УДК 621.327.8

В.Б. Толубко, Л.Н. Беркман, Л.О. Комарова

Державний університет телекомунікацій, Київ

ВИЗНАЧЕННЯ МАТЕМАТИЧНОЇ ФУНКЦІОНАЛЬНО-СТАТИСТИЧНОЇ МОДЕЛІ МЕРЕЖНОГО ЕЛЕМЕНТУ ЯК ОБ'ЄКТА КОНТРОЛЮ ТА УПРАВЛІННЯ

Методом аналізу рівняння збуреного стану об'єкта в процесах контролю і управління визначено функціональний стан об'єкта, синтез системи контролю та оцінки її ефективності, характеристику статичного і динамічного стану об'єкта через імовірнісний опис за допомогою законів розподілу імовірності значень параметрів і векторів-операторів. Розглянута функціонально-статистична модель, що дозволяє визначити імовірнісні характеристики інфокомунікаційної мережі як об'єкта управління та безпосередню імовірність появи поступових відмов систем об'єкта, використовуючи чотири математичні моделі, які засновані: на методі інтегрування диференціальних рівнянь, методі Монте-Карло, методі квазілінійних збурень і методі канонічних розкладань.

Ключові слова: *інфокомуникаційна мережа,складна система.*

Вступ

Об'єктом контролю і управління може бути будь-яке устаткування інфокомуникаційної мережі, а також уся мережа в цілому. При цьому мережа розглядається як складна система, що підлягає управлінню. Складність процесу контролю і управління обумовлюється, в основному, складністю об'єктів. Для опису функціонування об'єкта доцільно побудувати його математичну модель. Якнайповніший стан об'єкта характеризує математична функціонально-статична модель – це система рівнянь або операторів, що описують залежність вихідних параметрів об'єкта, системи або блоку від зовнішніх і внутрішніх впливів при функціонуванні. На основі аналізу цієї моделі можливо сформулювати основні завдання, що вирішуються автоматичною системою контролю та управління, а також синтезувати оптимальну систему управління мережею, визначаючи міру автоматизації та її ефективність.

При побудові математичної функціонально-статистичної моделі необхідно враховувати те, що мережа як об'єкт управління може складатися зі систем всіляких класів і видів. Ці системи можуть бути автономними і неавтономними, замкнутими і розімкненими, стаціонарними і нестаціонарними, неперервними і дискретними. Тому для побудови математичної функціонально статистичній моделі необхідно використовувати досить загальний математичний апарат, який при відповідних змінах може бути поширений на окремі випадки.

Крім того, при побудові математичної функціонально-статистичної моделі об'єкта необхідно також мати уяву про основні критерії, за якими виконується оптимізація характеристик процесу контролю і управління.

До цих критеріїв перш за все відносяться:

- час, необхідний для виконання процесу в цілому і його складових;
- імовірність безвідмовної роботи;
- імовірність виконання завдання різними мережними елементами, що входять в об'єкт, і об'єктом у цілому;
- імовірність помилки;
- затримка передачі інформації, що управляє;
- коефіцієнт готовності;
- відсоток втрати пакетів;
- точність роботи різних складових інфокомунікаційної мережі (величина відхилення параметрів від норми);
- вартість, споживана енергія й інші важливі показники.

Основна чистина

Постановка задачі. Методом аналізу рівняння збуреного стану об'єкта у процесах контролю та управління визначити функціональний стан об'єкта, синтез системи контролю та оцінки її ефективності, характеристику статичного і динамічного стану об'єкта через імовірнісний опис за допомогою законів розподілу імовірності значень параметрів і векторів-операторів. Розглянути функціонально-статистичні моделі, що дозволяють визначити імовірнісні характеристики інфокомунікаційної мережі як об'єкта управління та безпосередню імовірність появи поступових відмов систем об'єкта, використовуючи чотири математичні моделі, які засновані: на методі інтегрування диференціальних рівнянь, методі Монте-Карло, методі квазілінійних збурень і методі канонічних розкладань.

Розв'язання наукової задачі. Метод інтегрування диференціальних рівнянь – це метод

прямого обчислення багатовимірної щільності імовірності вихідних параметрів об'єкта за допомогою диференціальних рівнянь.

Метод Монте-Карло полягає в багатократному виборі випадкової величини параметрів систем із подальшим визначенням закону розподілу вихідних параметрів об'єкта.

Метод квазілінійних збурень полягає в представленні вихідних параметрів у вигляді ряду Тейлора з подальшим визначенням закону розподілу імовірності вихідних параметрів.

Розглянемо математичну модель об'єкта, що заснована на методі квазілінійних збурень, як найбільш просту, яка дозволяє отримувати практично важливі результати методу інтеграції диференціальних рівнянь і умов його вживання, а також метод Монте-Карло.

Під об'єктом контролю розуміється комплекс складних і простих, статичних і динамічних систем та елементів, а також окремі системи і блоки, характеристики яких формуються, контролюються і набудовуються по певних алгоритмах.

Під параметрами багатовимірного об'єкта, систем і блоків розуміються величини, функціональні залежності або оператори, що є мірою якості об'єкта і що характеризують здатність об'єкта виконувати задані функції управління.

При контролі та управлінні функціонування об'єкта можна розглядати як багатовимірну динамічну систему, що включає автоматизовані системи управління (СУ) спільно з керованим об'єктом (рис. 1). На цю систему, разом із закономірними і випадковими управляючими діями або сигналами контролю, впливають різні випадкові перешкоди у вигляді зовнішніх збурень, що діють, як правило, на об'єкт, і внутрішніх, діючих на різні функціональні блоки СУ.

Збурений стан об'єкта при контролі та управлінні можна описати системою рівнянь, математичною функціональною моделлю

$$\sum_{p=1}^{m} M_{lp}(t,\tau,\frac{d}{dt},Q)x_p = F_l(t,\tau,X,Z), \quad (1)$$
$$l = 1,2,...,m,$$

де $X\{x_1, x_2, \ldots, x_m\}$ – вектор випадкових функцій часу, що характеризують вихідні параметри об'єкта;

$Z\{\zeta_1, \zeta_2, \ldots, \zeta_k\}$ – вектор випадкових функцій часу, що характеризують зовнішні і прямі внутрішні збурення та управляючі дії (на рис. 1 дії, що управляють, позначені через Ф);

F_l – нелінійна функція часу;

$M_{lp}(t,\tau,\frac{d}{dt},Q)$ – многочлен відносно оператора диференціювання $\frac{d}{dt}$ із змінним у часі випадковим вектором коефіцієнтів $Q\{q1, q2, \ldots, q_m\}$;

t – поточне значення часу;

^{2} – момент часу, до якою аналізується об'єкт.

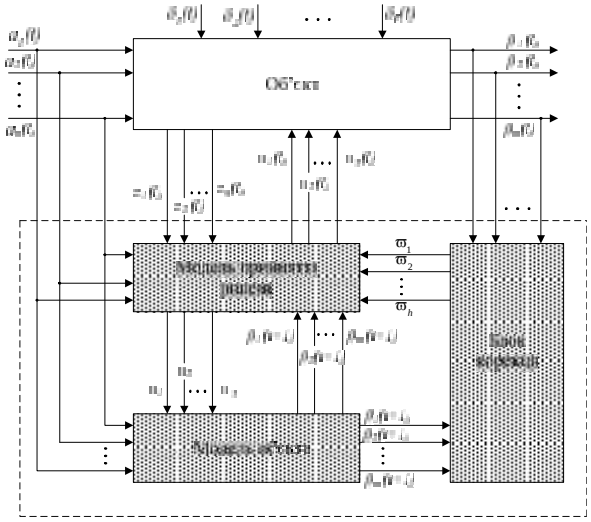

Рис. 1. Модель об'єкта управління

Система рівнянь (1) і залежності від етапу і вибраного алгоритму контролю може описувати динамічний стан об'єкта, керованого системами автоматизованого управління. Наприклад, у мережі FN, об'єкт контролю (КО) – це модем, програмний комутатор, маршрутизатор і так далі. Процес управління об'єктом полягає в забезпеченні відповідності параметрів КО певної норми. Відхилення параметрів від норми повинно бути не більш допустимого значення. При цьому на об'єкт діють випадкові збурення, а також випадкові і невипадкові дії. Випадковість внутрішніх збуренні обумовлюється: допусками виробництва; раптовим відхиленням параметрів елементів від розрахункових; поступовим відходом параметрів елементів від розрахункових; чутливістю устаткування, що входить у систему управління; різними шумами, що діють у каналах передачі інформації та ін.

Внутрішні збурення можна розділити на прямі і непрямі. До прямих внутрішніх збурень відносяться всі збурення, що діють на канали передачі інформації (випадкова кінцева точність і чутливість окремих мережевих елементів, а також всілякі шуми на входах цих елементів). До непрямих внутрішніх збурень відносяться збурення, що впливають на вихідні параметри при зміні параметрів мережевих елементів (точність налаштування окремих мережевих елементів, зміна умові експлуатації і режиму роботи СУ).

Випадковість зовнішніх збурень обумовлюється; випадковістю помилок функціонування об'єкта і системи управління, випадковими відхиленнями параметрів мережного елементу від розрахункових, погрішностями виготовлення об'єкта, помилками при передачі і прийомі інформації, помилками СУ, випадковими збуреннями довкілля.

Випадковість параметрів сигналів, що управляють або корисного, може обумовлювати, зокрема, випадковість факту появи цих сигналів. Таким чином, як дія, що управляє, так і збурення, що діють на об'єкт, слід розглядати в статистичному плані.

Стан будь-якої динамічної системи, що знаходиться під впливом сигналів, що управляють, і збурень, визначається деякими вихідними параметрами, певним чином пов'язаними з діями на систему через відповідний системі рівнянь (1) вектор-оператор динамічної системи, заданий або сукупністю математичних операцій $A(t,\tau,X,Z,Q)$, або сукупністю лінійних або нелінійних диференціальних рівнянь (1).

У зв'язку з випадковим характером різних дій і збурень, вихідні параметри об'єкта будуть також випадковими функціями часу.

Кожній групі номінальних умов при $t=\tau_0, x_{01}, x_{0m}, \zeta_{01},...,\zeta_{0k}$, номінальної області G0 відповідає своє номінальне вирішення системи (1):

$$x_{0i}=\phi_{0i}(\tau_0,\tau,X_0,Z_o). \qquad (2)$$

Кожній групі реальних умов в момент часу $t=\tau_1, x_1, x_m, \zeta_1,...,\zeta_k$ реальної області G1 відповідає своє реальне вирішення системи (1):

$$x_i=\phi_i(\tau_1,\tau,X,Z). \qquad (3)$$

Система рівнянь (1) по числу нелінійних операторів і вихідним параметрам може бути представлена у вигляді m окремих рівнянь. Для простоти покладемо, що число вихідних параметрів дорівнює числу операторів, хоча їх може бути більше. Для ν-го параметра система рівнянь (1) стане рівнянням:

$$M_{l\vartheta}(t,\tau,\frac{d}{dt},Q)x_\vartheta=F_l(t,\tau,x_\vartheta,Z). \qquad (4)$$

Для мережного елементу цьому рівнянню при лінеаризації можуть відповідати імпульсна $\omega(t,\tau,\mu,x_\nu,Z,Q)$, перехідна $h(t,\tau,\mu,x_\nu,Z,Q)$, передаточна $W(t,\tau,p,x_\nu,Z,Q)$ функції системи, амплітудна $A(t,\tau,\omega,x_\nu,Z,Q)$ і фазова $\phi(t,\tau,\omega,x_\nu,Z,Q)$ частотні характеристики системи.

Для об'єктів, що реалізовують функції управління маршрутом у мережі з комутацією пакетів, число вихідних параметрів рівне або більше числа ступенів свободи, які визначаються можливими маршрутами проходження пакетів у цій мережі.

Наприклад, рівняння маршрутизації можна записати у вигляді:

$$M_\gamma(t,\tau,\frac{d}{dt},Q_\gamma)x_\gamma=F_\gamma(t,\tau,\frac{d}{dt},Z_\gamma) \qquad (5)$$

$$M_\beta(t,\ \tau,\ \frac{d}{dt},\ Q_\beta)x_\beta=F_\beta(t,\ \tau,\ \frac{d}{dt},\ Z_\beta) \qquad (6)$$

$$M_\omega(t,\tau,\frac{d}{dt},Q_\omega)x_\omega=F_\omega(t,\tau,\frac{d}{dt},Z_\omega), \qquad (7)$$

де x_γ – відхилення параметра часу затримки передачі пакету від норми; x_β – відхилення параметра імовірності втрати пакету від норми; x_ω – відхилення швидкості передачі інформації від нормованої величини, а також рівняння, що описують коефіцієнт передачі мережного елементу:

$$M_\nu(t,\tau,\frac{d}{dt},Q_\nu)x_\nu=F_\nu(t,\tau,\frac{d}{dt},Z_\nu); \qquad (8)$$

$$M_\psi(t,\tau,\frac{d}{dt},Q_\psi)x_\psi=F_\psi(t,\tau,\frac{d}{dt},Z_\psi); \qquad (9)$$

$$M_\phi(t,\tau,\frac{d}{dt},Q_\phi)x_\phi=F_\phi(t,\tau,\frac{d}{dt},Z_\phi), \qquad (10)$$

де ν – відхилення амплітудно-частотної характеристики від норми; ψ – відхилення фазо-частотної характеристики від норми; φ – відхилення джитера від норми.

У рівняннях (5) – (10) число збурень і управляючих дій може бути будь-яким.

Регульовані параметри можуть бути як залежними, так і незалежними. При функціонуванні мережного елементу (наприклад, модема) зазвичай вважають, що відхилення параметрів від норми відбуваються з відносно великою частотою, але є невеликими за значеннями і практично мало впливають на працездатність мережі. Тому при складанні та аналізі рівнянь, що характеризують функціонування мережевого елементу АФЧХ каналу можна нехтувати. Крім того, в загальному випадку відхилення АФЧХ каналу компенсується адаптивним коректором або властивістю інваріантності OFDM сигналу.

Висновки

Таким чином, у деяких окремих випадках можна розглядати рівняння функціонування об'єкта по одному з регульованих вихідних параметрів (наприклад, імовірність помилки) незалежно від інших параметрів (наприклад, від АФЧХ).

При контролі об'єкта системи регулювання окремих параметрів виявляються розімкненими, і тоді залежно від вибраного критерію оцінки готовності систем аналіз і синтез системи контролю і управління значно спрощується.

Аналіз рівняння збуреного стану об'єкта у процесах контролю і управління дозволяє визначити функціональний стан об'єкта, синтез системи контролю та оцінки її ефективності. Проте повнішою характеристикою статичного і динамічного стану об'єкта є ймовірнісний опис за

допомогою законів розподілу імовірності значень параметрів і векторів-операторів.

Список літератури

1. Стеклов В.К. Оптимізація та моделювання пристроїв і систем зв'язку // В.К.Стеклов, Л.Н.Беркман, Є.В. Кільчицький; Підручник для ВНЗ. – К.: Техніка, 2004. – 576 с.

2. Стеклов В.К. Теорія електричного зв'язку // В.К. Стеклов, Л.Н. Беркман; Підручник. – К.:Техніка, 2006 – 548 с.

3. Стеклов В.К. Проектування телекомуніка-ційних мереж // В.К. Стеклов, Л.Н. Беркман; Підручник для ВНЗ. – К.: Техніка, 2002. – 792 с.

4. Комарова Л.О. Методика структурного синтезу моделі контрольованого об'єкта за допомогою декомпозиції моделі / Л.О. Комарова, С.І. Мєшков, О.С. Стец // Вісник ДУІКТ. – К., 2013. – № 3. – С.9 – 12.

Надійшла до редколегії 17.07.2013

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Л.Ф. Купченко, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ ФУНКЦИОНАЛЬНО-СТАТИСТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ СЕЛЕВОГО ЭЛЕМЕНТА КАК ОБЪЕКТА КОНТРОЛЯ И УПРАВЛЕНИЯ

В.Б. Толубко, Л.Н. Беркман, Л.А. Комарова

Методом анализа уравнения возмущенного состояния объекта в процессах контроля и управления определено функциональное состояние объекта, синтез системы контроля и оценки ее эффективности, характеристику статического и динамического состояния объекта, через описание с помощью законов распределения вероятности значений параметров и векторов-операторов. Рассмотрена функционально-статистическая модель, которая позволяет определить вероятностные характеристики инфокоммуникационной сети как объекта управления и непосредственную вероятность появления постепенных отказов систем объекта, используя четыре математических модели, основанные: на методе интегрирования дифференциальных уравнений, методе Монте-Карло, методе квазилинейных возмущений и методе канонических разложений.

Ключевые слова: *инфокоммуникационная сеть, сложная система.*

DEFINITION MATH FUNCTION STATISTICAL MODEL AS AN OBJECT MUDFLOW CONTROL AND MANAGEMENT

V.B. Tolubko, L.N. Berkman, L.A. Komarova

Analysis method equation perturbed object state processes and control definitely functional state object synthesis system monitor its efficiency and characterization static and dynamic object state through description using probability distribution parameter and vectors operators. Funktsionalno considered statistical model , which allows to determine the probabilistic characteristics as obekta infokommunikatsiynoy network management and immediate probability of gradual failures object systems using four mathematical models based : on the method of integration of differential equations , the Monte Carlo method , the method of quasi-linear perturbation method and canonical expansions.

Keywords: *infocommunication network , complex system.*