УДК 004.032.26; 657.6

ПРОГНОЗУВАННЯ МОЖЛИВОСТІ НЕБАЖАНИХ ПОДІЙ НА ОСНОВІ ТЕОРІЇ КАТАСТРОФ

О. П. Ротштейн, Т. В. Нескородєва

Різнорідні поняття «надійність», «безпека» і «ризик» об'єднує наявність деяких небажаних подій, що ведуть до втрат: технічних, фінансових, військових тощо. Найбільший досвід прогнозування ймовірності небажаних подій (відмов системи) накопичений в теорії надійності. Тому метод дерева відмов (fault tree analysis – FTA), запропонований в 1962 р для аналізу надійності електронної техніки, використовується для кількісного аналізу безпеки і ризику не тільки в технічних, але і в інформаційних, соціально – економічних, політичних, військових та інших складних системах.

Ймовірнісні моделі FTA передбачають бінарну концепцію відмов системи та її елементів: 1 – немає відмови, 0 – є відмова. Тому подію «відмова» можна трактувати як біфуркацію, тобто перескок з одного стійкого стану (немає відмови) в інший стійкий стан (є відмова). Спеціальним математичним апаратом моделювання біфуркацій є теорія катастроф, яка є розвитком теорії нелінійних коливань. Незважаючи на широке поширення теорії катастроф у різних областях, роботи з її застосування в моделях надійності відсутні.

У цій роботі пропонується метод аналізу дерева катастроф (catastrophe tree analysis – CTA), який є аналог класичного методу FTA, що не потребує знання ймовірностей подій. Замість поняття «ймовірність відмови» використовується поняття «можливість біфуркації», яка оцінюється числом в інтервалі [0,1] за допомогою теорії катастроф і відповідає функції приналежності нечіткої множини. Розрахунок можливості біфуркації (або катастрофи) системи виконується за допомогою спеціально введених правил агрегації можливостей біфуркацій для різних логічних операцій дерева відмов.

Теорія катастроф – це математична дисципліна для моделювання нелінійних об’єктів «вхід-вихід», в яких незначні зміни входів (причин) призводять до великих змін виходів (наслідків). Ця теорія дозволяє безпосередньо вивчати переривчасту поведінку системи без знання її внутрішньої структури. Для цього використовується поняття потенційної функції, яка в механіці називається енергетичною функцією або функцією Ляпунова в теорії стійкості (другий метод Ляпунова).

У табл. 1 наведено потенційні функції, які використовуються при побудові дерева катастроф, що відповідає дереву відмов.

Таблиця 1

Можливості біфуркацій для різних потенційних функцій

Модель катастрофи	Потенційна функція	Кількість входів	Нормалізовані формули
C (Cusp)	$V(x) = x^4 + ax^2 + bx$	2	$x_a = \sqrt{a}, x_b = \sqrt[3]{b}$
S (Swallowtail)	$V(x) = x^5 + ax^3 + bx^2 + cx$	3	$x_a = \sqrt{a}, x_b = \sqrt[3]{b}, x_c = \sqrt[4]{c}$
B (Butterfly)	$V(x) = x^6 + ax^4 + bx^3 + cx^2 + dx$	4	$x_a = \sqrt{a}, x_b = \sqrt[3]{b}, x_c = \sqrt[4]{c}, x_d = \sqrt[5]{d}$

У кожній потенційній функції $V(x)$ є змінна стану системи (x) і керовані (вхідні) змінні (a, b, c, d), які змінюються в інтервалах їх допустимих значень. При прагненні потенційної функції до мінімуму можуть виникати біфуркації, множина яких визначається з системи рівнянь: $V'(x) = 0$, $V''(x) = 0$. Множини біфуркацій відповідають нормалізовані формули, що дозволяють обчислити рівні біфуркації (x_a,x_b,…,x_d) за вхідними змінними (a, b,..., d), де:

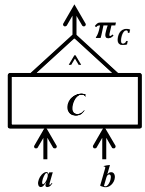
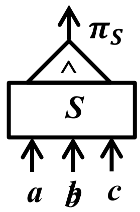
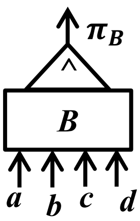
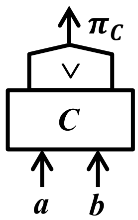
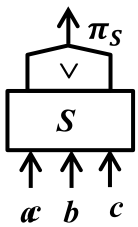
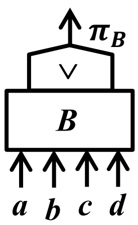
a, b,..., d – можливості подій, що відповідають вхідним змінним;

x_a,x_b,…,x_d – можливості біфуркацій за вхідними змінними.

При переході від дерева відмов до дерева катастроф будемо використовувати такі моделі, представлені в табл. 2:

Таблиця 2

Правила агрегації на дереві катастроф

Логічний вузол	**Катастрофа**	**Позначення на дереві катастроф**	**Формула агрегації**
AND (∧)	C		$\pi_C^\wedge = \begin{cases} \min(\sqrt{a}, \sqrt[3]{b}), \\ \sqrt{\sqrt{a} \cdot \sqrt[3]{b}} \end{cases}$
	S		$\pi_S^\wedge = \begin{cases} \min(\sqrt{a}, \sqrt[3]{b}, \sqrt[4]{c}), \\ \sqrt[3]{\sqrt{a} \cdot \sqrt[3]{b} \cdot \sqrt[4]{c}} \end{cases}$
	B		$\pi_B^\wedge = \begin{cases} \min(\sqrt{a}, \sqrt[3]{b}, \sqrt[4]{c}, \sqrt[5]{d}), \\ \sqrt[4]{\sqrt{a} \cdot \sqrt[3]{b} \cdot \sqrt[4]{c} \cdot \sqrt[5]{d}} \end{cases}$
OR (∨)	C		$\pi_C^\vee = \begin{cases} \max(\sqrt{a}, \sqrt[3]{b}), \\ \frac{1}{2}(\sqrt{a} + \sqrt[3]{b}) \end{cases}$
	S		$\pi_S^\vee = \begin{cases} \max(\sqrt{a}, \sqrt[3]{b}, \sqrt[4]{c}), \\ \frac{1}{3}(\sqrt{a} + \sqrt[3]{b} + \sqrt[4]{c}) \end{cases}$
	B		$\pi_B^\vee = \begin{cases} \max(\sqrt{a}, \sqrt[3]{b}, \sqrt[4]{c}, \sqrt[5]{d}), \\ \frac{1}{4}(\sqrt{a} + \sqrt[3]{b} + \sqrt[4]{c} + \sqrt[5]{d}) \end{cases}$

Збірка (C) – для логічних вузлів з двома вхідними стрілками;

Ластівчин хвіст (S) – для логічних вузлів з трьома вхідними стрілками;

Метелик (B) – для логічних вузлів з чотирма вхідними стрілками.

Кожен з вузлів дерева катастроф являє собою перетворювач «входи-вихід» за правилами агрегації «вектор-скаляр», які наведені в табл. 2, де поряд з традиційними для теорії нечітких множин операціями min і max використовуються середнє геометричне і середнє арифметичне.

Ілюстрація методу аналізу катастроф виконана на прикладі дерева відмов, що моделює дорожню аварію на Т-подібному перехресті. Переваги методу полягають у наступному:

1. Відсутня необхідність проведення трудомістких експериментів, пов'язаних з отриманням ймовірностей первинних подій, які впливають на ймовірність відмови системи (або іншої небажаної події). Замість ймовірностей використовуються можливості первинних подій, рівні яких оцінюються експертно або на основі вимірюваних параметрів і відповідних функцій належності.
2. Спостереження за динамікою зміни вхідних параметрів дозволяє переходити до on-line моніторингу рівня можливості відмови системи.
3. Застосування моделей теорії катастроф дозволяє спостерігати нелінійні ефекти, пов'язані з різким збільшенням можливості відмови при незначних змінах вхідних параметрів.

Література

1. Rotshtein A. Selection of Human Working Condition Based on Fuzzy Perfection, Journal of Computer and Systems Sciences International, 2018, 57(6):927–937.
2. Rotshtein A. Risk Analysis: Fuzzy Cognitive Map vs Fault Tree, Journal of Computer and Systems Sciences International, 2019, 2: 200–211.

УДК 004.4:004.7: 378

ОСОБЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ЕЛЕМЕНТІВ СИСТЕМНОГО ПРОГРАМУВАННЯ ПРИ РОБОТІ З IP-АДРЕСАМИ ТА МАСКАМИ ПІДМЕРЕЖІ

Ю. С. Антонов

Під час написання різноманітних програм, призначених для роботи у мережі [1-3], або спеціальних програм калькуляторів, призначених для інженерів комп'ютерних мереж [4], виникає необхідність використання IPv4 адреси та маски підмережі. Подібні програми визначають основні мережеві характеристики такі, як: адреса підмережі, адреси першого та останнього хоста, широкомовна адреса, кількість доступних адрес та хостів. Однак, під час написання таких програм, розробники або здобувачі вищої освіти можуть припускатися певних помилок, які можуть впливати на оптимальну роботу програми.

Мета цієї роботи узагальнити деякі практики та продемонструвати способи оптимального представлення IPv4 адрес та коректної роботи з ними.

У зрозумілому для людині форматі IPv4 адресу прийнято записувати як чотири десяткових цілих числа (від 0 до 255 включно), відокремлених одне від одного крапками, наприклад: *10.2.0.1*, *192.168.0.1* [2, 5]. Аналогічний вигляд має і маска підмережі [2, 5]. Для зберігання чисел у діапазоні від 0 до 255 цілком достатньо одного байту, а отже для зберігання IPv4 адреси повністю необхідно чотири байта (32 біта).