УДК 004.056 **Беркман Л.Н., Мельник Ю.В.**

МОДЕЛЬ НЕЧІТКОГО ПРОГНОЗУВАННЯ ПРО СТАН ПРИСТРОЮ МЕРЕЖІ НА ОСНОВІ НЕЧІТКОГО УЗАГАЛЬНЕНОГО ПАРАМЕТРУ

В статті розглянуто підхід до розпізнавання та прогнозування станів пристроїв мережі які є об'єктами керування. Дані пристрої досліджуються як дискретні кінцеві автомати. Враховуючи можливість знаходження вимірюваних параметрів в визначених межах запропоновано представляти і розглядати їх в нечітких формах. Ступінь працездатності пристрою мережі запропоновано оцінювати за допомогою нечіткого узагальненого параметру. На підставі нього запропонована модель нечіткого прогнозування стану пристрою мережі в контрольовані моменти часу.

Ключові слова: пристрій мережі, прогнозування стану, нечітке оцінювання, нечіткий узагальнений параметр.

Вступ

Математичний аналіз реального явища, процесу або системи починається з побудови відповідної математичної моделі. Все зростаюча складність сучасних об'єктів дослідження і їх унікальність призводить до порушення явного простеження причинно-наслідкових зв'язків в пізнавальному плані, що призводить дослідника до умов невизначеності при виборі або побудові математичної моделі через неповноту вихідних даних (знань) [1].

В сучасних телекомунікаційних мережах роль керуючої інформації значно зросла. В даний час можна стверджувати, що від якості керуючої інформації залежить функціонування цілих мережевих сегментів. Особливо важлива в цих умовах достовірна інформація про стан пристроїв мережі яких в сучасних, часто значно просторово розподілених мережах, може бути дуже багато.

Основна частина

Нехай відомий пристрій мережі (ПМ) який розглядається як об'єкт керування з відомою топологією. Цей ПМ розбивається умовно на N функціональних блоків з урахуванням необхідної глибини діагностики. У математичній формі ПМ представляється у вигляді дискретного кінцевого автомата [2-5], який описується п’ятіркою множин:

$$M_{\text{пм}} = < \Omega, X, Z, F_\omega, F_z > \tag{1}$$

де - Ω – кінцева множина станів автомату, $\Omega = \{\omega_i\},\ i = 1, \dots, 2^N$; ω_i – кінцева впорядкована підмножина, тобто кортеж довжиною N, $\omega_i = (e_1, e_2, \dots, e_N)$ $e_N \in \{0,1\}$, підмножина ω_i буде вважатись елементарним станом пристрою; X – кінцевий алфавіт впливів $X = \{x_i\}, i = 1, Q$; Z – кінцевий алфавіт реакцій $Z = \{z_i\}, i = 1, \dots, 2^{|U^*|}$; z_i – кінцева впорядкована множина, тобто кортеж $z_i = (e_1, e_2, \dots, e_u)$ $u \le N$; U^* – множина вибраних або таких що функціонують контрольних точок в ПМ з яких знімається інформація про стан блоків пристрою, $u \le U^*$ F_ω, F_z– множина функції переходів станів і реакцій виходів які описуються відповідно функціями

$$\left.\begin{aligned} \omega_{\nu+1} &= f(\omega_\nu, x_\nu) \\ z_\nu &= f(\omega_\nu, x_\nu) \end{aligned}\right\} \tag{2}$$

ν – шаг впливу на автомат.

Система рівнянь (2) зазвичай описується таблицею переходів автомата. У реальних умовах функціонування ПМ в початковій множині станів Ω через обмежений доступ до ПМ з'являються еквівалентні стани, тобто стани, які мають одні і ті ж реакції при різних впливах. В результаті мінімізації автомата по методу [3] він згортається в вироджений клас S_B, при цьому потужності множин $S_B \subset \Omega$, $M(S_B) < M(\Omega)$.

Необхідно відзначити, що потужність $M(S_B)$ залежить від потужності алфавітів $M(Z)$ і $M(X)$, тобто від кількості виходів, контрольних точок та входів об’єкту керування. Тоді вихідний автомат описується п'ятіркою $M_{ПМ} =< S_B, X, Z, F_\omega, F_z >$, а повна таблиця переходів системою

$$\left.\begin{array}{l}\omega_\nu = f(\omega_{B\nu}, x_\nu)\\ z_\nu = f(\omega_{B\nu}, x_\nu)\end{array}\right\}.$$

Несправний ПМ також представляється групою автоматів, кількість яких визначається кількістю передбачуваних несправностей.

При однократних несправностях, наприклад, типу «постійна 1» або «постійний 0» кількість несправностей дорівнюватиме $m = 2\cdot N$, де N - кількість блоків ПМ. При цьому будемо вважати, що введені несправності не збільшують числа станів Ω. Тоді ПМ як об'єкт управління описується системою автоматів:

$$\left.\begin{array}{l}M_{ПМ_0} =< A_0, X, Z, F\omega_0, Fz_0 >\\ M_{ПМ_1} =< A_1, X, Z, F\omega_1, Fz_1 >\\ M_{ПМ_2} =< A_2, X, Z, F\omega_2, Fz_2 >\\ \vdots\\ M_{ПМ_m} =< A_m, X, Z, F\omega_m, Fz_m >\end{array}\right\} \tag{3}$$

де A_0 - клас станів справного автомата; $A_1 ... A_m$ - класи станів відповідних пошкоджень (порушень в роботі), при цьому

$$A_0 \cap A_1 \cap A_2 \cap ... A_m \neq \varnothing, \quad A_m = \{\omega_{im}\}, \forall \omega_{im} \in \Omega.$$

На основі системи автоматів (2.3) будується матриця розподілу станів ω_i за класами станів A_m типу:

	A_0	A_1	A_2	$\dots$	A_m
ω_1	a_{11}	a_{12}	a_{13}	$\dots$	a_{1m}
ω_2	a_{21}	a_{22}	a_{23}	$\dots$	a_{2m}
$\dots$	$\dots$	$\dots$	$\dots$	$\dots$	$\vdots$
ω_i	a_{i1}	a_{i2}	a_{i3}	$\dots$	a_{im}

(4)

З цієї матриці визначається нечітка щільність розподілу станів ω_i в Ω із співвідношення

$$g(\omega_i) = \frac{\sum_{i=0}^{m} a_{im}}{m+1} \tag{5}$$

де a_{im} - приймає характеристичні значення 0 або 1 при невизначеності 1/2.

У загальному випадку $0 \le a_{im} \le 1$, що визначається конкретними умовами задачі о розв'язується. При цьому виконуються умови:

$$\left.\begin{array}{l}1)\ 0 \le g(\omega_i) \le 1\\ 2)\ \sum_i g(\omega_i) > 0\end{array}\right\} \tag{6}$$

Якщо $g(\omega_i) = 0$, то стан ω_i не належить жодному класу A, якщо $g(\omega_i) = 1/(m+1)$ - належить тільки одному класу станів і отже його відношення чітке, $g(\omega_i) = 1$ означає, що стан ω_i максимально невизначений, тобто ω_i належить всім класам одночасно.

Однак (5) характеризує конструктивну нечітку щільність ω_i, яка визначається з системи рівнянь (3). Для коригування (5) в залежності від поточних умов вводиться апріорна нечітка щільність класів станів $b(A_m)$, яка визначається експертними оцінками, в окремому випадку одним експертом (розробником системи управління ПМ, експлуатаційником). Тоді розглянута матриця має вигляд:

	A_0	A_1	A_2	A_3	…	A_m
ω_1	$a_{10}b(A_0)$	$a_{11}b(A_1)$	$a_{12}b(A_2)$	$a_{13}b(A_3)$	…	$a_{1m}b(A_m)$
ω_2	$a_{20}b(A_0)$	$a_{21}b(A_1)$	$a_{22}b(A_2)$	$a_{23}b(A_3)$	…	$a_{2m}b(A_m)$
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
ω_i	$a_{i0}b(A_0)$	$a_{i1}b(A_1)$	$a_{i2}b(A_2)$	$a_{i3}b(A_3)$	…	$a_{im}b(A_m)$

Числове значення даної щільності стану ω_i з урахуванням $b(A_m) \in [0,1]$ буде визначатися виразом:

$$g(\omega_i) = \frac{\sum_{j=0}^{m} a_{ij} \cdot b(A_j)}{m+1} \tag{7}$$

де - $b(A_m)$ задовольняє умові (6).

Далі визначається приналежність переходу станів в дискретному автоматі, приведеного до мінімальної формі [6], який як об'єкт управління або діагностики ПМ описується системою рівнянь (3). На основі даної системи будується узагальнена мінімальна таблиця переходів.

У реальних умовах експлуатації радіотехнічних систем граничні значення технічних параметрів, при досягненні яких об'єкт управління втрачає свою працездатність і оптимальні (або номінальні) значення перебувають у допустимих інтервалах (або допустимих межах значень). Поточні значення вимірюваних параметрів проходячи через ряд пристроїв перетворення і при випадкових впливах на них, можуть також знаходитися в допустимих межах. Особливо це відноситься до складних цифрових транспортних систем та цифрових систем комутації і розподілу інформації.

У зв'язку з цим пропонується розглянуті вище параметри представляти в нечітких формах [1, 7-11]. Для цього будемо використовувати представлення значень параметрів у вигляді нечітких чисел.

Використовуючи, нечіткі числа, будимо вважати, що $\widetilde{S_s}$ - нечітка множина значень нормованого параметру $s - \xi_s(t)$; $\tilde{B}_{s\,max}$ – нечітка множина граничного значення параметру $s - \xi_{s\,max}(\xi_{min})$; $\widetilde{v_s}$ – нечітка множина поточного значення параметру $s - \xi_s(t)$; $\tilde{A}_{HS}$ – нечітка множина номінального значення параметру $s - \xi_{HS}$. Далі необхідно визначити єдине значення нормованого (безрозмірного) параметру s яке знаходиться з виразу

$$\tilde{\xi}_s(t) = < \tilde{S}_s > \tag{8}$$

де <…> - оператор осреднення. множина $\widetilde{S_s}$ визначається на основі операцій нечіткого віднімання і ділення нечітких множин:

$$\tilde{S}_s = \frac{\tilde{V}_s - \tilde{B}_{s\max}}{\tilde{A}_{HS} - \tilde{B}_{s\max}} = \frac{\max\limits_{Z_1=x-y}\left[\mu_V(x)\wedge\mu_B(y)\right]}{\max\limits_{Z_2=x-y}\left[\mu_A(x)\wedge\mu_B(y)\right]} = \max_{Z_3=y_1+y_2}\left[\mu_{Z_1}(y_1)\wedge\mu_{Z_2}(y_2)\right]$$

Тоді

$$\tilde{\tilde{\xi}}_S(t) = <\tilde{S}_s> = \frac{\sum_i \mu_{Z_3}(y_i)\cdot y_i}{\sum_i \mu_{Z_3}(y_i)}$$

З урахуванням отриманих даних, ступінь працездатності об'єкту управління в аналізуємий момент часу T_i по множині контролюємих параметрів які нормовані за нечіткими правилами оцінюється за допомогою нечіткого узагальненого параметру за виразом [12]:

- лінійне середнє

$$\tilde{\tilde{Q}}_\Sigma(t) = \frac{\sum_{S=1}^{k} g(\nu_S)\cdot\tilde{\tilde{\xi}}_S(t)}{\sum_{S=1}^{k} g(\nu_S)} \qquad \tilde{\tilde{Q}}_\Sigma(t) \in [0,1] \tag{9}$$

де $g(\nu_S)$ – нечітка міра важливості параметру s в системі параметрів $S = \{s\}$ об'єкту управління.

Для побудови моделі нечіткого прогнозування **с**кладається таблиця з параметрами ПМ представленими у вигляді нечітких множин: апріорних і значень параметрів, знятих в моменти часу $t_0, t_1, \dots, t_n$.

Таблиця 1

t,ч	$\tilde{B}_{1max}\tilde{A}_{H1}$	$\tilde{B}_{2max}\tilde{A}_{H2}$	$\tilde{B}_{3max}\tilde{A}_{H3}$	$\tilde{B}_{imax}\tilde{A}_{Hi}$	...	$\tilde{B}_{Smax}\tilde{A}_{HS}$
t_0	$\tilde{V}_1$	$\tilde{V}_2$	$\tilde{V}_3$	$\tilde{V}_i$	...	$\tilde{V}_S$
t_1	$\tilde{V}_1$	$\tilde{V}_2$	$\tilde{V}_3$	$\tilde{V}_i$	...	$\tilde{V}_S$
t_2	$\tilde{V}_1$	$\tilde{V}_2$	$\tilde{V}_3$	$\tilde{V}_i$	...	$\tilde{V}_S$
t_3	$\tilde{V}_1$	$\tilde{V}_2$	$\tilde{V}_3$	$\tilde{V}_i$	...	$\tilde{V}_S$
≈	≈	≈	≈	≈	≈	≈
t_n	$\tilde{V}_1$	$\tilde{V}_2$	$\tilde{V}_3$	$\tilde{V}_i$	...	$\tilde{V}_S$

В результаті виконання операцій (8), (9) отримаємо наведені значення параметрів (табл.2), взятих з табл. 1.

Таблиця 2

t, ч	S_1	S_2	S_3	S_i	. . .	S_S
t_0	$\tilde{\tilde{\xi}}_1(t)$	$\tilde{\tilde{\xi}}_2(t)$	$\tilde{\tilde{\xi}}_3(t)$	$\tilde{\tilde{\xi}}_i(t)$	. . .	$\tilde{\tilde{\xi}}_S(t)$
t_1	$\tilde{\tilde{\xi}}_1(t)$	$\tilde{\tilde{\xi}}_2(t)$	$\tilde{\tilde{\xi}}_3(t)$	$\tilde{\tilde{\xi}}_i(t)$	. . .	$\tilde{\tilde{\xi}}_S(t)$
t_2	$\tilde{\tilde{\xi}}_1(t)$	$\tilde{\tilde{\xi}}_2(t)$	$\tilde{\tilde{\xi}}_3(t)$	$\tilde{\tilde{\xi}}_i(t)$	. . .	$\tilde{\tilde{\xi}}_S(t)$
≈	≈	≈	≈	≈	≈	≈
t_n	$\tilde{\tilde{\xi}}_1(t)$	$\tilde{\tilde{\xi}}_2(t)$	$\tilde{\tilde{\xi}}_3(t)$	$\tilde{\tilde{\xi}}_i(t)$	. . .	$\tilde{\tilde{\xi}}_S(t)$

Ступінь працездатності об'єкту по множині контрольованих параметрів оцінюється за допомогою узагальненого параметру.

Для обчислення ступеня працездатності даного ОУ використовуються відповідні матриці і вирази (8), (9). В результаті проведених обчислень отримаємо табл. 3 узагальнених параметрів.

Таблиця 3

t,ч	t_0	t_1	t_2	t_3	...	t_n
$\tilde{\tilde{Q}}_\Sigma(t)$	$\tilde{\tilde{Q}}_\Sigma(t_0)$	$\tilde{\tilde{Q}}_\Sigma(t_1)$	$\tilde{\tilde{Q}}_\Sigma(t_2)$	$\tilde{\tilde{Q}}_\Sigma(t_3)$	...	$\tilde{\tilde{Q}}_\Sigma(t_n)$

Для прогнозування стану ПМ скористаємося поліномом Ньютона у вигляді

$$F(t)=\tilde{\xi}_S(t_n)+\Delta^{(1)}_{n-1}\cdot m+\Delta^{(2)}_{n-2}\cdot\frac{1}{2}m(m-1)+\ldots+\Delta^{(k)}_{n-k}\cdot\frac{1}{k!}\prod_{k=1}^{\alpha}(m-1+k) \quad (10)$$

де m – число кроків прогнозування; α – кількість етапів контролю; k – порядок поліному; $s-\xi_S(t_n)\equiv\tilde{\tilde{Q}}_\Sigma(t_n)$; $\tilde{\xi}_S(t_n)\equiv\tilde{\tilde{Q}}_\Sigma(t_n)$; $\Delta^{(1)}_{n-1}=\tilde{\tilde{Q}}_\Sigma(t_n)-\tilde{\tilde{Q}}_\Sigma(t_{n-1})$; $\Delta^{(2)}_{n-2}=\Delta^{(1)}_{n-1}-\tilde{\tilde{Q}}_\Sigma(t_{n-2})$; $\Delta^{(k)}_{n-k}=\Delta^{(k-1)}_{n-k-1}-\tilde{\tilde{Q}}_\Sigma(t_{n-k})$.

В поліномі невідомим є число кроків прогнозування m. Необхідно скористатися способом зворотного прогнозування, тобто врахувати, що система буде непрацездатна через m кроків $\tilde{\tilde{Q}}^*{}_\Sigma(t_{n+m})=0$.

Тоді прогнозуюче рівняння на основі поліному Ньютона набуде вигляду:

$$0=\tilde{\xi}_S(t_n)+\Delta^{(1)}_{n-1}\cdot m+\Delta^{(2)}_{n-2}\cdot\frac{1}{2}m(m-1)+\ldots+\Delta^{(k)}_{n-k}\cdot\frac{1}{k!}\prod_{k=1}^{k}(m-1+k) \quad (11)$$

При прогнозуючому рівнянні $0=\tilde{\tilde{Q}}_\Sigma(t_n)+\Delta^{(1)}_{n-1}\cdot m$ кількість кроків прогнозування складе $m=\dfrac{\tilde{\tilde{Q}}_\Sigma(t_n)}{\Delta^{(1)}_{n-1}}$, а час прогнозу, тобто коли система можливо вийде з ладу $T=m\Delta t$, $\Delta t=t_j-t_i$, i, j - поточні індекси етапів контролю.

Висновок

В статті розроблено метод прогнозування стану об'єкту управління телекомунікаційної мережі, на основі поліному Ньютона, з використанням нечіткої інформації, що дозволяє оперативно оцінювати стан (порушення, пошкодження, дефект) об'єкту управління в майбутньому із залученням знань експертів.

Список використаної літератури

1. Аверкин, А.Н. Нечеткие множества в моделях управления искусственного интеллекта/ А.Н. Аверкин, И.З. Батыршин, А.Ф. Блишун, В.Б. Силов, В.Б. Тарасов; под ред. Д.А. Поспелова. – М.: Наука, 1986. – 312 с.

2. Богомолов, А.М. Эксперименты с автоматами/ А.М. Богомолов, А.С. Барашко, И.С. Грунский. – Киев: Наукова думка, 1973. – 144 с.

3. Гилл, А. Введение в теорию конечных автоматов/А. Гилл. – М.: Наука, 1966. – 272с.

4. Горяшко, А. П. Синтез диагностируемых схем вычислительных устройств/ А. П. Горяшко. – М.: Наука, 1987. – 288 с.

5. Кудрявцев, В.Б. Введение в теорию конечных автоматов/ В.Б. Кудрявцев, В.Б. Алешин, А.С. Подколзин.– М.: Наука, 1985.

6. Никольский, В.В. Электродинамика и распространение радиоволн/ В.В.Никольский, Т.И. Никольская. – М.: Наука, 1989.

7. Беллман, Р. Принятие решений в расплывчатых условиях/ Р. Беллман, Л. Заде. – В сб.: Вопросы анализа и процедуры принятия решений. – М: Мир, 1976. – С.172 – 215.

8. Заде, Л. А. Основы нового подхода к анализу сложных систем и процессов принятия решений/ Л. А.Заде. – В кн.: Математика сегодня. – М.: Знание, 1974 – С. 5 – 49.

9. Заде, Л.А. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений/ Л.А. Заде. – М: Мир, 1976. – 165с.

10. Заде, Л.А. Размытые множества и их применение в распознавании образов и кластер-анализе/ Л.А.Заде Л.А. – В сб.: Классификация и кластер. – М: Мир, 1980. – С.208 – 247.

11. Ajoy, K. Palit. Computational Intelligence in Time Series Forecasting: Theory and Engineering Applications/ Ajoy K. Palit, Dobrivoje Popovic. – London: Springer-Verlag London Limited, 2005. – 381 p.

12. Бычков Е.Д. Методика прогнозирования состояний элементов РЭС на основе нечеткой (fuzzy) информации // Вопросы радиоэлектроники.– Сер. ОТ.– 2010.– Вып. 3 – С. 125 – 135.

Надійшла: 22.04.2018 Рецензент: к.т.н. Курченко О.А.