

Ольга Олександрівна Лещенко

ВИБІР ЕФЕКТИВНИХ МЕТОДІВ ПРОГНОЗУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ІНФОКОМУНІКАЦІЙНОЇ МЕРЕЖІ

Постановка проблеми. Аналіз останніх досліджень і публікацій

Досвід проектування телекомунікаційних мереж, а також аналіз і порівняльне дослідження перспективних напрямків розвитку цифрових телекомунікаційних систем і мереж показали, що для збільшення швидкості передачі даних необхідна наявність докладних відомостей по багатьох параметрах (технічних характеристиках) системи, кількості каналів зв'язку і схемах розподілу інформаційного потоку. Основні параметри визначають на основі моніторингу системи управління (СУ) і прогнозування поведінки інформаційного потоку в ній.

Побудова ефективної системи управління сучасними інфокомунікаційними мережами вимагає вирішення завдань прогностичного контролю. Одним з початкових завдань прогностичного контролю є аналіз і розробка методик прогнозування, застосованих для вирішення завдання ефективного управління інфокомунікаційною мережею. У процесі планування інфокомунікаційних мереж використовуються різні методи. Вибір методу здійснюється з урахуванням поставленої задачі, характеру розглянутого процесу і доступної статистичної інформації.

Необхідність прогнозування зумовлена ще й тим, що воно здійснюється безперервно в міру надходження нової інформації і дає обґрунтовані оцінки шляхів розвитку керованого об'єкту. Удосконалення СУ зумовлюється глобальними структурними змінами у галузі та економіці, новими тенденціями та пріоритетами в мережних технологіях, інформаційній діяльності, зростанням впливу цифрових інфокомунікаційних технологій на діяльність галузі у цілому та системи управління, у тому числі.

Так як параметри СУ динамічно змінюються в часі, то ймовірні відхилення в значеннях досліджуваних параметрів. Відхилення можуть свідчити про наявність проблем з продуктивністю мережі, збоїв в роботі апаратного або програмного забезпечення. Завдання полягає в тому, щоб автоматично ідентифікувати поведінку параметрів СУ відповідно до еталонних значень. Як тільки така поведінка ідентифікована, система моніторингу повинна автоматично згенерувати повідомлення,

щоб привернути увагу оператора до потенційної проблеми. Але використання такого способу не дозволяє виявити зміни в поведінці мережі в режимі реального часу і, як наслідок, забезпечує низьку ймовірність визначення збою системи. Тому застосування методів прогнозування в інфокомунікаційних мережах є особливо актуальною задачею у кризових надзвичайних ситуаціях.

Аналіз наукової та технічної літератури [1, 2] показує, що в даний час з урахуванням різноманіття використовуваних технологій передачі даних у інфокомунікаційних мережах проблема ефективного прогностичного контролю в повній мірі не вирішена, зокрема відсутні математичні моделі факторів, які б дозволяли вирішувати завдання їх прогнозування з необхідною точністю і дозволяли визначати не спостережувані параметри на основі вимірювання спостережуваних параметрів системи управління.

Формалізовані методи прогнозування ефективні в тих випадках, коли добре відома передісторія досліджуваного процесу. В даний час більшість прогнозів здійснюється за допомогою методів екстраполяції та експертних оцінок. Кожен з цих двох методів реалізується різними способами, вибір яких залежить від досліджуваного процесу і поставленого завдання.

Дослідження методів екстраполяції, статистичних методів та фрактального аналізу показали, що на сьогодні недостатньо досліджені принципи побудови ефективних СУ мережею в умовах нестаціонарності, які характеризуються непередбачуваною поведінкою та різкими змінами стану. Проте в життєвому циклі системи управління існують періоди порівняно повільних еволюційних змін і періоди стрибкоподібної зміни стану. Будь-яких універсальних формальних правил надійного прогнозування стрибкоподібних змін стану систем в даний час не існує. У ряді випадків для прогнозування таких змін використовуються моделі теорії катастроф.

Для інфокомунікаційної мережі задачі прогнозування істотно ускладнюються. Ускладнення розробки прогнозів, крім проблем з достовірністю необхідної статистичної інформації, пояснюється тим, що деякі види нових послуг настільки специфічні, що для їх прогнозування дуже складно підібрати адекватні аналоги.

Формулювання мети статті. Виклад основного матеріалу

Мета статті: обґрунтувати застосування моделей теорії катастроф для прогнозування стрибкоподібних змін стану систем управління.

Завдання статті: запропонувати використання методів теорії катастроф для прогнозування поведінки СУ на всіх етапах її життєвого циклу, вирішення задачі вибору областей стійкості за ефективними критеріями системи.

Втрата системою стійкості називається катастрофою. Точніше - це стрибкоподібна зміна, що виникає при плавній зміні зовнішніх умов. З математичної точки зору нестійкість і пороговий характер самоорганізації пов'язані з нелінійністю рівнянь, що описують систему. Для лінійних рівнянь існує один стаціонарний розв'язок, для нелінійних декілька. Таким чином, пороговий характер самоорганізації пов'язаний з переходом з одного стаціонарного стану у інший.

Знаючи зовнішні умови та впливи СУ, а також закони управління теорія катастроф дозволяє передбачити подальший шлях розвитку системи. Методи даної теорії дозволяють параметрам системи змінюватися лише у достатньо обмежених границях. І ці границі, у багатьох випадках, можливо визначити заздалегідь, тобто спрогнозувати. Для методів катастроф результатом прогнозу є значення, що дають можливість зорієнтуватися у параметрах надзвичайної ситуації. Зміна форм рівноваги мережі відбувається тоді, коли навантаження на неї перевищить деяке критичне значення. Яка саме форма рівноваги буде реалізована залежить від випадкових впливів (наприклад, виходу з ладу мережевого елементу), яких зазнає мережа саме в той момент, коли зовнішнє навантаження перевищує критичне значення.

Теорія катастроф досліджує, яким чином стан рівноваги змінюються при зміні керуючих параметрів, при цьому особлива увага приділяється ситуаціям, у яких сингулярні числа матриці Гессе обертаються в нуль, і доводиться враховувати члени більш високого порядку, ніж лінійні — квадратичні, кубічні, четвертого порядку. В ряді випадків зовнішні впливи, за допомогою гладкої заміни змінних, можна звести до деякого набору "канонічних" форм, яких існує сім та які названі «елементарними катастрофами» [3]. Завдяки цим результатам, замість вивчення всієї різноманітності збурювань точок рівноваги, має сенс досліджувати лише невеликий набір їх канонічних представників.

Для вирішення поставленої задачі необхідно дослідити методи існування екстремуму цільової функції системи. Невироджені точки мають властивість стійкості, при малих змінах параметрів. Основну роль у поведінці систем відіграють критичні вироджені точки функції $f(x)$, для яких $\det \|Gf(x^*)\| = 0$, де G - матриця Гессе, x^* - точка

екстремуму. Наявність даних точок призводить до раптової якісної зміни стану системи.

Критичні точки нестійкості одержали назву точок біфуркації, оскільки в еволюції системи саме в цих місцях раптово з'являється можливість вибору і система починає еволюціонувати в тому або іншому новому напрямі. У фізичному сенсі точкам біфуркації (від французького *la bifurcation* – розгалуження, вилка) відповідають точки нестійкості, у яких система різко змінює характер поведінки, в ній несподівано виникають нові форми впорядкованості. В математичному значенні точки біфуркації визначають якісні зміни розв'язку рівняння, яке описує складну систему, при зміні параметра рівняння. З точки біфуркації виходять декілька (дві або більше) стійких або нестійких гілок розв'язків.

Припускається, що поточний стан структурно стійкої системи залишається якісно незмінним при достатньо малій модифікації деякого параметра. Наприклад, система зв'язку структурно стійка в тому випадку, коли у ній забезпечується обмін інформацією з потрібною якістю під час виходу з ладу окремих елементів або порушення зв'язків між ними. У реальних умовах, функціонування багатьох систем, здійснюється при впливі великої кількості різноманітних чинників, що погано контролюються, у тому числі й непередбачених, випадкових, взаємодія яких має складний характер. Наприклад, стосовно системи зв'язку до числа таких чинників відносять радіоелектронний вплив інших систем, несправності та відмови радіоелектронних засобів, відхилення їх конструктивних параметрів, зміни стану зовнішнього середовища, ймовірність помилки та інші.

СУ інфокомунікаційною мережею може мати нескінченну кількість параметрів, тому простір параметрів, як і в багатьох багатопараметричних задачах стійкості, розбивається на області стійкості й нестійкості. Таким чином, об'єктом дослідження є побудова й аналіз границі між цими областями - границі області стійкості. Як відомо, границя області стійкості складається із гладких поверхонь, але може мати різного роду особливості.

Динаміка поведінки системи в критичній точці може бути вивчена за допомогою розкладу цільової функції в ряд Тейлора при малих змінах параметрів. Якщо функція залежить від трьох або меншого числа змінних, і п'яти і менше параметрів, то в цьому випадку існує всього сім узагальнених структур, якими можна описати стандартні форми катастроф і які можна визначити шляхом заміни координат та звести до однієї з канонічної форми, що структурно стійка [4].

Нехай цільова функція СУ залежить від трьох керуючих параметрів мережі: a – ймовірність помилки та b – затримка управляючого сигналу, c – кількість відмов. Її стійкий стан відповідає одній з семи елементарних катастроф приведених у [5]. Цільова функція матиме вигляд:

$$F(x, a, b, c) = \frac{1}{5}x^5 + \frac{1}{3}ax^3 + \frac{1}{2}bx^2 + cx \quad (1)$$

Ця катастрофа має назву ластівчин хвіст (рис. 1). Ластівчин хвіст можна визначити як безліч усіх точок (a, b, c) , таких, що багаточлен $x^4 + ax^2 + bx + c$ має кратний корінь. В цій поверхні є ребро повернення (В, рис. 1) і лінія самоперетинання (С, рис. 1) [5].

Критичні точки отримані прирівнюванням перших похідних $F(x; a, b, c)$ до нуля:

$$\frac{\partial F}{\partial x} = x^4 + ax^2 + bx + c = 0 \quad (2)$$

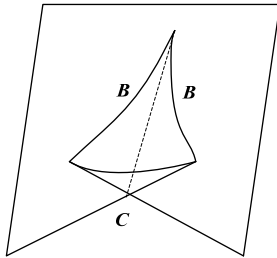


Рис. 1. Поверхня ластівчин хвіст

Знайдемо безліч точок R_3 в яких рівняння четвертого порядку (1), що має по x потрійний корінь. Маємо:

$$\frac{\partial^2 F}{\partial x^2} = 4x^3 + 2ax + bx + c = 0 \quad (3)$$

$$\frac{\partial^3 F}{\partial x^3} = 12x^2 + 2a = 0$$

Чотириразово вироджені критичні точки

визначаються.

$$\begin{cases} x = 0 \\ a = 0 \\ b = 0 \\ c = 0 \end{cases}$$

Це означає, що функція $F(x; 0, 0, 0)$ має чотириразово вироджену критичну точку $x=0$. Лінії, які з'єднують точки, що характеризують поведінку функції з трічі виродженими критичними точками, мають наступне параметричне зображення в просторі керуючих параметрів R_3 :

$$\begin{cases} a = -6x^2 \\ b = 8x^3 \\ c = -3x^4 \end{cases} \quad (4)$$

Точки, що характеризують функції з двічі виродженими критичними точками, утворюють поверхню, яка в просторі параметрів R_3 може бути зображена як:

$$\begin{cases} b = -4x^3 - 2ax \\ c = 3x^4 + ax^2 \end{cases} \quad (5)$$

У просторі R_3 з координатами a, b, c дискримінант рівняння (1) визначає деяку поверхню K . Щоб описати форму цієї поверхні

пересічемо її площинами $a = \text{const}$. Визначимо якісний тип області, для цього розглянемо будь-яку її точку, наприклад точки $0, 2, 4$ (рис. 2). Рівняння $x^4 + ax^2 + bx + c = 0$ має розв'язок:

$$x = \pm \left(-\frac{a}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{a}{2}\right)^2 - c} \right)^{1/2}$$

При $a > 0$: два дійсних кореня, якщо $c < 0$, і жодного дійсного кореня, якщо $c > 0$; при $a < 0$: два дійсних кореня, якщо $c < 0$, чотири дійсних кореня, якщо $0 \leq c < (a/2)^2$, жодного дійсного розв'язку, якщо $0 < c < (a/2)^2$.

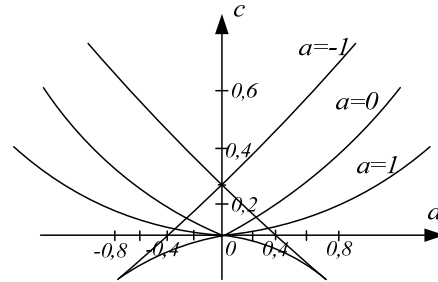


Рис. 2. Поперечні перерізи $a = +1, a = 0, a = -1$ катастрофи ластівчин хвіст в просторі R_3

По мірі проходження значень параметрів по поверхнях областей зникає один мінімум і один максимум цільової функції. В області біфуркацій з точкою звороту два мінімуми і один максимум замінюються одним мінімумом; за ними біфуркації типу «згортка» зникають. В точці ластівчинного хвоста два мінімуми і два максимуми зустрічаються в одному значенні змінної x . Для значень $a > 0$ за хвостом ластівки існує або одна пара (мінімум, максимум), або не існує взагалі ніяких біфуркацій. Це залежить від значень параметрів b і c . Дві поверхні біфуркацій типу «згортка» і дві лінії біфуркацій з точками звороту зустрічаються при $a < 0$, а тому зникають в самій точці ластівчинного хвоста, замінюючись однією поверхнею біфуркацій типу «згортка». Біфуркаційні області представлені на рис.3.

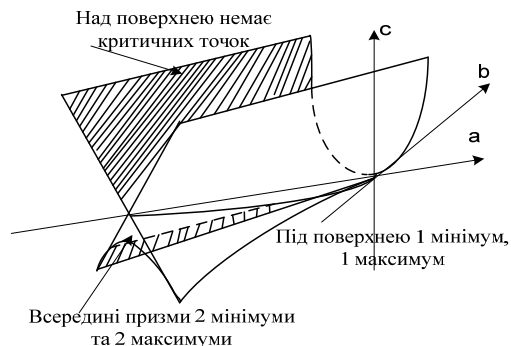


Рис. 3. Біфуркаційні області катастрофи типу ластівчин хвіст

Заштрихована частина поверхні відповідає нестійким положенням рівноваги, інші – стійким. На практиці, якщо затримка зростає не дивлячись на

незмінне відношення сигнал/шум, система може потрапити в стан катастрофи. За рахунок зменшення ймовірності помилки та збільшення швидкості передачі інформації можливо компенсувати затримку управляючого сигналу.

Сепаратриса складається із точок, які характеризують функції з двічі виродженими критичними точками і трьох поверхонь, що описують функції з двічі виродженими критичними точками.

Отже, множина точок, в яких $F(x;a,b,c)$ має вироджені критичні точки, розділяє простір керуючих параметрів R_3 на три відкриті області. Будь-яка точка R_3 може бути апроксимована з наперед заданою точністю послідовністю точок, які повністю лежать в одній із цих областей. Даний метод дозволяє спрогнозувати границі для керуючих параметрів СУ необхідних для її стійкості. В областях стійкості можливе поєднання з такими методами прогнозування як статистичні, методи екстраполяції, експертні методи.

Недоліком теорії катастроф є те, що прогнозування поведінки системи з кількістю параметрів більше 5 не описано, тому прогнозування навіть простої системи - це складна задача.

При використанні будь-яких методів прогнозування виникають проблеми, пов'язані з оцінкою якості прогнозу. Ці проблеми вирішуються в процесі верифікації прогнозу - за сукупністю критеріїв, способів і процедур, що дозволяють на основі багатостороннього аналізу оцінити достовірність, точність та обґрунтованість прогнозу.

Література

1. Соколов Н.А. Задачи планирования сетей электросвязи/ Н. А. Соколов // Техника связи. – 2012. – 324 с. 2. Дуброва Т.А. Статистические методы прогнозирования/ А. Т. Дуброва // ЮНИТИДАНА – 2003 – с. 206. 3. Гилмор Р. Прикладная теория катастроф// Гилмор Р. — М.: Мир, 1984. — Т. 1. — 350 с. 4. Арнольд В.И. Теория катастроф// Арнольд В. И. —

Враховуючи безперервне зростання і ускладнення задач, які вирішуються автоматизованими СУ, збільшення продуктивності обчислювальних засобів і зростаючі вимоги до якості обслуговування будь-яка компанія зв'язку зацікавлена в прогнозуванні основних параметрів мережі. Але, через різну природу вимог до прогнозу послуг телекомунікаційних мереж, навіть кращі методи, розглянуті вище, не можуть повноцінно забезпечити надійне прогнозування для необхідних параметрів в галузі. Тому отримані результати вимагають своєчасного корегування. Незважаючи на велику кількість дискусій з приводу методів прогнозування в інфокомунікаційних мережах, досі мало уваги приділялося обчислювальним аспектам, що лежать в їх основі.

Висновки

Виходячи з викладеного для підвищення ефективності функціонування системи управління мережею необхідно вирішення задач прогностичного контролю. Запропоновано використання методів теорії катастроф для прогнозування поведінки СУ на всіх етапах її життєвого циклу, а саме в періоди стрибкоподібної зміни стану системи. Методи даної теорії дозволяють параметрам системи змінюватися лише у достатньо обмежених границях. І ці границі, у багатьох випадках, можливо визначити заздалегідь, тобто спрогнозувати. Для методів катастроф результатом прогнозу є значення, що дають можливість зорієнтуватись у параметрах надзвичайної ситуації.

Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит. – 1990– 128 с. 5. Лещенко О.О. До питання підвищення ефективності системи управління інфокомунікаційними мережами// Зв'язок. – 2011. - №2. -С. 51-53. 6. Лещенко О.О. Застосування теорії катастроф до аналізу поведінки систем управління телекомунікаційними мережами// Зв'язок. – 2011. - №3. -С. 39-42.

В работе предложено использование моделей теории катастроф для прогнозирования параметров системы управления на всех этапах жизненного цикла, которым характерны скачкообразные изменения состояния системы.

Ключевые слова: методы прогнозирования, система управления, теория катастроф, точка бифуркации.

In the article proposed using of catastrophe theory models to predict the parameters of the control system at all stages of the life cycle, which is characterized by abrupt changes in system status.

Key words: methods of forecasting, control system, catastrophe theory, bifurcation point.