Fiabilitatea echipamentului reţelelor de comunicaţii

Alexei Anatolie
Universitatea Tehnică a Moldovei
Chișinău, Republica Moldova
anatolie.alexei@srco.utm.md

In this piece of work is being analyzed the reliability of communications networks using the phase grouping method and the semi-Markov processes.

Termeni cheie – fiabilitate, procese Markov și semi-Markov, rețele de comunicații, metoda grupării de fază.

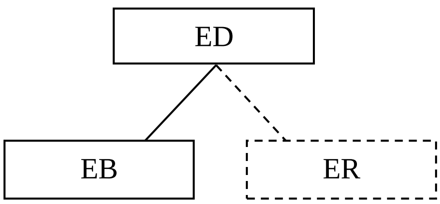
I. INTRODUCERE

Analizând reţelele de comunicaţii, urmează să menţionăm, că capacitatea de funcţionare a reţelelor este determinată de mulţimea stărilor ruterilor de intrare şi interconectare dintre ele [1]. Orice ruter al reţelei de comunicaţii poate să se afle într-un număr finit de diferite stări şi modificarea stării ruterului are loc prin salt peste intervale aleatoare de timp distribuite spontan. Pentru descrierea unei astfel de reţea de comunicaţii poate fi utilizat aparatul proceselor semi-Markov [3].

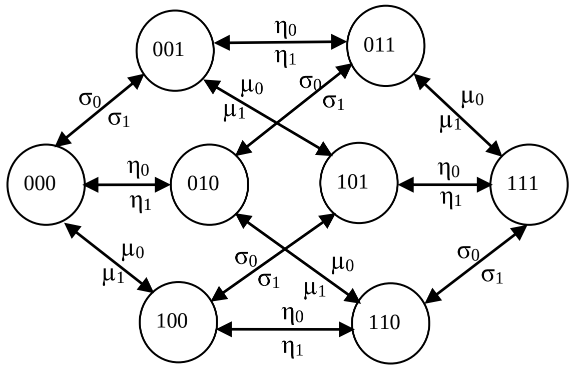
Luând în considerare, că ruterele reţelei de comunicaţii se referă la clasa de elemente cu fiabilitate sporită, în astfel de situaţie este posibilă utilizarea metodei grupării de fază [4,5] a sistemelor semi-Markov, care poate fi utilizată la diferite etape de evaluare a fiabilităţii. O proprietate importantă a metodei grupării de fază reprezintă acel fapt, că funcţionarea reţelei grupate se descrie de lanţul Markov în timp continuu şi timpul de aflare a elementelor (ruterilor) reţelei în stări separate sunt distribuite conform legii exponenţiale [6,7].

II. PARTEA DE BAZĂ

Pentru a simplifica analiza reţelei de comunicaţii de orice complexitate se poate de petrecut gruparea reţelei conform metodei descrise în [4,5] şi de reprezentat reţeaua grupată în două nivele (Figura 1).



a)



b)

Figura 1. Structura reţelei de comunicaţii în două nivele (a) şi graful ei de treceri (b) după îndeplinirea procedurii de grupare.

Astfel efectuarea grupării de fază pentru reţeaua de comunicaţii ne permite să substituim sistemul ce constă din K elemente de dirijare cu un singur element de dirijare ED şi timpul lui de funcţionare μ_0 posedă distribuire exponenţială cu parametrul fluxului deranjamentelor m_0, iar timpul de restabilire μ_1 - cu parametrul m_1. ED se caracterizează prin distribuirea timpului de funcţionare $M_0(x)=1-\exp(-m_0x)$ şi de restabilire $M_1(x)=1-\exp(-m_1x)$ şi îndeplineşte funcţiile de coordonator cu elementul de bază EB, care posedă corespunzător funcţiile de distribuire a timpului de funcţionare $N_0(x)=1-\exp(-n_0x)$ şi de restabilire $N_1(x)=1-\exp(-n_1x)$, unde timpul EB de funcţionare η_0 posedă distribuire exponenţială cu parametrul fluxului deranjamentelor n_0, iar timpul lui de restabilire η_1- cu parametrul de restabilire n_1.

În caz de necesitate se conectează elementul de rezervă ER, care se caracterizează de distribuirea timpului de funcţionare $D_0(x)=1-\exp(-d_0x)$ şi de restabilire $D_1(x)=1-\exp(-d_1x)$, unde timpul ER de funcţionare σ_0 posedă distribuire exponenţială cu parametrul fluxului deranjamentelor d_0, iar timpul lui de restabilire σ_1 –cu parametrul d_1. Dacă ER iese din funcţie, atunci iese din funcţie reţeaua în întregime. La ieşirea din funcţie a ED reţeaua continuă să funcţioneze în regim autonom, însă dacă în cazul dat iese din funcţiune EB, atunci ER nu se conectează şi reţeaua trece în stare de pană. În această situaţie nu se îndeplinesc funcţiile controlului diagnostic a EB şi ER şi ca urmare ele nu se restabilesc.

Deoarece toate mărimile aleatoare, care figurează la descrierea reţelei de comunicaţii, posedă distribuire exponenţială, vom utiliza modelele Markov pentru a calcula astfel de reţea. Stările reţelei se propune de a fi notate prin *i,j,k* (*i,j,k* sunt egale cu 0 şi 1) şi totodată *i,j,k* caracterizează corespunzător stările ED, EB şi ER. Numărul sumar al stării posibile a reţelei este egală cu opt. Din toată mulţimea stărilor reţelei analizată vom evidenţia submulţimea stărilor cu capacitate de funcţionare E_f={000,001,010,100,101} şi stărilor pană E_p={011,110,111}. Atunci timpul de aflare a elementelor reţelei în stările indicate se determină de relaţiile:

$$\begin{aligned}
&\theta_{000} = \mu_0 \wedge \eta_0 \wedge \sigma_0; \quad \theta_{101} = \mu_1 \wedge \eta_0 \wedge \sigma_1;\\
&\theta_{001} = \mu_0 \wedge \eta_0 \wedge \sigma_1; \quad \theta_{011} = \mu_0 \wedge \eta_1 \wedge \sigma_1;\\
&\theta_{010} = \mu_0 \wedge \eta_1 \wedge \sigma_0; \quad \theta_{110} = \mu_1 \wedge \eta_1 \wedge \sigma_0;\\
&\theta_{100} = \mu_1 \wedge \eta_0 \wedge \sigma_0; \quad \theta_{111} = \mu_1 \wedge \eta_1 \wedge \sigma_1;
\end{aligned} \tag{1}$$

Reprezentarea timpului de aflare a elementelor reţelei în orice stare pe deplin determină procesul Markov cu un număr finit de treceri. Graful trecerilor a astfel de reţea este reprezentat în figura 1,b. Informaţia obţinută ne permite să trecem la construirea matricei de realizare a procesului Markov:

$$\begin{array}{c}
\begin{array}{cccccccc} 000 & 001 & 010 & 011 & 100 & 101 & 110 & 111 \end{array}\\
\Lambda_0 = \left|\begin{array}{cccccccc}
0 & d_0 & n_0 & 0 & m_0 & 0 & 0 & 0\\
d_1 & 0 & 0 & n_0 & 0 & m_0 & 0 & 0\\
n_1 & 0 & 0 & d_0 & 0 & 0 & m_0 & 0\\
0 & n_1 & d_1 & 0 & 0 & 0 & 0 & m_0\\
m_1 & 0 & 0 & 0 & 0 & d_0 & n_0 & 0\\
0 & m_1 & 0 & 0 & d_1 & 0 & 0 & n_0\\
0 & 0 & m_1 & 0 & n_1 & 0 & 0 & d_0\\
0 & 0 & 0 & m_1 & 0 & n_1 & d_1 & 0
\end{array}\right| \begin{array}{c} 000\\ 001\\ 010\\ 011\\ 100\\ 101\\ 110\\ 111 \end{array}
\end{array} \tag{2}$$

şi corespunzător, determinării parametrilor timpului de aflare în stările:

$$\begin{aligned}
&\Lambda_{000} = m_0 + n_0 + d_0; \quad \Lambda_{100} = m_1 + n_0 + d_0;\\
&\Lambda_{001} = m_0 + n_0 + d_1; \quad \Lambda_{101} = m_1 + n_0 + d_1;\\
&\Lambda_{010} = m_0 + n_1 + d_0; \quad \Lambda_{110} = m_1 + n_1 + d_0;\\
&\Lambda_{011} = m_0 + n_1 + d_1; \quad \Lambda_{111} = m_1 + n_1 + d_1;
\end{aligned} \tag{3}$$

Astfel, matricea probabilităţilor tranzitorii a reţelei de comunicaţii ce se analizează se determină în modul următor:

$$\begin{array}{c}
\begin{array}{cccccccc} 000 & 001 & 010 & 011 & 100 & 101 & 110 & 111 \end{array}\\
P = \left|\begin{array}{cccccccc}
0 & \frac{d_0}{\Lambda_{000}} & \frac{n_0}{\Lambda_{000}} & 0 & \frac{m_0}{\Lambda_{000}} & 0 & 0 & 0\\
\frac{d_1}{\Lambda_{001}} & 0 & 0 & \frac{n_0}{\Lambda_{001}} & 0 & \frac{m_0}{\Lambda_{001}} & 0 & 0\\
\frac{n_1}{\Lambda_{010}} & 0 & 0 & \frac{d_0}{\Lambda_{010}} & 0 & 0 & \frac{m_0}{\Lambda_{010}} & 0\\
0 & \frac{n_1}{\Lambda_{011}} & \frac{d_1}{\Lambda_{011}} & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{m_0}{\Lambda_{011}}\\
\frac{m_1}{\Lambda_{100}} & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{d_0}{\Lambda_{100}} & \frac{n_0}{\Lambda_{100}} & 0\\
0 & \frac{m_1}{\Lambda_{101}} & 0 & 0 & \frac{d_1}{\Lambda_{101}} & 0 & 0 & \frac{n_0}{\Lambda_{101}}\\
0 & 0 & \frac{m_1}{\Lambda_{110}} & 0 & \frac{n_1}{\Lambda_{110}} & 0 & 0 & \frac{d_0}{\Lambda_{110}}\\
0 & 0 & 0 & \frac{m_1}{\Lambda_{111}} & 0 & \frac{n_1}{\Lambda_{111}} & \frac{d_1}{\Lambda_{111}} & 0
\end{array}\right| \begin{array}{c} 000\\ 001\\ 010\\ 011\\ 100\\ 101\\ 110\\ 111 \end{array}
\end{array} \tag{4}$$

Pentru determinarea distribuirii staţionare $\boldsymbol{\rho_{ijk}}$ a procesului Markov este necesar de a soluţiona sistemul de ecuaţii $\vec{\rho}(P-I)=0$ completând-o cu ecuaţia de normare. Cunoscând probabilităţile de aflare a elementelor reţelei în fiecare stare, determinăm prin intermediul metodei standarde, parametrii fluxului deranjamentelor $\mathbf{c_0}$ şi de restabilire $\mathbf{c_1}$ a elementelor reţelei investigate:

$$c_0 = \frac{\rho_{001}\frac{n_0}{\Lambda_{001}} + \rho_{010}\frac{d_0+m_0}{\Lambda_{010}} + \rho_{100}\frac{n_0}{\Lambda_{100}} + \rho_{101}\frac{n_0}{\Lambda_{101}}}{\rho_{000}\frac{1}{\Lambda_{000}} + \rho_{001}\frac{1}{\Lambda_{001}} + \rho_{010}\frac{1}{\Lambda_{010}} + \rho_{100}\frac{1}{\Lambda_{100}} + \rho_{101}\frac{1}{\Lambda_{101}}} \tag{5}$$

$$c_1 = \frac{\rho_{011}\frac{n_1+d_1}{\Lambda_{011}} + \rho_{110}\frac{m_1+n_1}{\Lambda_{110}} + \rho_{111}\frac{n_1}{\Lambda_{111}}}{\rho_{011}\frac{1}{\Lambda_{011}} + \rho_{110}\frac{1}{\Lambda_{110}} + \rho_{111}\frac{1}{\Lambda_{111}}} \tag{6}$$

Caracteristicile obţinute ne permit să trecem la determinarea indicilor de bază a fiabilităţii echipamentului reţelei de comunicaţii investigate în două nivele:

- parametrul fluxului deranjamentelor

$$\Lambda = c_0; \tag{7}$$

- probabilitatea funcţionării reţelei fără deranjamente în decursul timpului *t*.

$$P_{f.d.}(t) = \exp(-c_0 t); \tag{8}$$

- durata de funcţionare a reţelei fără deranjamente:

$$T_{d.f.d.} = 1/c_0; \qquad (9)$$

- coeficientul staţionar de disponibilitate:

$$K_{s.d.} = c_1/(c_0 + c_1); \qquad (10)$$

- coeficientul de disponibilitate operativă în decursul timpului t:

$$K_{d.o.} = \left[c_1/(c_0 + c_1)\right]\exp(-c_0 t); \qquad (11)$$

Totodată reieşind din teoria fiabilităţii reţelelor de comunicaţii [6], parametrul fluxului deranjamentelor Λ se determină conform formulei:

$$\Lambda = N/(KT_a), \qquad (12)$$

unde N este numărul deranjamentelor în reţeaua analizată în decursul intervalului de timp K;

T_a - numărul de ore în decursul unui an (T_a =8760 ore).

Timpul de restabilire t_r a comunicaţiilor reprezintă timpul mediu de staţionare a comunicaţiilor, exprimat în ore:

$$t_r = \left(\sum_{i=1}^{N} t_{ri}\right)/N, \qquad (13)$$

unde t_{ri} este timpul de restabilire a comunicaţiilor pentru deranjamentul i, ore.

Timpul mediu între deranjamente T_0 sau durata de funcţionare fără deranjamente se calculează conform formulei:

$$T_0 = (KT_a - t_r N)/N = (1 - \Lambda t_r)/\Lambda \qquad (14)$$

Coeficientul de disponibilitate C_d reprezintă probabilitatea ca reţeaua de comunicaţii într-un moment de timp ales arbitrar va fi în stare de funcţionare. C_d se determină ca raportul timpului de funcţionare fără deranjamente către timpul sumar de utilizare a reţelei, inclusiv timpul de restabilire t_r pentru una şi aceeaşi perioadă de exploatare:

$$C_d = T_0/(T_0 + t_r). \qquad (15)$$

Probabilitatea funcţionării fără deranjamente $P(t)$ reprezintă probabilitatea, că în decursul intervalului de timp t în reţeaua nu va apărea deranjament:

$$P(t) = \exp(-\Lambda t). \qquad (16)$$

Trebuie de menţionat, că în unele cazuri reţeaua se va utiliza mai eficient, iar în altele – mai puţin eficient. De aceea, pentru evaluarea probabilităţii, că în momentul necesar de timp, când beneficiarului îi va fi necesar să stabilească legătura reţeaua va fi în stare de funcţionare, se poate de introdus aşa numitul coeficient de disponibilitate operativă $C_{d.o.}$. Coeficient de disponibilitate operativă poate servi ca evaluarea cantitativă a valorii fiabilităţii H a reţelei :

$$H = C_{d.o.} = C_d P(t) = C_d \exp(-\Lambda t). \qquad (17)$$

III. Concluzie

Utilizând metoda grupării de fază a sistemelor semi-Markov şi determinând valorile probabilităţilor trecerilor între stările elementelor (marşrutizatoarelor) reţelei de comunicaţii şi la fel valorile medii a timpului de aflare a elementelor reţelei în fiecare stare, se poate de obţinut rezultate obiective şi autentice despre funcţionarea reţelei de comunicaţii reală de orice complexitate

IV. Bibliografie

[1] Shalimov, I.A., Seti i sistemy peredachi informaczii: telekomunikaczionnye seti. Moskva, Iurait, 2016.

[2] Berlin, A.N., Vysokoskorostnye seti svyazi. Moskva, INTUIT, 2016.

[3] Karoliuk, V.S., Turbin, A.F. Polumarkovskie proczessy i ih prilozheniya. Kiev, Naukova dumka, pag. 23…57, 1976.

[4] Karoliuk, V.S., Turbin, A.F. Fazovoe ukrupnenie slozhnyh sistem. Kiev, Vysshaya shkola, pag. 31…48 1978.

[5] Ţurcanu, D.N., O nadezhnosti prikladnogo urovnea s uchyotom vozmozhnosti rekonfiguraczii seti MPLS. Materialy 16-i Mezhdunarodnoj Krymskoj konferenczii „SVCh-tehnika i telekommunikaczionnye tehnologii. Sevastopol, Ucraina, pag. 285…287, 2006.

[6] Tihonov, V.I. Statisticheskaya radiotehnika. Moskva, Radio i svyaz', pag. 62…94 1982.

[7] Tihonov, V.I., Harisov, V.N Statisticheskij analiz i sintez radiotehnicheskih ustrojstv i sistem. Moskva, Radio i svyaz', pag. 124…172, 1991.

[8] Smal'ko, A.V. Czifrovye seti svyazi. Moskva, Eco-Trendz, pag. 61…69, 2001.