайловим А.В., Найквістом Х. та ін. [6]. За аналогією з класичною теорією стійкості пропонується оцінювати функціональну стійкість за параметрами графа, що описує структуру інформаційної телекомунікаційної мережі. Виявляється, що по зовнішньому вигляду графа і його параметрів можна визначити: чи буде мережі функціонально стійкою, нестійкою або нейтральною.

Ознака функціональної стійкості структури. Структура ІТМ є функціонально стійкою, якщо граф структури є однокомпонентним і не має мостів і вузлів з'єднання. Зворотне визначення дозволяє обумовити функціональну нестійкість структури. Ознака функціональної нестійкості структури. Структура ІТМ є функціонально нестійкою, якщо її граф є багатокомпонентним і незв'язаним.

Таким чином, по зовнішньому вигляду графа, а саме по числу компонентів, наявності мостів і вузлів з'єднання графа, можна судити про функціональну стійкість структури, тобто про закладену в ній здатність парувати відмови і uszkodження. Однак для сильно розгалужених і багатoverшинних графів здійснити оцінювання по зовнішньому вигляду складно. Тому для кількісної оцінки ступеня функціональної стійкості введемо в розгляд показники функціональної стійкості структури:

1. Число вершинної зв'язності $\chi(G)$ – це найменше число вершин, видалення яких разом з інцидентними їм ребрами приводить до незв'язного чи одновершинного графа.

2. Число реберної зв'язності $\lambda(G)$ – це найменше число ребер, видалення яких приводить до незв'язного графа.

3. Імовірність зв'язності $P_{ij}(t)$ – це імовірність того, що повідомлення з вузла i у вузол j буде передано за час не більше t .

Аналіз даних показників дозволяє виділити такі їх особливості:

- числа вершинної і реберної зв'язності характеризують тільки поточну структуру, не залежно від надійності вузлів комутації чи ліній зв'язку;

- показники $\chi(G)$ і $\lambda(G)$ приймають значення цілих чисел і зв'язані співвідношенням: $\chi(G) \leq \lambda(G)$;

- імовірність зв'язності $P_{ij}(t)$ дозволяє враховувати надійність комутаційного обладнання, вид фізичного каналу передачі інформації, наявність резервних каналів і маршрутів, а також зв'язність розподіленої структури. Разом з тим, обчислення значення $P_{ij}(t)$ є складною і громіздкою задачею;

- імовірність зв'язності характеризує тільки зв'язність між однією парою вершин. Для того, щоб характеризувати зв'язність між усіма парами вершин необхідно оперувати з матрицею суміжності:

$$A = \| a_{ij} \|, \quad i, j = 1 \dots n, \quad a_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{при } e_{ij} \in E; \\ 0, & \text{при } e_{ij} \notin E. \end{cases}$$

На основі запропонованих ознак і показників можна розробити критерії функціональної стійкості структури:

1. Структура буде функціонально стійкою, якщо число вершинної зв'язності задовольняє умові:

$$\chi(G) \geq 2. \quad (1)$$

2. Структура буде функціонально стійкою, якщо число реберної зв'язності задовольняє умові:

$$\lambda(G) \geq 2. \quad (2)$$

3. Структура буде функціонально стійкою, якщо імовірність зв'язності між кожною парою вершин буде не менш заданої:

$$P_{ij}(t) \geq P_{ij}^{\text{зад}}, \quad i \neq j, \quad i, j = 1 \dots n, \quad (3)$$

де n – число вершин графа $G(V, E)$.

Наведені критерії дозволяють на основі точних розрахунків визначити функціональну стійкість поточної структури інформаційної телекомунікаційної мережі.

На границі двох областей стійкості і нестійкості існує специфічна область, у якій структура мережі не є функціонально стійкою і, у той же час, не є функціонально нестійкою. Таку область, по аналогії з теорією стійкості динамічних систем [6], будемо називати границею функціональної стійкості структури.

Ознакою границі функціональної стійкості є наступне положення. Поточна структура знаходиться на границі функціональної стійкості, якщо граф структури зв'язний, має у своєму складі мости ($N_E > 0$) чи вузли з'єднання ($N_V > 0$):

$$\{K = 1\} \wedge [\{N_V > 0\} \vee \{N_E > 0\}], \quad (4)$$

де K – число компонентів графа, а умова $K=1$ означає, що граф зв'язний. N_V (N_E) – число вузлів з'єднання (мостів) графа.

Мостом називається ребро зв'язного графа, що з'єднує два підграфа, після видалення якого граф перетворюється з однокомпонентного у двокомпонентний. В деяких роботах з теорії графів міст називають перешийком.

Вузлом з'єднання називається така вершина зв'язного графа, після видалення якої разом з інцидентними їй ребрами граф перетворюється з однокомпонентного у двокомпонентний.

Наявність у структурі моста чи вузла з'єднання, що з'єднують два підграфа, означає, що всі маршрути передачі інформації з вершин одного підграфа у вершини іншого будуть містити в собі цей міст чи вузол з'єднання. Дана подія істотно знижує структурну надійність і функціональну стійкість інформаційної телекомунікаційної мережі. Тому для приведення мережі у функціонально стійкий стан необхідно вводити в структуру резервні лінії зв'язку для того, щоб не було в структурі мостів чи вузлів з'єднання. При цьому будуть з'являтися кілька незалежних і альтернативних маршрутів передачі інформації.

Аналіз структур показує, що якщо мережа знаходиться на границі стійкості, то вона працездатна і виконує покладений обсяг функцій. Однак, у випадку хоча б одного відмовлення моста чи вузла з'єднання мережа переходить у нестійкий стан.

Області функціональної стійкості і нестійкості можна також представити в декартовому просторі в координатах N_E, N_V . В залежності від параметрів N_E, N_V графа структури визначається точка на площині, що буде характеризувати стан мережі. За приналежністю точки тій чи іншій області можна судити про функціональну стійкість чи нестійкість мережі.

В графічному представленні границею функціональної стійкості мережі буде геометричне місце точок, що лежать на двох прямих $N_E=1$ і $N_V=1$.

На підставі введених понять виникає питання про те, наскільки далеко поточна структура пролягає від границі стійкості або, з іншого боку, який запас функціональної стійкості. Його можна також визначити в сенсі зв'язності структури. У цьому плані запас буде характеризуватися числом відмов (розривом ребер чи виходом з ладу вершин), що можуть привести структуру до нестійкого стану.

Запас функціональної стійкості кількісно можна визначити на підставі наступних показників:

1. Реберний запас стійкості – число Z_E , рівне потужності мінімального розрізу, що переводить граф з однокомпонентного у двокомпонентний.

2. Вершинний запас стійкості – мінімальне число вершин Z_V графа, після видалення яких разом з інцидентними їм ребрами, граф переходить з однокомпонентного в двокомпонентний.

Геометрична інтерпретація запасу стійкості буде визначатися як мінімальна відстань від точки на площині, визначеної параметрами N_E, N_V , до границі стійкості. Можна також обчислювати запас функціональної стійкості по імовірності зв'язності, як різницю між заданим значенням і поточним. Очевидно, що в цьому випадку запас буде виражатися квадратною матрицею, у якій кожен елемент буде мати значення $(P_{ij}^{\text{зад}} - P_{ij})$.

Слід відзначити основні труднощі при застосуванні наведених оцінок функціональної стійкості. Визначення числа вершинної зв'язності $\chi(G)$ та реберної зв'язності $\lambda(G)$ можна здійснити по зовнішньому вигляду графа тільки для простих графів з невеликим числом вершин. Аналітично ці показники можна обчислити за допомогою алгоритму, побудованого на аналізі локальних ступенів вершин графу. Імовірність зв'язності пари вершин графа P_{ij} обчислити складніше. Для цього існує ряд алгоритмів, опублікованих в літературі [3 – 5], заснованих на приведенні до послідовно-паралельних з'єднань ребер шляхом перетворень графів. Один із таких алгоритмів, побудованих на переборних методах з відсіканням неперспективних варіантів, запропоновано в доповіді.

Таким чином, на підставі ознак функціональної стійкості після визначення запропонованих параметрів можна визначити стан інформаційної телекомунікаційної мережі, а саме знаходження мережі в функціонально стійкому стані чи функціонально нестійкому.

Ступінь функціональної стійкості визначає запас функціональної стійкості, який можна знайти як аналітично за запропонованими формулами, так і графічно. На підставі досліджень появляється можливість: обґрунтування вимог до інформаційних телекомунікаційних мереж, що будуть проектуватися, вирішення задачі синтезу оптимальної структури за критерієм максимуму функціональної стійкості з обмеженням на вартість побудови та експлуатації ліній зв'язку, а також обґрунтованого нарощування структури інформаційної телекомунікаційної мережі в процесі експлуатації.

Висновок

В статті запропоновані ознаки і показники функціональної стійкості структури інформаційної телекомунікаційної мережі. Запропоновано кількісні методи оцінки функціональної стійкості за приведеними показниками. На основі цих оцінок можна давати рекомендації з нарощування структури чи складати обґрунтовані вимоги до структури інформаційної телекомунікаційної мережі, що буде проектуватися.

Список літератури

1. Додонов А.Г. Введение в теорию живучести вычислительных систем / А.Г. Додонов, М.Г. Кузнецова, Е.С. Горбачик. – Ин-т пробл. регистрации информации. – К.: Наукова думка, 1990. – 184 с.
2. Кравченко Ю.В. Метод поэтапного уменьшения мощности базы матроида в задачах построения топологии системы зв'язку і автоматизації управління військами / Кравченко Ю.В., Микусь С.А. // Системи озброєння і військова техніка. – 2013. – № 4(36). – С. 74 – 78.
3. Королев А.В. Адаптивная маршрутизация в корпоративных сетях / А.В. Королев, Г.А. Кучук, А.А. Пашинев – Х.: ХВУ, 2003. – 224 с.
4. Обідін Д. М. Ознаки та критерії функціональної стійкості інтелектуалізованої системи автоматичного управління польотом літака. / Д.М. Обідін, О.В. Барабаш // Системи озброєння і військова техніка: Науковий журнал. – 2012. – № 1 (29). – С. 133 – 136.
5. Барабаш О.В. Построение функционально устойчивых распределенных информационных систем / О.В. Барабаш. – К.: НАОУ, 2004. – 226 с.
6. Артюшин Л.М. Теорія автоматичного керування / Л.М. Артюшин, О.В. Машков, М.С. Сівов – К.: КІВПС, 2000. – 320 с.

Надійшла до редколегії 22.01.2014

Рецензент: д-р техн. наук проф. Г.В. Худов, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.

ОЦЕНКА ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ УСТОЙЧИВОСТИ ИНФОРМАЦИОННО-ТЕЛЕКОМУНИКАЦИОННЫХ СЕТЕЙ НА ОСНОВЕ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

Д.Н. Обидин

Предложенный математический аппарат для количественной оценки функциональной устойчивости информационной телекоммуникационной сети автоматизированных систем управления специального назначения.

Ключевые слова: функциональная устойчивость, автоматизированная система управления, информационная сеть.

STABILITY ASSESSMENT OF FUNCTIONAL INFORMATION TELECOMMUNICATIONS NETWORKS BASED AUTOMATED CONTROL SYSTEMS

D.M. Obidin

Proposed mathematical tool to quantify the functional stability of informational telecommunications network of automated control systems for special purposes.

Keywords: functional stability, automated control system, information network.