

Wykorzystanie wskaźników jakości do badań symulacyjnych systemu opartego na magistrali miejscowej **

W artykule została przeprowadzona analiza dotrzymania warunków RT systemu opartego na magistrali miejscowej, w oparciu o algorytm przedstawiony w [2] oraz twierdzenia dotyczące metody GRMS. Dla określenia jakości przykładowego systemu wyznaczone zostały wskaźniki jakości: względna rezerwa czasowa pojedynczego zadania, rezerwa czasowa grupy zadań zaproponowane w [3,4,5]. Uzyskane wyniki analityczne zostały wykorzystane podczas symulacji w programie COMNET III.

The quality coefficients applied in the simulation research of fieldbus based system

In this paper the TR analysis in real time system based on fieldbus have been undertaken. The RT analysis was based on the algorithm described in [2] and the theorem GRMS method. The quality of the system is described by a quality coefficients. As a quality coefficients for design of distributed systems a spare capacity functions for a single task and spare capacity for multitask can be used. The quality coefficients was described in [3,4,5]. The analytical results was tested in the simulation program COMNET III.

1. ANALIZA SYSTEMU MAGISTRALOWEGO PRACUJĄCEGO W SYSTEMIE TOKEN PASSING.

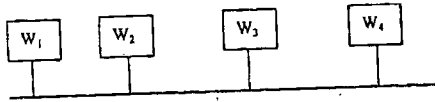
Przyjęty został system złożony z czterech węzłów (rys. 1), których zapotrzebowania informacyjne reprezentują tablice zapotrzebowań Z^k poszczególnych węzłów:

$$Z^4 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad Z^3 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad Z^2 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad Z^1 = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

Na podstawie tablic ograniczeń czasowych D (nie przedstawionych tutaj) w poszczególnych węzłach wyznaczona została tablica ograniczeń czasowych G zgodnie z definicją w [2]. Przyjęto, że tablica T okresów wysyłania wiadomości równa jest G . Traktując przesyłane wiadomości jako zadania, należy określić czas trwania poszczególnych zadań. W tym celu zdefiniowana została tablica C czasów trwania zadań (przesłań wiadomości).

* Instytut Elektrotechniki i Elektroniki Przemysłowej, Politechnika Krakowska, adrwal@usk.pk.edu.pl

** Praca została wykonana w ramach grantu KBN Nr 8T11A01316: *Projektowanie struktur magistral miejscowych dla rozproszonych systemów sterowania*



Rys. 1. Struktura przykładowego systemu

$$G = \begin{bmatrix} 100 & 100 & 100 & 250 \\ 100 & 0 & 200 & 350 \\ 100 & 200 & 300 & 200 \\ 700 & 500 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

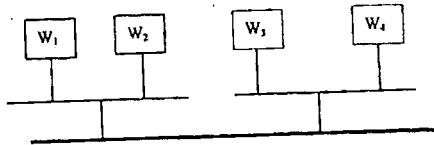
$$C = \begin{bmatrix} 10 & 10 & 10 & 10 \\ 10 & 0 & 10 & 10 \\ 5 & 10 & 5 & 15 \\ 5 & 15 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

Po wprowadzeniu elementów modelu opisanych w [2,6,7] oraz przeprowadzeniu analizy dotrzymania warunków RT zgodnie z algorytmem opisanym w [2] okazało się, że w węzłach czwartym (zadania w tym węźle obrazuje tabela 1) oraz drugim nie zostaną spełnione ograniczenia czasowe.

Tabela 1. Zbiór zadań w węźle 4

Zadania	Okres t_i [ms]	Długość c_i [ms]	Ogr. Czas. d_i [ms]	Czas blokowania T_b [ms]	$\sum_{i=1}^n \frac{c_i}{t_i}$	$i * \left[\frac{1}{2^i} - 1 \right]$
τ_1	90	74	90		0.82	1
τ_2	200	10	200	15	0.87	0.828
τ_3	250	10	250	15	0.91	0.779
τ_4	350	15	350		0.95	0.757

Należy dokonać zmiany struktury systemu aby doprowadzić do dotrzymania warunków RT. Proponowany jest następujący podział na dwie podsieci. Do podsieci pierwszej będą należały węzły 1 i 2, a do drugiej węzły 3 i 4 (rys. 2).



Rys.2. Przykład struktury systemu po modyfikacji

Dokonując sprawdzenia dotrzymania warunków RT przy użyciu twierdzenia *completion time test* okazało się, że warunki RT zostaną dotrzymane we wszystkich węzłach w nowej strukturze systemu.

2. OKREŚLENIE WSKAŹNIKÓW JAKOŚCI DLA BĄDANEGO SYSTEMU

Dla uzyskania pełniejszego obrazu systemu wyznaczone zostaną wskaźniki jakości w sposób opisany w [3,4,5]. W odniesieniu do sytuacji gdy w systemie nie są dotrzymane warunki RT wyznaczony zostanie *wskaźnik skrócenia czasu wykonania zadania*. Wskaźnik ten określany jest dla zadania dla którego nie są dotrzymane warunki RT. Określa on do jakiej wartości należy skrócić czas wykonania zadania o wyższym priorytecie aby mogły być spełnione wymagania RT. Wskaźnik ten został określony w oparciu o odpowiedni algorytm. Poniższe tabele przedstawiają wartości tego wskaźnika dla węzłów 2 i 4 (dla których warunki RT nie były spełnione). W węźle drugim wskaźnik został określony dla zadania τ_4 .

Tabela 2. Zbiór zadań w węźle 2

Zadania	Okres t_i [ms]	Długość c_i [ms]	Ogr. Czas. d_i [ms]	Czas blokowania T_b [ms]	Wskaźnik skrócenia czasu wykonania zadania [ms]
τ_1	90	67	90		65
τ_2	100	10	100	15	
τ_3	100	10	100	15	
τ_4	500	15	500		

W węźle czwartym wskaźnik został określony dla zadania τ_4 .

Tabela 3. Zbiór zadań w węźle 4

Zadania	Okres t_i [ms]	Długość c_i [ms]	Ogr. Czas. d_i [ms]	Czas blokowania T_b [ms]	Wskaźnik skrócenia czasu wykonania zadania [ms]
τ_1	90	74	90		72.5
τ_2	200	10	200	15	7
τ_3	250	10	250	15	7
τ_4	350	15	350		

Po dokonaniu podziału na podsieci dla wszystkich zadań w systemie warunki RT są dotrzymane. Można więc określić wskaźniki: *względnej rezerwy czasowej zadania* oraz *rezerwy czasowej grupy zadań*. Wskaźnik *względnej rezerwy czasowej zadania* określa ilość względnej rezerwy czasowej, o jaką może być zwiększony czas wykonania jednego zadania, przy zachowaniu ograniczenia czasowego innego, wybranego zadania. Wskaźnik *rezerwy czasowej grupy zadań* określa maksymalną wartość liczbową przez którą może zostać wymnożony czas wykonania i blokowania wszystkich zadań, tak aby ograniczenia czasowe wszystkich zadań były nadal dotrzymane. Wartości tychże wskaźników przedstawiają poniższe tabele.

Tabela 4. Zbiór zadań w węźle 1 w podsieci pierwszej

Zadania	Okres t_i [ms]	Długość c_i [ms]	Ogr. Czas. d_i [ms]	Czas blokowania T_b [ms]	Względna rezerwa czasowa zadania τ_i względem zadania τ_i [ms]	Rezerwa czasowa grupy zadań
τ_1	90	43	90			1.168
τ_2	100	10	100	10	23	
τ_3	100	10	100	5	18	
τ_4	100	5	100	5	13	
τ_5	700	5	700		18	

Tabela 5. Zbiór zadań w węźle 2 w podsieci pierwszej

Zadania	Okres t_i [ms]	Długość c_i [ms]	Ogr. Czas. D_i [ms]	Czas blokowania T_b [ms]	Względna rezerwa czasowa zadania τ_i względem zadania τ_i [ms]	Rezerwa czasowa grupy zadań
τ_1	90	63	90			1.02
τ_2	100	10	100	15	8	
τ_3	100	10	100	15	4	
τ_4	500	15	500		2	

Tabela 6. Zbiór zadań w węźle 3 w podsięci drugiej

Zadania	Okres t_i [ms]	Długość c_i [ms]	Ogr. Czas. d_i [ms]	Czas blokowania T_b [ms]	Względna rezerwa czasowa zadania względem zadania [ms]	rezerwa zadania τ_i	Rezerwa czasowa grupy zadań
τ_1	90	53	90				1.23
τ_2	100	10	100	10	17		
τ_3	200	10	200	5	19		
τ_4	300	5	300		19		

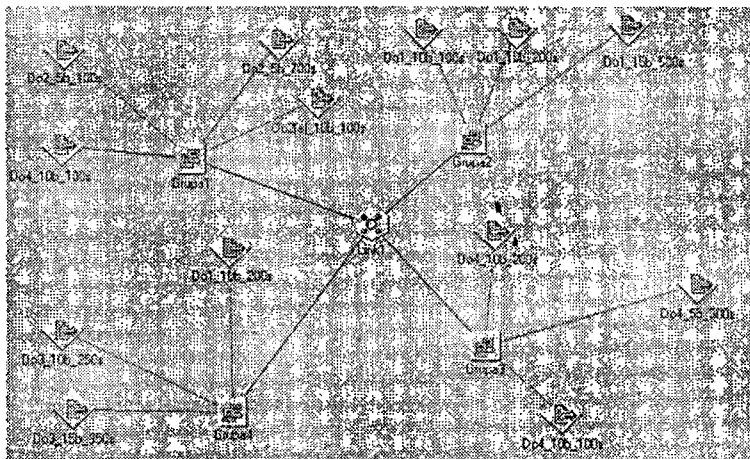
Tabela 7. Zbiór zadań w węźle 4 w podsięci drugiej

Zadania	Okres t_i [ms]	Długość c_i [ms]	Ogr. Czas. d_i [ms]	Czas blokowania T_b [ms]	Względna rezerwa czasowa zadania względem zadania [ms]	rezerwa zadania τ_i	Rezerwa czasowa grupy zadań
τ_1	90	60	90				1.2
τ_2	200	10	200	15	17		
τ_3	250	10	250	15	12		
τ_4	350	15	350		13		

Uzyskane wartości wskaźników zostały wykorzystane podczas symulacji działania sieci programem COMNET [1]. Odpowiednie skrócenie długości wiadomości przyniosło spodziewany rezultat tzn. dotrzymanie warunków RT w systemie. Również w przypadku podziału na podsięci po wydłużeniu czasów przesłania wiadomości o wartości wynikające z obliczonych wskaźników, nie spowodowało naruszenia ograniczeń czasowych w systemie.

3. PROGRAMOWA SYMULACJA DZIAŁANIA SIECI.

W programie COMNET zostało zasymulowane działanie sieci o strukturze i parametrach takich jak w przedstawionym przykładzie. Symulacja miała na celu potwierdzić poprawność przeprowadzonych rozważań. W programie została utworzona sieć pracująca w systemie token passing, złożona z czterech węzłów, z których każdy mógł wysyłać wiadomości o parametrach takich jak przyjęto w przykładzie.

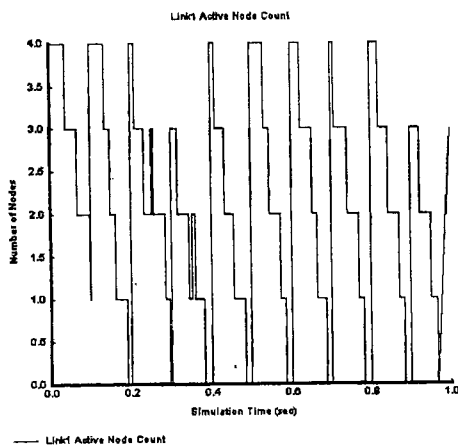


Rys. 3. Struktura systemu przedstawiona w programie COMNET

Dla zebrania odpowiedniej ilości danych koniecznych do obróbki statystycznej analiza programowa trwała przez czas 10 [s]. W wyniku działania programu powstał raport. Oto fragment raportu przedstawiający zestawienie liczby odebranych wiadomości:

RECEIVER	COUNT	MESSAGE NAME
Grupa2	100	Do2_5b_100s
Grupa2	100	Do2(a)_10b_100s
Grupa2	15	Do2_5b_700s
Grupa3	40	Do3_10b_250s
Grupa3	29	Do3_15b_350s
Grupa1	100	Do1_10b_100s
Grupa1	100	Do1_10b_200s
Grupa1	20	Do1_15b_500s
Grupa4	200	Do4_10b_100s
Grupa4	50	Do4_10b_200s
Grupa4	34	Do4_5b_300s

Przy użyciu programu COMNET uzyskano wyniki liczbowe oraz charakterystyki obrazujące w sposób statystyczny oraz uśredniony zachowanie się systemu. W oparciu o uzyskane charakterystyki można określić liczbę aktywnych węzłów (rys. 4) w poszczególnych chwilach czasowych. Jak widać często zachodzą sytuacje gdy w każdym z czterech węzłów pojawiają się wiadomości do wysłania.



Rys. 4. Ilość aktywnych węzłów

Stosunkowo wysoki jest stopień wykorzystania sieci (utilization) (na poziomie 73%) co znajduje odzwierciedlenie w raporcie:

LINK	MAXIMUM UTIL
Link1	73.80

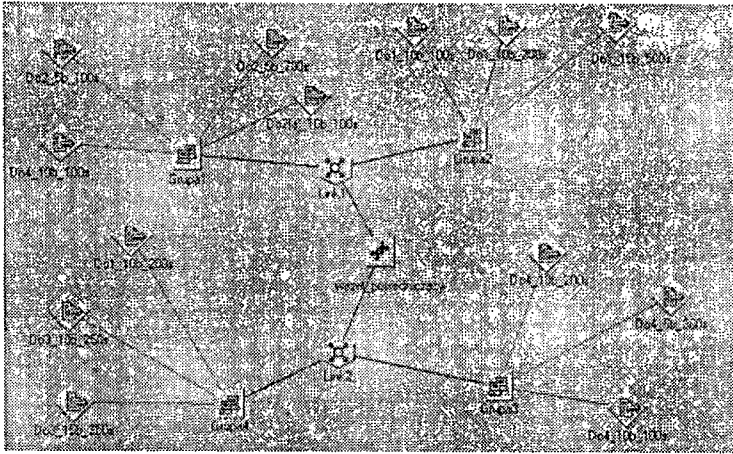
Jedną z kolejnych części przedstawia opóźnienie wiadomości. Jak widać z poniższego fragmentu raportu średnie opóźnienia wiadomości są mniejsze niż odpowiadające im ograniczenia czasowe. Jednak zdarzają się przypadki, kiedy opóźnienie może być większe od ograniczenia czasowego. Widać taką sytuację w kolumnie dotyczącej maksymalnego

opóźnienia wiadomości.

DESTINATION LIST	ASSEMBLED	AVERAGE	STD DEV	MAXIMUM
Grupa2 / src Do1_10b_200s:				
Grupa1	50	51.000	30.451	137.500
Grupa2 / src Do1_10b_100s:				
Grupa1	100	38.050	26.570	117.500

Tak więc mogą wystąpić takie sytuacje, że przekroczone zostaną ograniczenia czasowe wiadomości.

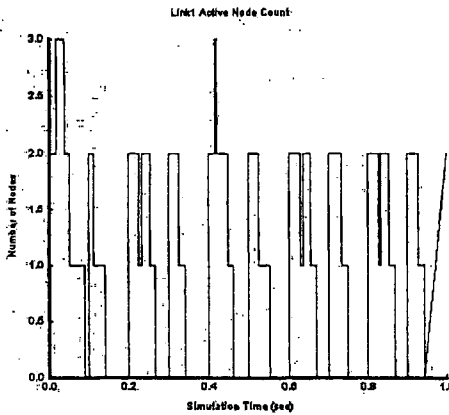
Po dokonaniu podziału na dwie podsieci powstała sieć o strukturze przedstawionej na rys. 5.



Rys. 5. Struktura sieci po podziale.

Analizując system przy zastosowaniu twierdzeń dotyczących metody GRMS okazało się, że w węzle drugim u czwartym mogą nie zostać dotrzymane warunki RT. Fakt ten stał się podstawą do podziału na podsieci. W raporcie powstałym po analizie systemu podzielonego na podsieci widać wyraźne zmniejszenie obciążenia kanału transmisyjnego w poszczególnych podsięciach:

LINK	DELIVERED	RST/ERR	AVERAGE	STD DEV	MAXIMUM	UTIL
Link1	54	0	9.074	2.372	15.000	49.00
Link2	41	0	9.878	2.062	15.000	40.50



Rys. 6. Ilość aktywnych węzłów podsieci pierwszej

Określony został również procentowy udział poszczególnych wiadomości w całkowitym obciążeniu kanału. Największe obciążenie wprowadzają wiadomości o okresie uaktualniania wynoszącym 100ms i czasie trwania 10 bajtów. Jest to oczywiście wynik najczęstszego pojawiania się tychże wiadomości. Jednak maksymalne opóźnienie wiadomości nie przekracza wartości dopuszczalnej (wynikającej z ograniczenia czasowego):

DESTINATION LIST	ASSEMBLED	AVERAGE	STD DEV	MAXIMUM
Grupa2 / src Do1_10b_200s:				
Grupa1	50	45.500	19.900	72.500
Grupa2 / src Do1_10b_100s:				
Grupa1	100	33.500	18.547	62.500

Wyraźnemu zmniejszeniu uległa liczba aktywnych węzłów w poszczególnych podsięciach. Przykładowo w podsięci pierwszej sporadycznie pojawiają się sytuacje gdy w trzech węzłach na raz pojawiają się wiadomości do wysłania (rys. 6).

4. WNIOSKI

Uzyskane wyniki symulacyjne potwierdzają celowość dokonania podziału na podsięci w przypadku niedotrzymania warunków RT. Po przeprowadzeniu podziału na dwie podsięci w przykładowym systemie złożonym z czterech węzłów wykorzystanie kanału w każdej z podsięci znacznie zmalało (do poziomu 49% i 40%). Zmniejszyły się również opóźnienia wiadomości i ograniczenia RT zostały dotrzymane.

Rozpatrywany był system złożony z czterech węzłów pracujący w znacznie uproszczonej sytuacji. W rozważaniach analitycznych nie uwzględniano takich zjawisk jak: możliwość powstania błędów transmisji a co za tym idzie konieczność kontroli takiej sytuacji poprzez przesyłanie odpowiednich bitów kontrolnych, konieczność retransmisji uszkodzonych wiadomości itp. W symulacji programowej również zostały ograniczone do minimum wymienione zagadnienia. Przyjęta została również odpowiednia szerokość pasma transmisji aby symulowana sieć miała charakter jak najbardziej zbliżony do rozważanej analitycznie. Innym istotnym „ograniczeniem” programu był sposób przydziału czasu dostępu do medium dla poszczególnych węzłów. Rozważone zostały dwa podejścia: po pierwsze węzeł ma możliwość transmisji dopóki posiada wiadomości do wysłania, po drugie dla poszczególnych węzłów zostały przydzielone jednakowe odcinki czasów dostępu do medium. Obydwa podejścia dały zbliżone wyniki ponieważ czasy transmitowanych wiadomości były stosunkowo krótkie w porównaniu z czasem obiegu tokena.

Program pozwolił na uzyskanie uśrednionych wyników opisujących sytuacje zachodzące w sieci. Wyniki te w pełni potwierdzają obliczenia dokonane w oparciu o twierdzenia GRMS. Również wyznaczone wskaźniki jakości (rezerwa czasowa zadań, skrócenie czasu wykonania zadania dla dotrzymania warunków RT) po przeniesieniu na platformę programu COMNET potwierdziły spodziewane zachowanie w systemie. W przypadku wyznaczonej rezerwy czasowej zadań dla poszczególnych węzłów w podsięciach, zwiększenie długości wiadomości nie powodowało przekroczenia dopuszczalnych opóźnień wiadomości. Natomiast w przypadku gdy w systemie nie były spełnione warunki RT redukcja długości wiadomości przyniosła pożądany efekt – spełnienie warunków RT.

LITERATURA

- [1] A quick look at COMNET III. Network Capacity and performance prediction. CACI Products Company, 1995
- [2] Drwal A., Werewka J.: Projektowanie struktur sieci magistral miejscowych dla rozproszonych systemów sterowania. Kwartalnik Elektroniki i Telekomunikacji, Wydawnictwo Naukowe PWN, Tom 45, Zeszyt 1, Warszawa 1999, str. 51-72
- [3] Drwal A.: Zagadnienie określania wskaźników jakości dla systemów magistralowych czasu rzeczywistego. Telekomunikacja cyfrowa, Wydawnictwo AGH, Kraków 1999 (przyjęty do druku)
- [4] Drwal A.: Analiza rezerwy czasowej pojedynczego zadania dla sieci przemysłowej o ostrych ograniczeniach czasowych. VI Konferencja Systemy Czasu Rzeczywistego, 27-30 wrzesień, Zakopane 1999
- [5] Drwal A., Jakubas W.: Analiza wpływu zmian parametrów zadania na wartości wskaźników jakości w sieciach przemysłowych. II Krajowa Konferencja 'Metody i

systemy komputerowe w badaniach naukowych i projektowaniu inżynierskim', 25-27 październik, Kraków 1999

- [6] Drwal A., The problem of designing distributed control systems based on fieldbuses, A Fifth International Symposium on Methods and Models in Automation and Robotics, 25 - 29 August, 1998, Vol. II, str: 561-564, 1998
- [7] Drwal A., Zagadnienie podziału na podsieci w systemach rozproszonych czasu rzeczywistego, V Konferencja Systemy Czasu Rzeczywistego, Szklarska Poręba 14 - 17 wrzesień 1998, str: 17-28., 1998