

WYZNACZANIE DOPUSZCZALNYCH STRUKTUR MAGISTRAL MIEJSCOWYCH W OPARCIU O PRZYJĘTE WSKAŹNIKI JAKOŚCI

Podczas projektowania rozproszonych systemów sterowania czasu rzeczywistego opartych na magistralach miejscowych należy sprawdzić dotrzymanie warunków czasu rzeczywistego RT. Zwykle podstawowym celem podczas projektowania systemu magistralowego jest zaspokojenie wymogu komunikacyjnego. Pojawia się więc problem wyboru takiej struktury systemu, która spełnia powyższe wymagania a równocześnie jest strukturą optymalną ze względu na przyjęte wskaźniki jakości. W artykule przedstawiono możliwe struktury systemu dla wybranego wskaźnika jakości. Dla określenia jakości przykładowego systemu może zostać użyty wskaźnik względnej rezerwy czasowej pojedynczego zadania.

A POSSIBLE STRUCTURE OF FIELDBUS SYSTEM ESTIMATION BASED ON CHOSEN QUALITY COEFFICIENTS

Real time conditions should be check during planing of distributed real time control systems based on fieldbuses. Usually basic aim during designing of fieldbus system is to fulfil of communication requirement. So the problem of choose an optimal system structure appears. This optimal structure choice should based on quality coefficients. In this article possible system structures for the chosen quality coefficients are presented. As a quality coefficient for design of distributed systems a spare capacity functions for a single task can be used.

1. WSTĘP

W komputerowych systemach sterowania występuje trend do rozproszenia sprzętu i oprogramowania tych systemów. Rozproszenie procesu obliczeniowego dokonywane jest w celu spełnienia warunków czasu rzeczywistego, lub uzyskania bardziej przejrzystej struktury oprogramowania. Systemy rozproszone czasu rzeczywistego obejmują również niski poziom w hierarchii systemu sterowania, jak poziom urządzeń z czujnikami i zadajnikami włącznie. Oznacza to, że nawet na takim poziomie urządzenia są wyposażone w pewną moc obliczeniową pozwalającą na rozwiązanie zadań lokalnie. Magistrale miejscowe (ang. fieldbus) należy umieścić w obszarze sieci lokalnych. Odgrywają one dominującą rolę w sterowaniu produkcją, procesami itp. Magistrale miejscowe tym różnią się od zwykłych sieci komputerowych, że spełniają szereg warunków systemów czasu rzeczywistego. Jednym z tych warunków jest deterministyczny czas odpowiedzi. Właściwe zaprojektowanie systemu rozproszonego opartego na magistralach miejscowych wymaga przeprowadzenia dokładnej analizy wymagań stawianych przez system oraz, możliwości ich spełnienia (opartej na znajomości parametrów magistral).

Dla systemów czasu rzeczywistego zostało rozwiniętych wiele metod dających przynajmniej po części odpowiedź na pytania dotyczące spełnienia ograniczeń czasowych [4]. Najbardziej popularną metodą statycznego szeregowania jest metoda GRMS (ang. Generalised Rate Monotonic Scheduling), a najbardziej popularną metodą szeregowania dynamicznego jest metoda EDF (ang. Earliest Deadline First). W metodzie GRMS priorytety do zadań są przypisane według zasady: im krótszy okres występowania zadania tym wyższy priorytet. Metoda EDF polega na dynamicznym przydzielaniu priorytetu. Im zadanie jest bliżej swojego ograniczenia czasowego tym większy uzyskuje priorytet.

2. SYSTEM SCENTRALIZOWANY A SYSTEM ROZPROSZONY

Istniejące metody szeregowania odnoszą się do systemów scentralizowanych czyli opartych na jednym procesorze. Metody te można adoptować do środowiska rozproszonego. Podobieństwa pomiędzy systemem rozproszonym a systemem scentralizowanym, które umożliwiają wykorzystanie przedstawionych metod w odniesieniu do systemów rozproszonych przedstawia tab. 1.

Tab. 1. Podobieństwa pomiędzy systemem rozproszonym i scentralizowanym

System rozproszony	System scentralizowany
Zasób – medium transmisyjne	Zasób – procesor
Wiadomość (przesłanie wiadomości)	Zadanie (wykonanie zadania)
Czas przesłania wiadomości	Czas wykonania zadania
Okres występowania wiadomości	Okres występowania zadania
Ograniczenie czasowe na zakończenie przesłania wiadomości	Ograniczenie czasowe na zakończenie wykonania zadania
Możliwość przesyłania w wybranej chwili czasowej tylko jednej wiadomości	Możliwość wykonywania w wybranej chwili czasowej tylko jednego zadania
Możliwość przypisania priorytetu do wiadomości	Możliwość przypisania priorytetu do zadania
Możliwość planowania kolejności przesyłania wiadomości (szeregowanie)	Możliwość planowania kolejności wykonywania zadania (szeregowanie)
Korzystanie z zasobów	Korzystanie z zasobów

W systemach rozproszonych, do których należą również systemy oparte na magistralach miejscowych zachodzi przesyłanie wiadomości pomiędzy węzłami. Przesyłanie wiadomości może zostać potraktowane jak wykonywanie zadania. Aby możliwe było zastosowanie metod szeregowania opracowanych dla systemów rozproszonych w systemach magistralowych należy uwzględnić fakt, że wiadomości z wyższym priorytetem nie mogą wyłączać zasobów.

Przy wyborze struktury systemu magistralowego należy brać pod uwagę szereg dopuszczalnych rozwiązań spełniających narzucone ograniczenia i wymagania. Wymagania te mogą zostać przedstawione w postaci wskaźników jakości takich jak [6]:

- dochowania warunków RT,
- kosztu niespełnienia warunków RT,
- przepustowości systemu informacyjnego,
- względnej rezerwy czasowej wybranego zadania (określający możliwość dodatkowego obciążenia systemu poprzez zwiększenia czasu wykonania pojedynczego zadania),
- rezerwy czasowej dla grupy zadań (określające możliwość dodatkowego obciążenia systemu poprzez zwiększenia czasu wykonania grupy zadań),
- stopnia niespełnienia ograniczeń RT (w przypadku gdy ograniczenia RT nie są dotrzymane).

Użycie wymienionych wskaźników umożliwi dobór właściwej struktury rozproszonego systemu sterowania. Końcowa postać struktury sieci oraz struktury przesyłanych wiadomości powinna być wynikiem optymalizacji wymienionych wskaźników.

Aby uzyskać szerszy obraz zachowania się magistral w systemach sterowania celowe jest przeprowadzenie badań symulacyjnych. Przeprowadzone zostały badania symulacyjne dotyczące wyznaczenia zbioru dopuszczalnych rozwiązań w systemie magistralowym w oparciu o wskaźnik względnej rezerwy czasowej wybranego zadania. Analizie podlegały różne rozwiązania struktur systemu wynikające z różnych sposobów grupowania danych w wiadomości grupowe.

3. WSKAŹNIK JAKOŚCI WZGLĘDNEJ REZERWY CZASOWEJ WYBRANEGO ZADANIA

Do oceny jakości systemu może posłużyć wskaźnik określający wielkość względnej rezerwy czasowej, o jaką może być zwiększony czas wykonania jednego zadania, przy zachowaniu ograniczenia czasowego innego, wybranego zadania.

W celu określenia wielkości rezerwy czasowej (ang. spare capacity) która może być dodana do czasu wykonania zadania należy rozpatrzyć zbiór zadań $\mathcal{T} = \{\tau_1, \dots, \tau_x, \dots, \tau_n\}$ pojawiających się okresowo. Przyjmuje się, że zadania posiadają priorytety określone okresem występowania: im krótszy okres występowania zadania tym większy priorytet. Wskaźnik jakości systemu J_s będzie się opierał na określeniu maksymalnego przedziału czasu wykonywania, jaki może zostać dodany do czasu wykonania zadania τ_x , tak aby zostały dotrzymane ograniczenia czasowe dla zadania τ_i o niższym priorytecie. Dla określenia wskaźnika względnej rezerwy czasowej dla zadania τ_x , należy wyznaczyć tę wartość w odniesieniu do wszystkich zadań τ_i o niższym priorytecie, a następnie wybrać spośród nich wartość najmniejszą. W ogólnym przypadku, podczas wyznaczania wskaźnika względnej rezerwy czasowej przyjmuje się, że zadania mogą być wyłączone. W analizie systemu magistralowego należy uwzględnić czas blokowania TB, gdyż zadania o niższym priorytecie nie mogą być wyłączone przez zadania o wyższym priorytecie. Czas blokowania wiadomości należy przyjąć jako równy najdłuższemu czasowi trwania transmisji wiadomości o niższym priorytecie. Ponieważ jednak w systemach stosujących magistrale miejscowe czasy przesyłania wiadomości są małe w stosunku do ograniczeń czasowych wiadomości, można w określonych przypadkach stosować algorytmy z wyłączeniem.

Wskaźnikiem jakości będzie funkcja określona jako:

$$J_s = \left\{ \max S_x : RTC(c_1, c_2, \dots, c_i + S_x, \dots, c_x) = 1 \right\}; \quad x \leq n \quad (1)$$

przy czym:

RTC – funkcja określająca czy warunki RT są spełnione

$$RTC = \begin{cases} 1 - \text{gdy warunki RT są spełnione,} \\ 0 - \text{gdy warunki RT nie są spełnione.} \end{cases}$$

S_x – względna rezerwa czasowa dla zadania τ_x .

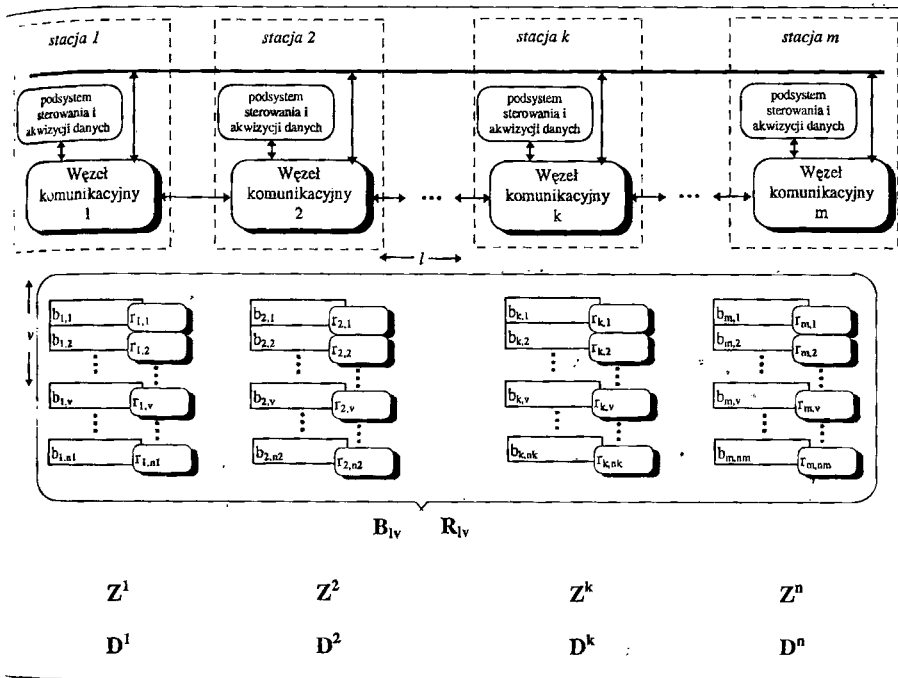
Wyznaczenie wskaźnika J_s nie jest możliwe na podstawie prostego wzoru analitycznego. W [1] został podany algorytm wyznaczania wartości wskaźnika względnej rezerwy czasowej opracowany na podstawie [5].

4. MODEL SYSTEMU CZASU RZECZYWISTEGO BAZUJĄCEGO NA MAGISTRALACH MIEJSCOWYCH

Do badań symulacyjnych przyjęto model systemu sterowania, w którym występuje $NK = \{1..m\}$ stacji. Każda ze stacji składa się z podsystemu sterowania oraz węzła komunikacyjnego, do którego przychodzą wiadomości z innych stacji oraz z którego wysyłane są wiadomości do innych stacji (rys. 1). Oznaczmy przez \mathbf{B} tablicę długości zapisu danych w systemie wyrażoną w bajtach. Każda ze stacji $l \in NK$ może posiadać maksymalnie n_l wartości różnych typów danych generowanych na tej stacji wykorzystywanych przez inne podsystemy. Element b_{lv} tablicy \mathbf{B} będzie oznaczał długość danej v tworzonej na stacji l . Oznaczmy przez \mathbf{R} tablicę długości przedziałów czasowych w milisekundach, która podaje co jaki czas uaktualniane są dane na stacjach. Element r_{lv} podaje w milisekundach co jaki odstęp czasu uaktualniane są dane v na stacji l . Czas uaktualniania danych może zależeć między innymi od szybkości przetworników pobierających dane oraz od oprogramowania wykonywanego na stacji. Podsystem sterowania i akwizycji danych generuje dane wykorzystywane lokalnie na stacji lub przeznaczone do wykorzystania przez inne stacje. Generacja danych polega na odczycie danych z czujników wchodzących w skład podsystemu lub wytworzeniu danych w wyniku obliczeń opartych o bieżący stan systemu. Stacja może być uważana za stację nadawczą, gdy dane z tej stacji są przekazywane do innych stacji systemu [2,3]. Każda z wymienionych stacji może być również traktowana jako stacja odbiorcza, przyjmująca dane z innych stacji, gdyż wyznaczenie sterowania na stacji wymaga znajomości wartości danych z innych podsystemów. Oznaczmy przez \mathbf{Z}^k tablicę binarną dla stacji odbiorczej k , która określa zapotrzebowanie na wartości z innych stacji odbiorczych. Element z_{lv}^k tablicy \mathbf{Z}^k definiowany jest jako:

$$z_{lv}^k = \begin{cases} 1 - \text{gdy stacja } k \text{ dla wyznaczenia sterowania potrzebuje wartość danej } v \\ \quad \text{ze stacji } l, \\ 0 - \text{w przeciwnym przypadku.} \end{cases} \quad (2)$$

Zatem element tablicy Z^k określa zapotrzebowanie na dane, wymagane do realizacji sterowania. Zakłada się, że sterowanie może być poprawnie wyznaczone jeżeli przedział czasu od momentu powstawania wartości do momentu jej przekazania w celu rozpoczęcia wyznaczania sterowania nie będzie większy niż zadane ograniczenie czasowe. Ograniczenia czasowe dla stacji k będą opisane przez tablicę D^k składającą się z elementów d_{lv}^k . Element d_{lv}^k podaje w milisekundach ograniczenie czasowe dla pozyskiwania wartości wielkości v , powstającej na stacji l , a wymaganej przez stację k .



Rys. 1. Model rozproszonego systemu sterowania

Traktując przesyłane wiadomości jako zadania, należy określić czas wykonania poszczególnych zadań. W tym celu, na podstawie tablicy B wyznaczmy tablicę C czasów wykonania zadań (przesłań wiadomości). Jeśli element tablicy B oznaczymy jako b_{ij} to odpowiadający element tablicy C oznacza czas przesłania danych o długości b_{ij} . Zależność pomiędzy czasem transmisji a długością danych można wyrazić wzorem: $c_{ij} = (b_{ij} + \beta) / \alpha$, w którym $\alpha [B/ms]$ oznacza przepustowość, a β ilość dodatkowych bajtów związanych z wysłaniem pojedynczej wiadomości. Wówczas tablica C będzie tablicą czasów wykonania zadań. Jeśli z węzła wysyłana jest więcej niż jedna dana do innego (lub innych), można rozważyć celowość łączenia wysyłanych danych w grupy dla zmniejszenia narzutów protokołu i warstwy MAC. Grupowanie danych w węzle wysyłającym polega na wysłaniu jednej wiadomości zawierającej wiele danych. Dla pełnego opisu systemu należy zdefiniować dodatkowe elementy modelu rozproszonego systemu sterowania: tablicę grup danych i tablicę ograniczeń czasowych wiadomości grupowych.

Oznaczmy przez E_l zbiór wiadomości grupowych w węźle l : $E_l = \{e_1, e_2, \dots, e_n\}$, natomiast przez e numer wybranego elementu zbioru wiadomości grupowych E_l . Numery wiadomości grupowych tworzą zbiór numerów wiadomości grupowych NG . Należy rozbudować model tak, aby przedstawiał przynależność danej v w węźle l do wiadomości grupowej o numerze e . W danym węźle każda dana należy do jednej i tylko do jednej wiadomości grupowej. Możliwe jest utworzenie od $1..n$ wiadomości grupowych w węźle l .

Grupowanie danych polega na wysłaniu z wybranego węzła kilku danych o różnych okresach występowania w postaci wiadomości grupowej. Podczas grupowania danych, okres wysyłania wiadomości grupowej musi być krótszy od najkrótszego ograniczenia czasowego danej należącej do grupy. Dla formalnego zapisu operacji grupowania zostanie utworzona tablica wiadomości grupowych $W^l [n \times n]$, której elementy mają wartości 0 i 1. Tablicę wiadomości grupowych określa się dla każdego węzła. W tablicy tej kolumny odpowiadają numerom wiadomości grupowych a wiersze - danym w węźle. Maksymalna liczba wiadomości grupowych jest równa liczbie danych do wysłania na stacji. Element $w_{e,v}^l$ tablicy W^l będzie posiadał wartość 1 w przypadku gdy w węźle l dana v należy do grupy wiadomości e .

5. PRZYKŁAD WYZNACZENIE ZBIORU ROZWIĄZAŃ DOPUSZCZALNYCH

W przykładowym systemie złożonym z pięciu węzłów, podłączonych do wspólnej magistrali, komunikacja zachodzi na zasadzie master - slave. Zapotrzebowania informacyjne poszczególnych węzłów przedstawione są w postaci tablic zapotrzebowań Z^k , wyznaczonych zgodnie z przyjętym modelem:

$$Z^1 = \begin{vmatrix} 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \end{vmatrix} \quad Z^2 = \begin{vmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \end{vmatrix} \quad Z^3 = \begin{vmatrix} 1 & 1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \end{vmatrix} \quad Z^4 = \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{vmatrix} \quad Z^5 = \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{vmatrix}$$

Założono, że okresy uaktualniania danych w węzłach równe są ich ograniczeniom czasowym $t^k = d^k$. Okresy mogą być przedstawione np. w milisekundach [ms]. Poniżej przedstawione zostały tablice: ograniczeń czasowych poszczególnych zadań w węzłach D, długości danych B oraz czasów wykonywania zadań C:

$$D = \begin{vmatrix} 540 & 580 & 440 & 600 & 600 \\ 600 & 650 & 420 & 750 & 650 \\ 530 & 600 & 410 & 550 & 550 \\ 650 & 700 & 450 & 550 & 500 \\ 450 & 600 & 430 & 500 & 600 \end{vmatrix} \quad B = \begin{vmatrix} 10 & 10 & 15 & 15 & 15 \\ 15 & 15 & 15 & 20 & 10 \\ 10 & 15 & 15 & 15 & 15 \\ 10 & 10 & 10 & 15 & 10 \\ 10 & 15 & 15 & 15 & 15 \end{vmatrix} \quad C = \begin{vmatrix} 10 & 10 & 15 & 15 & 15 \\ 15 & 15 & 15 & 20 & 10 \\ 10 & 15 & 15 & 15 & 15 \\ 10 & 10 & 10 & 15 & 10 \\ 10 & 15 & 15 & 15 & 15 \end{vmatrix}$$

Tabela 2 przedstawia wartości wskaźnika względnej rezerwy czasowej zadania. Wartości wskaźnika zostały określone przy założeniu, że dane grupowane są tylko w rozpatrywanym węźle. Wskaźnik został określony dla ostatniego zadania ze zbiorów zadań w każdym węźle względem zadania o najwyższym priorytecie.

Tab. 2 Wartości wskaźnika jakości względnej rezerwy czasowej zadania w poszczególnych węzłach

Węzeł	Dla zadania	Względem zadania	Wskaźnik jakości względnej rezerwy czasowej zadania
1	τ_7	τ_1	2.5
2	τ_7	τ_1	1
3	τ_6	τ_1	2.33
4	τ_8	τ_1	1.4
5			-

Z tabeli 2 wynika między innymi, że żaden sposób grupowania danych wysyłanych z węzła piątego nie przyniesie poprawy własności czasowych systemu.

5.1. Wyznaczenie zbioru rozwiązań dopuszczalnych

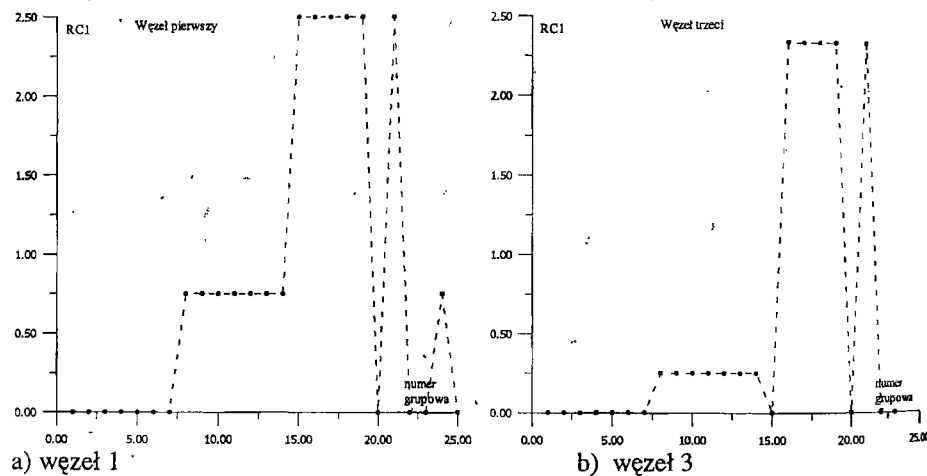
Przeanalizowane zostały magistrale dla różnych sposobów grupowań danych wysyłanych z węzła w wiadomości grupowe. Możliwe sposoby grupowań przedstawia tabela 3. Analizy dotyczyły wyznaczenia wartości wskaźników w węzłach dla poszczególnych grupowań przesyłanych danych.

Tab. 3. Przydział danych do wiadomości grupowych

Numer grupowania	Grupowanie w węźle 1		Grupowanie w węźle 2		Grupowanie w węźle 3		Grupowanie w węźle 4		Grupowanie w węźle 5	
	Węzeł odbierający	Sposób grupowania	Węzeł odbierający	Sposób grupowania	Węzeł odbierający	Sposób grupowania	Węzeł odbierający	Sposób grupowania	Węzeł odbierający	Sposób grupowania
1	3	1	1	1	1	1	1	1 0 0 0	1	1
2	3	0	1	0	1	0	1	0 1 0 0	1	0
3	4	1 0 0 0	3	1 0 0	2	1 0 0 0	1	0 0 1 0	2	1 0
4	4	0 1 0 0	3	0 1 0	2	0 1 0 0	1	0 0 0 1	2	0 1
5	4	0 0 1 0	3	0 0 1	2	0 0 1 0	1	0 0 0 1	2	0 1
6	4	0 0 0 1	3	0 0 1	2	0 0 0 1	1	1 1 0 0	2	1 1
7	4	0 0 0 1	3	1 1 0	2	0 0 0 1	1	1 0 1 0	2	0 1
8	4	1 1 0 0	3	1 0 1	2	1 1 0 0	1	1 0 0 1	3	1
9	4	1 0 1 0	3	0 1 1	2	1 0 1 0	1	0 1 1 0	3	0
10	4	1 0 0 1	3	0 1 1	2	1 0 0 1	1	0 1 0 1		
11	4	0 1 1 0	3	1 1 1	2	0 1 1 0	1	0 0 1 1		
12	4	0 1 0 1	3	0 1 1	2	0 1 0 1	1	0 0 1 1		
13	4	0 0 1 1	4	1	2	0 0 1 1	1	1 1 1 0		
14	4	0 0 1 1	4	0	2	0 0 1 1	1	1 1 0 1		
15	4	1 1 1 0			2	1 1 1 0	1	1 0 1 1		
16	4	1 1 0 1			2	1 1 0 1	1	0 1 1 1		
17	4	1 0 1 1			2	1 0 1 1	1	0 1 1 1		
18	4	0 1 1 1			2	0 1 1 1	1	1 1 1 1		
19	4	0 1 1 1			2	0 1 1 1	1	0 1 1 1		
20	4	1 1 1 1			2	1 1 1 1	2	1		
21	4	0 1 1 1			2	0 1 1 1	2	0		
22	5	1 0			4	1	3	1		
23	5	0 1			4	0	3	0		
24	5	1 1					5	1 0		
25	5	0 0					5	0 1		
26							5	1 1		
27							5	0 0		

Przyjęte wskaźniki dla systemów scentralizowanych mogą zostać użyte do analizy systemów rozproszonych gdyż obliczenia wskaźników dotyczą zadań w jednym węźle, pozostałe węzły zostały zamodelowane jako dodatkowe zadanie o najwyższym priorytecie w analizowanym węźle. Wyznaczony został wskaźnik rezerwy czasowej pojedynczego zadania – oznaczony jako RC1. Wskaźnik RC1 wyznaczany był dla różnych struktur systemu. W tabeli 3 przedstawiony jest sposób tworzenia wiadomości grupowych w poszczególnych węzłach. Grupowanie może dotyczyć tylko danych wysyłanych do tego samego węzła odbierającego zgodnie z przedstawionym modelem. Na przykład ciąg: 1 1 0 0 oznacza, że w skład wiadomości grupowej wchodzi dwie pierwsze wysyłane dane.

Na zamieszczonych dalej wykresach przedstawiono obliczone wartości wskaźnika RC1 dla grupowań danych zgodnych z tabelą 3. W przypadkach gdy wskaźnik RC1 przyjmuje wartości zerowe to w systemie (dla danego grupowania) warunki RT nie są spełnione. Na wykresach oś x (numer grupowania) reprezentuje kolejne przypadki grupowań danych w węźle wysyłającym; na osi y zaznaczono wartości wyznaczonego wskaźnika.



Rys. 2. Wartości wskaźnika RC1 w przypadku grupowania danych w wiadomości grupowe dla węzłów 1 i 3

W węzłach wysyłających dane mogą zostać zgrupowane w wiadomości grupowe, dzięki czemu mogą zostać poprawione własności czasowe w systemie. Grupowanie takie należy przeprowadzać przede wszystkim wówczas, gdy w systemie warunki RT nie są spełnione. Wskaźnik RC1 w węźle pierwszym przyjmuje największą wartość wynoszącą 2,5 dla kilku przypadków grupowań danych. Wartość ta jest uzyskiwana podczas grupowania trzech danych wysyłanych do węzła czwartego w wiadomość grupową. Po takim zgrupowaniu danych warunki RT w węźle zostaną spełnione. W węźle trzecim, wskaźnik RC1 przyjmuje największą wartość po zgrupowaniu trzech danych wysyłanych do węzła drugiego.

Wynika stąd, że wybór sposobu grupowania danych powinien być oparty na wyznaczonym wskaźniku $RC1$: Podczas grupowania dane należy odpowiednio dobierać tak, aby czas trwania przesłania wiadomości grupowej nie był zbyt duży. Ostatecznego wyboru struktury systemu należy dokonać spośród zbioru rozwiązań dopuszczalnych. Zbiór rozwiązań dopuszczalnych wygodnie jest przedstawiać na wykresach. Zakresy w jakich mieszczą się wyznaczone wartości wskaźników dla poszczególnych węzłów przedstawiono na rys. 3. Rozwiązania optymalnego należy poszukiwać wśród rozwiązań dopuszczalnych. W pracy rozważone zostały następujące zasady wyboru rozwiązań optymalnych:

- Maksymalizacji wskaźnika

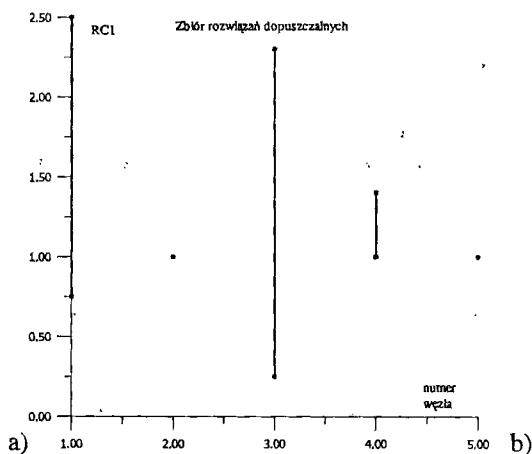
Jako optymalne zostaje przyjęte to rozwiązanie, które daje największą wartość wskaźnika $RC1$.

- Maksymalizacji wartości średniej wskaźnika

Jako optymalne zostaje przyjęte to rozwiązanie, które daje największą wartość spośród wartości średnich wyznaczonych w poszczególnych węzłach, dla wskaźnika $RC1$.

- Maksymalizacji minimalnych wartości wskaźników

Jako optymalne zostaje przyjęte to rozwiązanie, które daje największą wartość spośród najmniejszych wartości wskaźnika $RC1$ w poszczególnych węzłach.



Rys. 3. Wykres obrazujący zakres zmian wskaźnika $RC1$ w poszczególnych węzłach dla grupowania danych w wiadomości grupowe

Na rys. 3. widać, że istotną poprawę charakterystyk czasowych w systemie może przynieść grupowanie danych wysyłanych z węzłów pierwszego, trzeciego lub czwartego. Zastosowanie przyjętych funkcji wyboru rozwiązania optymalnego z punktu widzenia wartości wskaźników $RC1$ dało odpowiedź, że najbardziej optymalnym będzie grupowanie danych wysyłanych z węzła pierwszego lub trzeciego. Ponieważ jednak (jak wynika z nie przedstawionej tutaj analizy RT) to właśnie w węzle trzecim warunki RT nie były spełnione, dlatego grupowanie danych należy przeprowadzić w tym węzle.

Jeśli wskaźnik RC1 nie byłby brany pod uwagę podczas doboru struktury sieci, to jako rozwiązanie ostateczne może zostać przyjęte dowolne rozwiązanie, dla którego są spełnione warunki RT.

6. WNIOSKI

W opracowaniu przedstawione zostały wyniki dotyczące systemu magistralowego złożonego z pięciu węzłów komunikujących się na zasadzie master - slave. Dla innych systemów magistral zależności występujące na wykresach będą podobne. Badania dotyczyły wyznaczenia zbioru dopuszczalnych struktur systemu w oparciu o przyjęty wskaźnik względnej rezerwy czasowej wybranego zadania. Wskaźnik ten może przybierać największe wartości w węzłach należących do podsieci z niewielką liczbą węzłów. Sytuacja taka jest widoczna na wykresach gdy zmienna numer podziału ($oś x$) przyjmuje małe wartości. Ale wówczas w systemie nie są dotrzymane warunki RT. W przypadkach niespełnienia warunków RT należy skrócić czas wykonania zadań (niekiedy jest to niemożliwe do zrealizowania). Występuje pewien przedział wartości zmiennej numer podziału lub numer grupowania, dla której warunki RT są spełnione. Rozwiązanie optymalne należy wybrać, posługując się funkcją wyboru rozwiązania optymalnego, spośród rozwiązań dopuszczalnych, dla wybranego wskaźnika RC1.

LITERATURA

1. Drwał A., Analiza rezerwy czasowej pojedynczego zadania dla sieci przemysłowej o ostrych ograniczeniach czasowych, Konferencja Systemy Czasu Rzeczywistego '99.
2. Drwał A., The problem of designing distributed control systems based on fieldbuses, Fifth International Symposium on Methods and Models in Automation and Robotics, 25 - 29 August, 1998.
3. Drwał A., Projektowanie struktur sieci magistral miejscowych dla rozproszonych systemów sterowania, Kwartalnik Elektroniki i Telekomunikacji, Wydawnictwo Naukowe PWN, 1999.
4. Jeffaly K., Stanat D., Martel C.: On Non Preemptive Scheduling of Periodic and Sporadic Tasks; Proc. of IEEE Real Time Systems Symposium 1991.
5. Klein M. et al. 'A Practitioner's Handbook for Real-Time Analysis: Guide to Rate-Monotonic Analysis for Real-Time Systems. Kluwer Academic Publishers, Boston, July 1993.
6. Werewka J., Drwał A., Żaba S., Zagadnienie badania charakterystyk czasowych i przepustowości magistral miejscowych, IV Konferencja Systemy Czasu Rzeczywistego, Szklarska Poręba, 22-25 IX 1997.