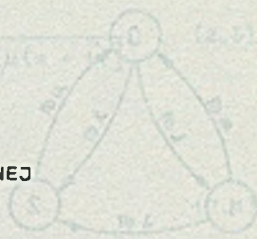


Józef GRZEGORCZYK

ANALIZA NIEZAWODNOŚCI SIECI KOMPUTEROWEJ
Z UWZGLĘDNIENIEM OBCIĄŻEŃ WĘZŁÓW PODSIECI KOMUNIKACYJNEJ

Streszczenie. Praca zawiera analizę niezawodności węzła komunikacyjnego z uwzględnieniem jego obciążenia, przez wprowadzenie do jego grafu stanów niezawodnościowych stanu zapełnienia bufora. Pozwoliło to na powiązanie niezawodności sieci z jej parametrami ruchowymi i instalacyjnymi. Zagadnienie to jest niezwykle istotne ze względu na to, że niezawodność jest podstawowym parametrem określającym jakość sieci komputerowej.

Uzyskane wyniki pokazują wpływ poszczególnych parametrów na niezawodność węzła i mogą być wykorzystane do projektowania sieci komputerowej o zadanych parametrach niezawodnościowych.

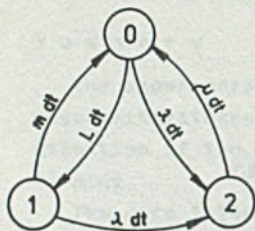
1. Wprowadzenie

Podstawowym zadaniem sieci komputerowej jest zapewnienie użytkownikowi szybkiego i niezawodnego dostępu do zasobów niezależnie od tego, w którym miejscu sieci są one zgromadzone. Niezawodność więc jest głównym parametrem określającym jakość danej sieci komputerowej.

Niezależnie od sposobu zdefiniowania miar niezawodności sieci komputerowej są one zawsze funkcjami parametrów niezawodnościowych komponentów sieci oraz uwzględniają topologię sieci. Dodatkowo przy zdefiniowaniu tzw. gotowości sieci (serviceability [2]) uwzględnia się również sposób rozmieszczenia zasobów i zadań w poszczególnych węzłach sieci. Wydaje się, że wymienione czynniki nie ujmują wszystkich parametrów, które wpływają na niezawodność sieci. Zauważyć bowiem warto, że określone sytuacje w węzłach i łączach, które są wynikiem aktualnej sytuacji ruchowej panującej w sieci, mogą być równoważne pod względem skutków uszkodzeniom odpowiednich komponentów sieci. Będą więc one również wpływać na gotowość całej sieci. Konieczna więc wydaje się uwzględnienie parametrów ruchowych przy obliczaniu niezawodności sieci.

Opracowanie niniejsze jest próbą uwzględnienia tych wpływów. Rozpatrywany będzie tutaj wpływ parametrów ruchowych w aspekcie zapełniania bufora na gotowość węzła sieci komputerowej. Na przykładzie pokazana będzie również zależność niezawodności sieci komputerowej od parametrów ruchowych.

2. Model węzła sieci komputerowej



Rys. 1. Graf stanów węzła sieci komputerowej

Dla uwzględnienia wpływu parametrów ruchowych na niezawodność węzła posłużymy się modelem Markowa. Model ten w postaci graficznej przedstawiony jest na rys. 1.

W modelu tym wyróżnić można trzy węzły grafu, które reprezentują następujące stany pracy węzła sieci komputerowej:

węzeł "0" - stan pełnej sprawności i gotowości,

węzeł "1" - stan zapełnienia bufora,

węzeł "2" - stan uszkodzenia.

Parametry λ i μ określają odpowiednio intensywność uszkodzeń i intensywność naprawy węzła. Zau-

ważyć warto, że są to parametry globalne ujmujące zarówno upadki hardware'u węzła, jak również niezawodność oprogramowania. Parametry L i m reprezentują odpowiednio intensywność występowania sytuacji zapełnienia bufora oraz intensywność jego "opróżniania". Podstawowa różnica między stanami "1" i "2" sprowadza się do tego, że w stanie "2" działanie węzła jest w ogóle niemożliwe lub może być błędne, natomiast w stanie "1" węzeł w dalszym ciągu działa poprawnie, lecz nie może on wykonywać swoich wszystkich funkcji, np. przyjmować kolejne bloki danych. Oczywiście węzeł znajdujący się w stanie "1" również może się uszkodzić, stąd przejście pomiędzy stanami "1" i "2". Naprawa natomiast sprowadza węzeł zawsze do stanu pełnej sprawności, ponieważ zwykle procedura restartu po upadku powoduje również wyzerowanie bufora.

Tak zdefiniowany model jest opisany za pomocą następującego układu równań różniczkowych:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{dP_0(t)}{dt} = -(\lambda + L)P_0(t) + mP_1(t) + \mu P_2(t) \\ \frac{dP_1(t)}{dt} = LP_0(t) - (\lambda + m)P_1(t) \\ \frac{dP_2(t)}{dt} = \lambda P_0(t) + \lambda P_1(t) - \mu P_2(t) \end{array} \right. \quad (2.1)$$

z warunkiem początkowym:

$$P_0(0) = 1 \quad P_1(0) = P_2(0) = 0 \quad (2.2)$$

Interesuje nas wyznaczenie postaci czasowej funkcji $P_0(t)$, czyli określenie prawdopodobieństwa poprawnej pracy węzła. Rozwiązując układ równań

2.1 metodą transformacji Laplace'a, znajdziemy operatorową postać poszukiwanego wyrażenia w postaci:

$$P_0(s) = \frac{s^2 + s(\lambda + \mu + m) + \mu(\lambda + m)}{s[s^2 + s(\mu + \lambda + \lambda^2 + L + m) + \lambda(\mu + m + L) + \mu(m + L)]} \quad (2.3)$$

Jeżeli wyrażenie 2.3 przedstawić w postaci:

$$P_0(s) = \frac{(s - s_1)(s - s_2)}{s(s - s_3)(s - s_4)}, \quad (2.4)$$

to na podstawie twierdzenia o residuach poszukiwany oryginał wyznaczyć można z zależności:

$$P_0(t) = \frac{s_1 s_2}{s_3 s_4} + \frac{(s_3 - s_1)(s_3 - s_2)}{s_3(s_3 - s_4)} e^{s_3 t} + \frac{(s_4 - s_1)(s_4 - s_2)}{s_4(s_4 - s_3)} e^{s_4 t} \quad (2.5)$$

Wartości pierwiastków s_1 i s_2 wynoszą:

$$s_1 = -\mu \quad (2.6)$$

$$s_2 = -(\lambda + m)$$

natomiast pierwiastki s_3 i s_4 są równe:

$$s_3 = a - b$$

$$s_4 = a + b$$

gdzie

$$a = -\frac{1}{2}(\mu + \lambda + \lambda^2 + L + m)$$

$$b = \frac{1}{2}\sqrt{(\mu + \lambda + \lambda^2 + L + m)^2 - 4\lambda(\mu + m + L) - 4\mu(m + L)} \quad (2.7)$$

gdy $F \geq 0$, gdzie

$$F = (\mu + \lambda + \lambda^2 + L + m)^2 - 4\lambda(\mu + m + L) - 4\mu(m + L)$$

W przypadku gdy $F < 0$, końcową postać poszukiwanego prawdopodobieństwa można uzyskać z następującego wyrażenia:

$$P_0(t) = C + 2e^{at}(A \cos b_1 t + B \sin b_1 t) \quad (2.8)$$

gdzie

$$C = \frac{s_1 s_2}{s^2 + b_1^2}$$

$$B = \frac{s(s - s_1)(s - s_2) - ab_1^2 + b_1^2(2s - s_1 - s_2)}{2b_1(s^2 + b_1^2)}$$

$$A = \frac{s(2s - s_1 - s_2) - (s - s_1)(s - s_2) + b_1^2}{2(s^2 + b_1^2)} \quad (2.9)$$

$$b_1 = \frac{1}{2} \sqrt{-F}$$

Uzyskane postacie wynikowe 2.5 lub 2.8 pozwalają znaleźć wartość poszukiwanego prawdopodobieństwa, gdy znane są wszystkie parametry modelu.

Dla przedstawionego modelu można również określić współczynnik gotowości zdefiniowany jako:

$$K_{\text{got}} = \lim_{t \rightarrow \infty} P_0(t) \quad (2.10)$$

Wartość tego współczynnika można uzyskać przez przekształcenie układu równań 2.1 do postaci:

$$-(\lambda + L)P_0 + \mu P_1 + \mu P_2 = 0$$

$$LP_0 - (\lambda + m)P_1 = 0 \quad (2.11)$$

$$\lambda P_0 + \lambda P_1 - \mu P_2 = 0$$

i dołączenie dodatkowego równania:

$$P_0 + P_1 + P_2 = 1 \quad (2.12)$$

Rozwiązując układ równań 2.11 i 2.12, otrzymujemy wartość poszukiwanego współczynnika gotowości:

$$K_{\text{got}} = P_0 = \frac{\mu}{\lambda + \mu} \cdot \frac{\lambda + m}{\lambda + m + L} \quad (2.13)$$

3. Parametry modelu

Jak już wspomniano poprzednio skorzystanie z wyników analizy pracy węzła wymaga znajomości wartości poszczególnych parametrów modelu. Wielkości tych parametrów powinny być uzyskane na podstawie badań statystycznych pracy węzła w istniejącej i działającej sieci komputerowej. Takie postawienie zagadnienia może być trudne na etapie projektowania sieci, gdyż nie dysponuje się wtedy odpowiednim materiałem statystycznym. Jak więc znaleźć parametry modelu.

Parametry niezawodnościowe można uzyskać na podstawie znanych metod analizy niezawodnościowej systemów bądź też są one wprost podane przez producentów odpowiednich komponentów sieci. Istnieje natomiast potrzeba określenia lub przynajmniej oszacowania wartości parametrów określających intensywność zapełniania i zwalniania bufora. Oszacowanie to będzie przeprowadzone drogą następującego rozumowania. Założmy, że węzeł znajduje się w stanie zapełnienia bufora. W stanie tym nie może on przyjmować nadchodzących ramek, a jedynie emitować je do węzłów sąsiednich. Stan zapełnienia bufora będzie występował do czasu, aż zostanie wysłana określona liczba ramek, po wysłaniu której system operacyjny węzła uzna, że bufor jest ponownie wolny i można rozpocząć przyjmowanie ramek z otoczenia. Jeżeli w stanie zapełnienia bufora ramki są wysyłano do węzłów sąsiednich, to intensywność opróżniania bufora można wyznaczyć z zależności:

$$\mu_{\max} = \frac{3600 f}{N(1 + t_0 f)} \quad (3.1)$$

gdzie:

- μ_{\max} - intensywność opróżniania bufora w sytuacji ciągłej transmisji ramek z bufora (w 1/h),
- f - szybkość transmisji (w b/s),
- l - średnia długość ramki (w bitach),
- N - liczba ramek, po wysłaniu której od zapełnienia bufora bufor uznajemy ponownie za wolny,
- t_0 - czas obsługi ramki w węźle - ujmując wszystkie czasy związane z analizą i przygotowaniem ramki do ponownego wysłania (w s).

Współczynnik 3600 w zależności 3.1 wynika z przeliczenia jednostek.

Takie szacunkowe wyznaczenie wartości intensywności zwalniania bufora jest związane z przyjęciem wielu uproszczeń. Tak np. przyjęto, że szybkość transmisji jest we wszystkich kierunkach jednakowa, wszystkim ramkom przyporządkowano pewną średnią długość, czy wreszcie przyjęto określoną wartość liczby N - podczas gdy proces uznawania bufora za wolny w rzeczywistości jest znacznie bardziej złożony i na ogół przebiega on w sposób dynamiczny. Wydaje się natomiast, że przyjęcie stałego czasu obsługi jest uzasadnione, gdyż jest to czas wykonania odpowiednich procedur systemu

operacyjnego węzła, a więc zależy on tylko od sposobu ich rozwiązania i od szybkości procesora węzła, a te elementy są dla poszczególnych węzłów sieci praktycznie stałe.

Przy przyjęciu podobnych założeń upraszczających można oszacować wartość intensywności zapełnienia bufora. Załóżmy mianowicie, że bufor zwolnił się i sytuacja ruchowa jest taka, że nadchodzą ramki ze wszystkich kierunków. Wtedy intensywność zapełnienia wyznaczmy z zależności:

$$L_{\max} = \frac{3600 \beta n f}{N I}, \quad (3.2)$$

gdzie:

n - ilość kierunków,

β - współczynnik wypełnienia zdefiniowany jako stosunek czasu trwania ramek do łącznego czasu trwania ramek i przerw pomiędzy nimi.

Pozostałe oznaczenia są identyczne jak poprzednio.

Zależności 3.1 i 3.2 mogą służyć do szacowania wartości parametrów L i m . Wartości tych parametrów, które można by uzyskać na podstawie danych statystycznych, mogą dość znacznie odbiegać od tych, która uzyska się z zależności 3.1 i 3.2. Stąd do obliczeń można by zastosować np. współczynnik korekcyjny i przyjąć:

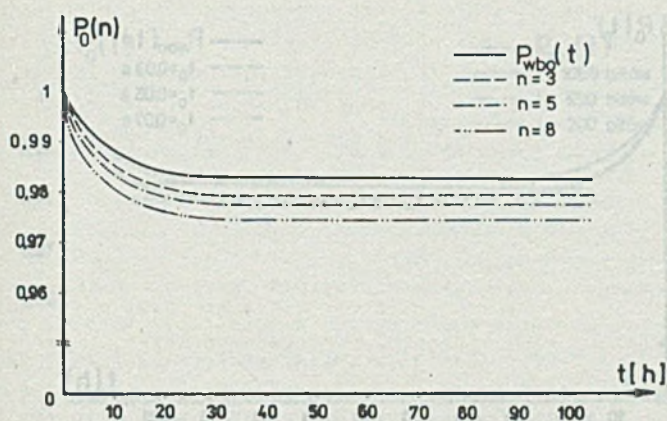
$$\begin{aligned} m &= \alpha m_{\max} \\ L &= \alpha L_{\max} \end{aligned} \quad (3.3)$$

gdzie $\alpha \in (0,1)$.

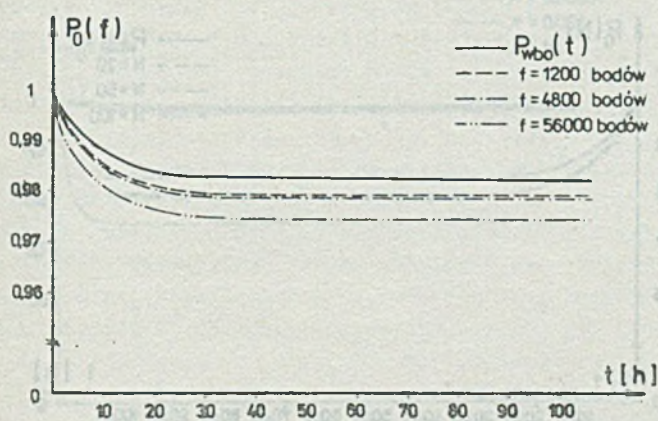
Wydaje się jednak, że istotną zaletą otrzymanych wyrażeń 3.1 i 3.2 jest to, że pokazują one wpływ parametrów podstawowych, takich jak: szybkość transmisji, liczba kierunków, czas obsługi ramki itp. na intensywność zapełnienia i zwalniania bufora i dzięki temu możliwe będzie określenie wpływu parametrów podstawowych na niezawodność węzła sieci komputerowej.

4. Wpływ parametrów sieci na niezawodność węzła

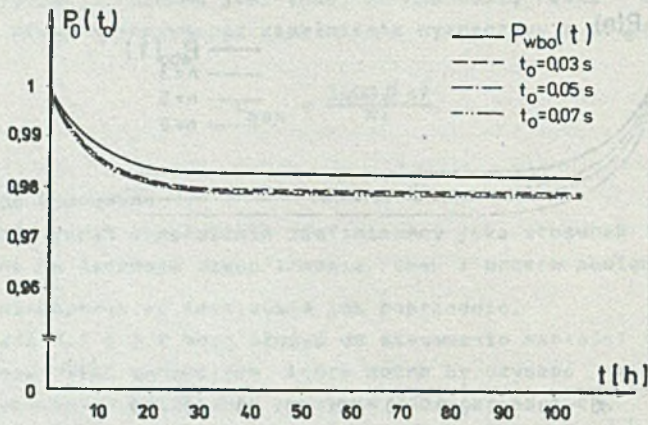
Przez podstawienie do zależności 2.5 lub 2.8 wyrażeń 3.1 i 3.2 lub ich postaci 3.3, uzyska się równania, które wiążą prawdopodobieństwo poprawnej pracy węzła z parametrami instalacyjnymi i ruchowymi sieci komputerowej. Posługiwanie się tymi zależnościami byłoby jednak kłopotliwe ze względu na stopień ich złożoności. Na rysunkach od 2 do 7 przedstawiono w sposób graficzny wpływ poszczególnych parametrów na niezawodność węzła.



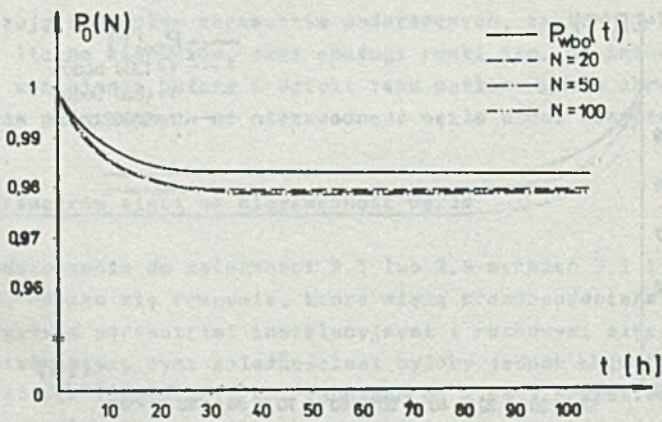
Rys. 2. Zależność prawdopodobieństwa poprawnej pracy węzła od ilości kierunków (n)



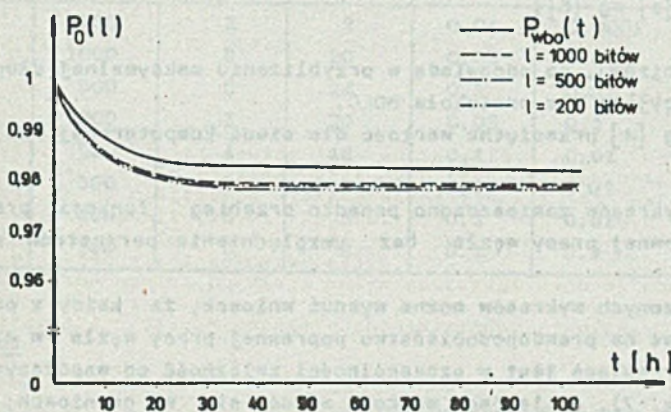
Rys. 3. Zależność prawdopodobieństwa poprawnej pracy węzła od szybkości transmisji (f)



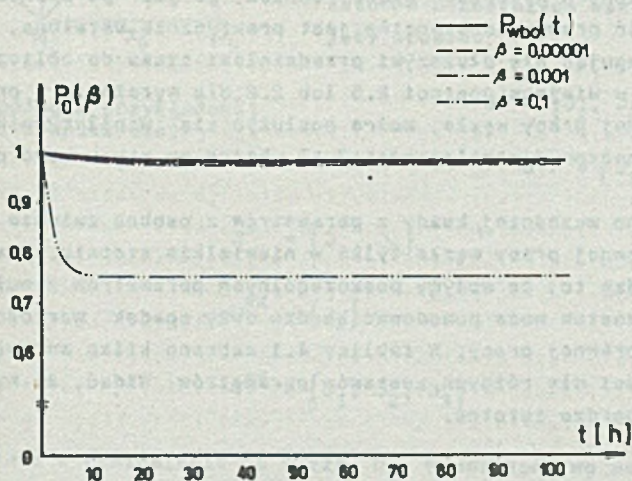
Rys. 4. Zależność prawdopodobieństwa poprawnej pracy węzła od czasu obsługi ranki (t_0)



Rys. 5. Zależność prawdopodobieństwa poprawnej pracy węzła od ilości ramek, po wysłaniu której bufor jest ponownie uznawany za wolny (N)



Rys. 6. Zależność prawdopodobieństwa poprawnej pracy węzła od średniej długości kolejki (l)



Rys. 7. Zależność prawdopodobieństwa poprawnej pracy węzła od współczynnika wypełnienia (β)

Przy sporządzaniu tych wykresów przyjęto następujące wartości parametrów (o ile dany parametr nie jest zmienny):

- a) $\lambda = 0,002$ [1/h]; $\mu = 0,11$ [1/h] wg [1] jako typowe wartości parametrów niezawodnościowych węzłów komunikacyjnych w sieci ARPA,
- b) $f = 1200$ [bodów],
- c) $n = 3$,
- d) $t_0 = 0,03$ [s] wg [6],
- e) $N = 20$,
- f) $l = 1000$ [bitów], co odpowiada w przybliżeniu maksymalnej długości ramki informacyjnej dla protokołu HDLC,
- g) $\beta = 0,001$ wg [4] przeciętna wartość dla sieci komputerowej na poziomie pakietów.

Na każdym z wykresów zamieszczono ponadto przebieg funkcji prawdopodobieństwa poprawnej pracy węzła bez uwzględnienia parametrów ruchowych ($P_{wbo}(t)$).

Z zamieszczonych wykresów można wysnuć wniosek, że każdy z parametrów z osobna wpływa na prawdopodobieństwo poprawnej pracy węzła w niewielkim stopniu. Interesująca jest w szczególności zależność od współczynnika wypełnienia (rys. 7). O ile jego wartość mieści się w granicach, które są podane jako typowe wartości średnie dla sieci komputerowej, wtedy jego wpływ jest niewielki. Jeżeli natomiast jego wartość zwiększy się poza ten przedział, co odpowiadałoby dużej intensywności ruchu pakietów w sieci, wtedy prawdopodobieństwo poprawnej pracy węzła gwałtownie maleje. Jest to oczywiste, gdyż w tym przypadku łatwo dochodzi do przeciążenia w poszczególnych węzłach.

Na przedstawionych wykresach widać również, że już po kilkudziesięciu godzinach wartość prawdopodobieństwa jest praktycznie ustalona, z czego wynika, że posługując się dłuższymi przedziałami czasu do obliczeń niezawodności sieci, w miejsce postaci 2.5 lub 2.8 dla wyrażenia prawdopodobieństwa poprawnej pracy węzła, można posłużyć się współczynnikiem gotowości węzła wyznaczonym z zależności 2.13, która ma stosunkowo prostą postać.

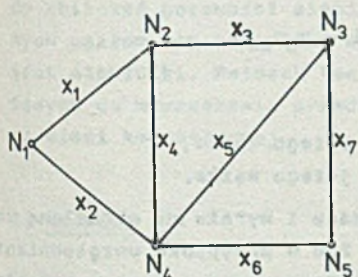
Jak wspomniano wcześniej, każdy z parametrów z osobna zmienia prawdopodobieństwo poprawnej pracy węzła tylko w niewielkim stopniu. Należy jednak mieć na uwadze to, że wpływy poszczególnych parametrów kumulują się i odpowiedni ich zestaw może powodować bardzo duży spadek wartości prawdopodobieństwa poprawnej pracy. W tabelicy 4.1 zebrano kilka wartości współczynnika gotowości dla różnych zestawów parametrów. Widać, że występujące tam różnice są bardzo istotne.

Tablica 4.1

Przykładowe wartości współczynnika gotowości węzła w funkcji parametrów instalacyjnych i ruchowych sieci komputerowej ($\lambda = 0.002$ [1/h], $\mu = 0.11$ [1/h])

f [b/s]	l [b]	n	N	t_0 [s]	β	K_{got}
200	1000	2	2	0.01	0.0001	0.982
4800	1000	8	20	0.03	0.001	0.973
2400	500	8	24	0.1	0.01	0.878
1200	1000	3	20	0.03	0.1	0.749
56000	500	4	12	0.1	0.01	0.66
56000	500	8	8	0.1	0.01	0.497
56000	100	5	5	0.1	0.01	0.255
56000	100	2	2	0.1	0.1	0.079

5. Przykład



Rys. 8. Topologia przykładowej sieci komputerowej

Dla pokazania wpływu parametrów ruchowych na niezawodność sieci posłużymy się następującym przykładem. Dana jest sieć, której struktura przedstawiona jest na rys. 8. Dla sieci tej zdefiniowany jest zbiór zadań zleczanych do sieci przez węzeł N_1 i zbiory zasobów pozostałych węzłów w następujący sposób:

$$J^1 = \{J_1, J_2, J_3\}$$

$$J^{*2} = \{J_1\}$$

$$J^{*3} = \{J_1, J_3\}$$

$$J^{*4} = \{J_2\}$$

$$J^{*5} = \{J_1, J_2, J_3\}$$

Gotowość sieci w odniesieniu do węzła N_1 wyznaczona wg metodyki podanej w [3] wynosi:

$$A_1 = x_2 x_5 + x_2 \bar{x}_5 x_6 + x_1 \bar{x}_2 x_3 x_4 + x_1 \bar{x}_2 x_3 \bar{x}_4 x_7 + x_1 \bar{x}_2 \bar{x}_3 x_4 x_5 + \\ + x_1 x_2 x_3 \bar{x}_5 \bar{x}_6 + x_1 \bar{x}_2 x_3 \bar{x}_4 x_5 \bar{x}_7 + x_1 \bar{x}_2 \bar{x}_3 x_4 \bar{x}_5 x_6$$

Uwzględniając prawdopodobieństwo poprawnej pracy łączy oraz węzłów w sposób podany w [2] wyrażenie na gotowość sieci można przedstawić w następujący sposób:

$$A_1 = P_2 P_{w1} P_5 P_{w4} + P_2 P_{w1} P_6 P_{w4} (1 - P_5 P_{w4}) + P_1 P_{w1} P_3 P_{w2} P_4 P_{w2} (1 - P_2 P_{w1}) + \\ + P_1 P_{w1} P_3 P_{w2} P_7 P_{w2} (1 - P_2 P_{w1}) (1 - P_4 P_{w2}) + \\ + P_1 P_{w1} P_4 P_{w2} P_5 P_{w4} (1 - P_2 P_{w1}) (1 - P_3 P_{w2}) + \\ + P_2 P_{w1} P_1 P_{w1} P_3 P_{w2} (1 - P_5 P_{w4}) (1 - P_6 P_{w4}) + \\ + P_1 P_{w1} P_3 P_{w2} P_5 P_{w3} (1 - P_2 P_{w1}) (1 - P_4 P_{w2}) (1 - P_7 P_{w3}) + \\ + P_1 P_{w1} P_4 P_{w2} P_6 P_{w4} (1 - P_2 P_{w1}) (1 - P_3 P_{w2}) (1 - P_5 P_{w4})$$

gdzie:

p_i - prawdopodobieństwo poprawnej pracy i -tego łącza,

p_{wj} - prawdopodobieństwo poprawnej pracy j -tego węzła.

Każde z wyrażeń p_i i p_{wj} jest funkcją czasu i wyraża się określoną zależnością (np. p_{wj} przez zależność 2.5 lub 2.8 w przypadku uwzględnienia parametrów ruchowych na niezawodność węzła). Operowanie pełnym wyrażeniem na gotowość sieci w postaci czasowej byłoby niezmiernie kłopotliwe, dlatego ograniczono się tylko do podania wartości gotowości w wybranych momentach czasu. Wartości gotowości sieci zebrano w tabelicy 5.1. Dla obliczeń przyjęto $\lambda = 0.002$ [1/h] i $\mu = 0.11$ [1/h]. Dla uproszczenia przyjęto również, że prawdopodobieństwa poprawnej pracy wszystkich łączy są identyczne i stałe i wynoszą 0.988 [5].

Wyniki zamieszczone w tej tabelicy wskazują na to, że wpływ parametrów ruchowych, w dość szerokim zakresie ich zmienności, na gotowość sieci jest stosunkowo nieduży i mniejszy niż to się miało dzieć w przypadku ich oddziaływania na prawdopodobieństwo poprawnej pracy pojedynczego węzła. Fakt ten znajduje proste uzasadnienie w tym, że sieć komputerowa ze swej natury jest systemem o dużej redundancji. Przy określaniu gotowości sieci redundancja ta wynika nie tylko z tego, że istnieje wiele alternatywnych dróg pomiędzy poszczególnymi węzłami, ale również z tego, że te same zosoby mogą być zgromadzone w wielu węzłach.

Tablica 5.1

Wybrana wartości gotowości przykładowej sieci komputerowej
w funkcji parametrów ruchowych i instalacyjnych
($p_1 = 0.988$)

f [b/s]	l [b]	N	t_0 [s]	β	$A_1(10)$	$A_1(100)$	$A_1(1000)$
200	1000	n	0.01	0.0001	0.9994	0.999	0.999
200	1000	3n	0.01	0.01	0.998	0.9974	0.9974
1200	1000	20	0.03	0.001	0.9993	0.9989	0.9989
2400	500	n	0.1	0.01	0.9969	0.9961	0.9961
56000	1000	n	0.01	0.001	0.9994	0.999	0.999
56000	500	3n	0.1	0.01	0.8962	0.8919	0.8919
56000	100	n	0.1	0.01	0.3629	0.3592	0.3585
Bez uwzględnienia parametrów ruchowych					0.9994	0.999	0.999

Tablica 5.1 wskazuje również na to, że błąd występujący przy przyjęciu do obliczeń gotowości sieci wartości współczynników gotowości poszczególnych węzłów (co odpowiada wartościom $A_1(1000)$) w całym przedziale czasu jest niewielki. Wniosek ten pozwala na znaczne uproszczenie wyrażeń służących do wyznaczenia prawdopodobieństwa poprawnej pracy węzła i gotowości sieci komputerowej.

6. Wnioski

Przedstawione rozważenie wykazały, że parametry ruchowe i instalacyjne sieci komputerowej wpływają na jej gotowość. Wyniki zamieszczone w pracy wskazują na możliwość uproszczenia wyrażeń wiążących miary niezawodności sieci komputerowej z jej parametrami instalacyjnymi i ruchowymi, przez stosowanie ustalonych wartości prawdopodobieństw poprawnej pracy węzłów.

Uwiarygodnienie przedstawionych rozważań wymagałoby wyznaczenia współczynnika α w równaniach 3.3, co pozwoliłoby określić jak dalece przedstawione przybliżone zależności odpowiadają rzeczywistym parametrom sieci komputerowej. Wymagałoby to eksperymentów na działającej sieci komputerowej w celu zebrania odpowiedniego materiału statystycznego.

Wykazany wpływ parametrów ruchowych i instalacyjnych na gotowość sieci, w powiązaniu z problemem doboru topologii i rozmieszczenia zasobów, może być wykorzystany do projektowania niezawodnej sieci komputerowej. Problem ten jest przedmiotem dalszych prac autora.

LITERATURA

- [1] Beaudry M.D.: Performance-Related Reliability Measures for Computing Systems - IEEE Transactions on Computers, Vol. C-27, No 6, 1978.
- [2] Budka M., Buczkowska T.: On the Reliability of Computer Networks - Aloha System Technical Report, 1981.
- [3] Grzegorzczak J.: Zmniejszenie złożoności obliczeniowej miar niezawodności sieci komputerowej - V International Conference on Fault-Tolerant Systems and Diagnostics - FTSD 82, Katowice 1982.
- [4] Seidler J.: Analiza i synteza sieci łączności dla systemów teleinformatycznych. PWN, Warszawa 1979.
- [5] Spragins J.: Dependent Failures in Data Communication Systems - IEEE Transactions on Communications, Vol. COM-25, No 12, 1977.
- [6] Węzeł komunikacyjny sieci komputerowej na bazie systemu MERA-60. Sprawozdanie z pnb, Instytut Informatyki Czasu Rzeczywistego, Gliwice 1981.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Andrzej Grzywak

Wpłynęło do Redakcji 27.11.1982 r.

АНАЛИЗ НАДЕЖНОСТИ СЕТИ ЭВМ С УЧЕТОМ НАГРУЗКИ УЗЛОВ ПОДСЕТИ
КОММУТАЦИИ ПАКЕТОВ

Р е з ю м е

В статье проведено анализ надежности узла коммутации пакетов с учетом его нагрузки. Анализ выполнен методом дополнения графа состояний надежности состоянием заполнения буфера. Этот метод дает возможность связать надежность сети ЭВМ с её эксплуатационными параметрами. Эта проблема чрезвычайно существенная потому, что надежность, это основной параметр определяющий качество сети ЭВМ. Полученные результаты указывают влияние отдельных параметров на надежность узла и могут быть использованные в проектировании сети ЭВМ с требуемыми параметрами надежности.

COMPUTER NETWORK RELIABILITY ANALYSIS TAKING INTO
ACCOUNT THE CONGESTION OF SWITCHING NODES

Summary

The paper contains the analysis of S/F node reliability taking into account congestion problem, introducing a state of buffer crush into a reliability state graph of considered node. It enables to connect a reliability of computer network with both exploitation and installation parameters of the network. The above problem is very important because the reliability is one of the basic parameters of computer network quality.

The results of the analysis neglect the effect of several traffic and reliability parameters on the S/F node reliability and may be applied in high-reliable computer networks design.