

OCENA JAKOŚCI PROJEKTOWANEGO SYSTEMU MAGISTRALOWEGO W OPARCIU O BADANIA SYMULACYJNE I EKSPERYMENTALNE

Podczas projektowania rozproszonych systemów sterowania czasu rzeczywistego opartych na magistralach miejscowych należy sprawdzić dotrzymanie warunków czasu rzeczywistego RT. Dodatkowo powinny jednak zostać spełnione wymagania związane z pewnością i niezawodnością działania systemu. Pojawia się więc problem wyboru optymalnej struktury systemu. Jako kryterium określające, czy przyjęta struktura systemu jest strukturą optymalną może posłużyć wielkość rezerwy czasowej pojedynczego zadania. Rezerwa ta będzie oznaczać odcinek czasu, o jaki czas wykonania wybranego zadania może zostać wydłużony przy założeniu, że ograniczenia czasowe innego, wybranego zadania zostaną dotrzymane. Jako wskaźniki mogą być użyte również inne funkcje jak: wydłużenie czasu wykonania wszystkich zadań (rezerwa czasowa grupy zadań) czy też skrócenie czasu wykonania zadań (gdy ograniczenia czasowe jednego z zadań nie są dotrzymane). Jako rozwiązanie optymalne może zostać uznane rozwiązanie dające na przykład największą rezerwę czasową wybranego zadania.

ESTIMATION A QUALITY OF DESIGNED FIELDBUS SYSTEM BASED ON SIMULATION AND ANALYTICAL EXPERIENCE.

In designing of distributed real time control systems based on fieldbuses real time conditions should be check. However additionally the certainty and the reliability system requirements should be fulfilled, and so conditions RT and throughput should be kept. So the problem of optimum system structure choice appears. As a quality coefficients for design of distributed systems a spare capacity functions for a single task can be used. The function determines the amount of execution time that can be added to the response to an event while preserving the schedulability of a specified lower priority event. As a quality coefficients can be used other function too, like: growth time execution of all task or elimination overrun. The optimum solution may by characterised for example by maximum spare capacity for chosen task.

1. WSTĘP

Obecnie, w przemysłowych systemach produkcyjnych, dąży się do w pełni zautomatyzowanego sterowania i śledzenia całego procesu produkcyjnego. Wymagane jest

aby przesyłanie informacji zachodziło w sposób pewny i szybki. Zastosowanie magistrali miejscowej (fieldbus) pozwala w znacznym stopniu spełnić te wymagania. Właściwe zaprojektowanie systemu rozproszonego opartego na magistralach miejscowych wymaga przeprowadzenia dokładnej analizy wymagań stawianych przez system oraz, możliwości ich spełnienia dla założonych parametrów magistral. W systemach o ostrych ograniczeniach czasowych podstawowym zagadnieniem jest spełnienie warunków czasu rzeczywistego, natomiast w systemach o łagodnych ograniczeniach, ważna jest znajomość przepustowości oraz innych własności statystycznych magistral (np. wydajność przy różnym obciążeniu) [11,12]. Projektowanie systemu rozproszonego powinno być wykonane w oparciu o model formalny. Model ten może zostać użyty dla wyznaczenia takiej struktury systemu oraz struktury przesyłanych wiadomości, w której będą spełnione narzucone ograniczenia czasowe. Sposób sprawdzenia dochowania ograniczeń RT czasu rzeczywistego (Real Time - RT) zależy od metod szeregowania wiadomości. Jedną z bardziej znanych metod szeregowania jest GRMS, przyznająca zadaniu o najkrótszym okresie występowania największy priorytet [7, 8, 9, 10, 11, 12]. Aby móc porównywać różne struktury systemu w celu znalezienia optymalnej, należy określić kryterium porównywania. Kryterium takim będą odpowiednio zdefiniowane wskaźniki jakości zaprojektowanego systemu. Wskaźniki te posłużą do oceny własności czasowych systemu takich jak na przykład: dotrzymanie warunków RT przez wszystkie zadania czy też określenie odcinka czasu o jaki może zostać zwiększony czas wybranego zadania bez naruszenia ograniczeń czasowych pozostałych zadań. W przypadku niedotrzymania warunków RT przez jakieś zadanie, przy użyciu odpowiednich wskaźników możliwe będzie określenie sposobu poprawy działania systemu.

1. FUNKCJE WSKAŹNIKÓW JAKOŚCI

Podczas projektowania systemu magistralowego pojawia się problem wyboru takiej struktury systemu, która spełnia postawione wymagania komunikacyjne, przedstawione w postaci ograniczeń czasu rzeczywistego RT (Real Time) [3]. Dodatkowo w projektowanym systemie powinny jednak zostać spełnione wymagania dotyczące przepustowości oraz związane z pewnością i niezawodnością działania systemu. Zagadnienia te należy rozpatrywać w oparciu o model systemu. W przyjętym modelu definiowane są zależności komunikacyjne oraz nałożone wymagania czasowe na generowanie i pozyskiwanie wiadomości. Zależności komunikacyjne przedstawione są w postaci tablic zapotrzebowań na informacje, określonych dla poszczególnych węzłów. Wymagania czasowe natomiast, są reprezentowane przez odpowiednie tablice ograniczeń czasowych na pozyskiwanie wiadomości, tablice uaktualniania danych w węzłach oraz tablice długości danych. Szczegółowo model przedstawiony jest w [4].

Jeśli okaże się, że ograniczenia czasowe dla systemu nie zostaną dochowane, w takim przypadku należy rozważyć dwa podejścia, które mogą pozwolić na dochowanie ograniczeń czasowych: podział na podsieci (powoduje zwiększenie wydajności systemu transmisyjnego) oraz grupowanie danych w wiadomościach (powoduje zmniejszenie obciążenia systemu komunikacyjnego, a przez to zmniejszenie opóźnień czasowych przesyłanych wiadomości) [4]. Ponieważ może pojawić się wówczas wiele rozwiązań struktury systemu spełniających narzucone wymagania, należy wybrać to rozwiązanie, które jest optymalne według innych wskaźników. Zatem należy zdefiniować odpowiednie wskaźniki, które posłużą do oceny poszczególnych rozwiązań.

Wprowadzenie wskaźników jakości projektowanego systemu pozwoli na:

- ocenę zaprojektowanego systemu poprzez określenie jego własności (np. wskaźnik przepustowości),

- przeprowadzenie analizy porównawczej różnych wariantów projektowanego systemu. W odniesieniu do systemu istniejącego pozwala na określenie ewentualnych możliwości rozbudowy i modyfikacji struktury systemu,
- określenie możliwości poprawy działania systemu w przypadku, gdy ograniczenia RT nie są spełnione,
- wybór optymalnego rozwiązania w przypadku istnienia wielu dopuszczalnych rozwiązań systemu.

2. RODZAJE WSKAŹNIKÓW JAKOŚCI

Podczas projektowania rozproszonego systemu sterowania należy rozważyć szereg dopuszczalnych rozwiązań spełniających narzucone ograniczenia i wymagania. Wymagania te mogą zostać przedstawione w postaci wskaźników jakości systemu.

Możą zostać żyte następujące grupy wskaźników:

- dwuwartościowe (binarne) - określające dotrzymanie bądź nie dotrzymanie ograniczeń RT,
- kwadratowe - określające tolerancję niedotrzymania warunków RT,
- przepustowości - określające przepustowość informacyjną,
- kosztów - określające koszt wykonania wybranego rozwiązania systemu,
- rezerwy czasowej dla pojedynczego zadania - określające możliwość dodatkowego obciążenia systemu poprzez zwiększenia czasu trwania pojedynczego zadania,
- rezerwy czasowej dla grupy zadań - określające możliwość dodatkowego obciążenia systemu poprzez zwiększenia czasu trwania grupy zadań,
- ułatwiające poprawę działania systemu - w przypadku gdy ograniczenia RT nie są dotrzymane.

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

Wskaźnik rezerwy czasowej wybranego zadania został przedstawiony w [1, 6] natomiast rezerwa czasowa dla grupy zadań w [2, 6]

3. POPRAWA DZIAŁANIA SYSTEMU CZASU RZECZYWISTEGO W PRZYPADKU NIE DOTRZYMANIA OGRANICZEŃ RT

W przypadku, gdy w systemie znajduje się zadanie τ_i , dla którego ograniczenie czasowe nie jest spełnione, należy określić o ile należy skrócić czas wykonania innego zadania aby ograniczenie czasowe zadania τ_i mogło być dochowane. Podejście takie pozwala na określenie zbioru zadań takich, że skrócenie czasu wykonania zadania wybranego z tego zbioru pozwoli na dotrzymanie ograniczeń czasowych w systemie. Przyjmuje się, że system składa się ze zbioru zadań $\tau = \{\tau_1, \dots, \tau_n\}$ pojawiających się okresowo. Przyjmuje się również, że priorytety zadań mogą się zmieniać. W zbiorze tym znajduje się zadanie τ_i , dla którego ograniczenia czasowe nie są spełnione. Poprzez przeprowadzenie odpowiedniej sekwencji obliczeń uzyskuje się, dla poszczególnych zadań (o priorytetach wyższych niż priorytet zadania τ_i), wartości czasów $\Delta\tau_n$ do jakich powinny zostać skrócone czasy wykonania zadań aby dotrzymać ograniczenie czasowe zadania τ_i . Wskaźnikiem jakości będzie zbiór $\Delta\tau = \{\Delta\tau_1, \Delta\tau_2, \dots, \Delta\tau_{i-1}\}$. Metoda ta może zostać użyta, kiedy dla zadania nie jest dotrzymane ograniczenie czasowe. Zakłada się, że wśród zadań $\tau_1 \dots \tau_n$ znajduje się zadanie τ_i , dla którego przekroczone zostało ograniczenie czasowe D_i . Aby określić jaki odcinek czasu należy odjąć od czasu wykonania jednego z zadań aby było dotrzymane ograniczenie czasowe zadania e_i należy zastosować algorytm, który z uwagi na szczupłość miejsca nie został tutaj przytoczony. Algorytm został oparty na metodzie opisanej w [6]. W algorytmie tym przyjęto,

że każde zadanie może składać się z kilku elementów o różnych priorytetach. Tak na przykład zadanie τ_i może składać się z elementów $1..m$, a całkowity czas wykonania zadania będzie sumą czasów wykonania poszczególnych elementów $1..m$. Elementy składowe zadania τ_i mogą mieć różne priorytety. Przyjmując równe priorytety elementów zadania τ_i uzyskuje się klasyczny zbiór zadań, w którym każde zadanie posiada tylko jeden element. Algorytm składa się z kilku kroków. Przyjmuje się, że w zbiorze zadań istnieje zadanie τ_i , dla którego ograniczenia czasowe nie są dotrzymane. W wyniku działania algorytmu uzyskuje się, dla zadania τ_n o priorytecie wyższym niż priorytet zadania τ_i , skrócony czas wykonania zadania $\Delta\tau_n$ do takiej wartości, że ograniczenie czasowe zadania może zostać dotrzymane. Możliwe jest więc określenie dla wszystkich zadań, zbioru czasów trwania zadań $\Delta\tau = \{\Delta\tau_1, \Delta\tau_2, \dots, \Delta\tau_{i-1}\}$, takich, że przyjęcie dla wybranego zadania odpowiadającego mu czasu wykonania pozwoli na dotrzymanie ograniczeń czasowych zadania zbioru τ_i .

4. WPLYW CZASU WYKONANIA ZADANIA ORAZ DOBORU PRIORYTETÓW ZADAŃ NA WARTOŚĆ WSKAŹNIKÓW SKRÓCENIA CZASU WYKONANIA

Dla zobrazowania wpływu czasu wykonania zadania na wartości wskaźników przeanalizowany został poniższy przykład. W przykładzie tym przyjęto, że zadania są jednoelementowe (tabela 1), priorytety zadań określone są wartością liczby P_i - im większa ta liczba tym większy priorytet zadania. Dla łatwiejszego porównywania wyników analizy dotyczyły zmian czasu wykonania zadania τ_4 .

Pierwsza analiza

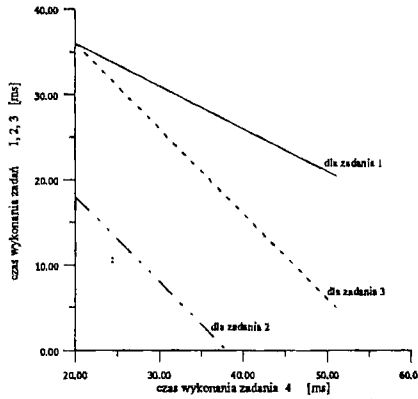
Analiza została przeprowadzona dla zadań $\tau_1.. \tau_5$, o priorytetach przydzielonych w sposób malejący przy czym zadanie τ_1 ma najwyższy priorytet. Priorytety kolejnych zadań są odpowiednio coraz niższe.

Tabela 1.

Zadanie τ_i	Okres T_i ms	Czas wykonania C_i ms	Priorytet P_i	Czas blokowania B_i ms	Ograniczenie czasowe D_i ms
τ_1	100	36	5	0	100
τ_2	150	18	4	20	150
τ_3	200	36	3	0	200
τ_4	325	20 - 50	2	40	325
τ_5	350	42	1	0	350

Dla tak przyjętych danych, zadanie może τ_4 nie dotrzymać swojego ograniczenia czasowego. Przeprowadzono więc analizę dotyczącą zmiany czasu wykonania zadania τ_4 i jej wpływu na wartości uprzednio zdefiniowanych wskaźników. Wyniki analizy przedstawia rys. 1. Zmiana czasu wykonania zadania τ_4 wynosiła od 20 [ms] do 50 [ms]. Dla takich zmian czasu wykonania zadania τ_4 można zauważyć liniowy charakter zmian wskaźników, przy czym jedynie zmiana czasu wykonania zadań τ_1, τ_2 i τ_3 może doprowadzić do dotrzymania ograniczeń czasowych zadania τ_4 ponieważ priorytety tych zadań są większe od priorytetu zadania τ_4 . Jak widać z rys. 1 wydłużenie czasu trwania zadania τ_4 powyżej 37 [ms] powoduje, że dotrzymanie ograniczenia czasowego zadania τ_4 nie będzie możliwe przez dalsze skracanie czasu wykonania zadanie τ_2 . Inne nachylenie prostych związanych z

zadaniami τ_1 i τ_3 wynika z różnego okresu występowania tych zadań. Im większy jest okres zadania tym nachylenie prostej jest większe.



Rys. 1. Wyniki pierwszej analizy

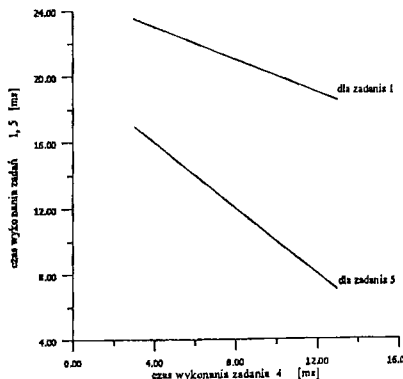
Druga analiza.

Analiza druga została przeprowadzona dla zadań $\tau_1 \dots \tau_5$, o priorytetach przydzielonych w nieco inny sposób niż w poprzedniej analizie.

Tabela 2.

Zadanie τ_i	Okres T_i ms	Czas wykonania C_i ms	Priorytet P_i	Czas blokowania B_i ms	Ograniczenie czasowe D_i ms
τ_1	100	36	5	0	100
τ_2	150	18	4	20	150
τ_3	200	36	1	0	200
τ_4	325	3 - 13	3	40	325
τ_5	350	42	2	0	350

Priorytety zadań są następujące: $\tau_1 - 5$, $\tau_2 - 4$, $\tau_3 - 1$, $\tau_4 - 3$, $\tau_5 - 2$.



Rys. 2. Wyniki drugiej analizy

Dla tak przyjętych danych, zadanie τ_4 może nie dotrzymać swojego ograniczenia czasowego dla nieco większych wartości czasu wykonania. Wyniki analizy przedstawia rys. 2. Zmiana czasu wykonania zadania τ_4 wynosiła od 3 [ms] do 13 [ms]. Dla takich zmian czasu wykonania zadania τ_4 charakter zmian wskaźników jest liniowy, przy czym jedynie zmiana czasu wykonania zadań τ_1 i τ_3 może doprowadzić do dotrzymania ograniczeń czasowych zadania τ_4 ponieważ priorytety tych zadań są większe od priorytetu zadania τ_4 . Jak widać z rys. 2 wydłużenie czasu trwania zadania τ_4 powyżej 13 [ms] powoduje, że dotrzymanie ograniczenia czasowego zadania τ_4 nie będzie możliwe przez skrócenie czasu wykonania zadanie τ_3 do 7 [ms]. Poprzez zmianę czasu wykonania zadania τ_2 nie jest możliwe uzyskanie dotrzymania ograniczenia czasowego zadania τ_4 ponieważ zadanie to jest posiada zbyt krótki czas wykonania. Podobnie jak w poprzedniej analizie inne nachylenie prostych związanych z zadaniami τ_1 i τ_3 wynika z różnego okresu występowania tych zadań. Im większy jest okres zadania tym nachylenie prostej jest mniejsze.

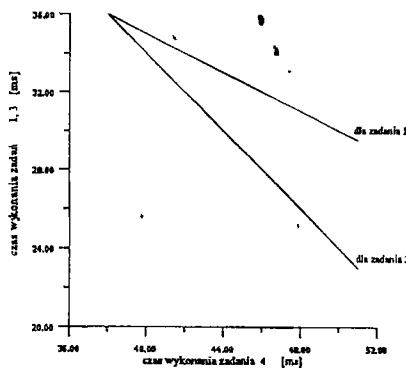
Trzecia analiza.

Analiza trzecia została przeprowadzona dla zadań $\tau_1 \dots \tau_5$, o priorytetach przydzielonych w sposób następujący: $\tau_1 - 5$, $\tau_2 - 2$, $\tau_3 - 4$, $\tau_4 - 3$, $\tau_5 - 1$.

Tabela 3.

Zadanie τ_i	Okres T_i ms	Czas wykonania C_i ms	Priorytet P_i	Czas blokowania B_i ms	Ograniczenie czasowe D_i ms
τ_1	100	36	5	0	100
τ_2	150	18	2	20	150
τ_3	200	36	4	0	200
τ_4	325	38 - 50	3	40	325
τ_5	350	42	1	0	350

Dla tak przyjętych danych, zadanie τ_4 może nie dotrzymać swojego ograniczenia czasowego dla nieco większych wartości czasu wykonania ponieważ suma czasów wykonania zadań o wyższych priorytetach jest nieco mniejsza (wyższy priorytet posiadają zadania τ_1 i τ_3). Wyniki analizy przedstawia rys. 3.



Rys. 3. Wyniki trzeciej analizy

Zmiana czasu wykonania zadania τ_4 wynosiła od 38 [ms] do 50 [ms]. Dla takich zmian czasu wykonania zadania τ_4 również można zauważyć liniowy charakter zmian wskaźników, przy czym jedynie zmiana czasu wykonania zadań τ_1 i τ_3 może doprowadzić do dotrzymania ograniczeń czasowych zadania τ_4 ponieważ priorytety tych zadań są większe od priorytetu zadania τ_4 . Jak widać z rys. 3 dla czasu wykonania zadania τ_4 wynoszącego 38 [ms] dotrzymanie ograniczenia czasowego tego zadania będzie możliwe przy czasach wykonania zadań τ_1 i τ_3 równych i wynoszących 36 [ms]. Dalsze zmiany zachodzą jednak po prostych o innym nachyleniu zgodnie z zasadą: im większy jest okres zadania tym nachylenie prostej jest mniejsze.

5. WNIOSKI

Podczas projektowania systemu magistralowego można zwykle stwierdzić, że istnieje wiele dopuszczalnych rozwiązań struktury systemu spełniających narzucone wymagania. Należy wówczas wybrać to rozwiązanie, które jest optymalne. Dlatego należy więc zdefiniować odpowiednie wskaźniki, służące do oceny poszczególnych rozwiązań. Jeśli w projektowanym systemie istotna jest możliwość dalszego wydłużenia czasu wykonania zadania (przy założeniu dotrzymania warunków RT w odniesieniu do innych zadań), należy dokonać odpowiedniego wyboru pomiędzy rozwiązaniami używając wskaźnika względnej rezerwy czasowej zadania. Wyznaczenie względnej rezerwy czasowej zadania τ pozwala na określenie ilości czasu wykonywania jaka może zostać dodana do zadania τ , tak aby były jeszcze spełnione ograniczenia czasowe innego wybranego zadania. Rezerwa czasowa może zostać określona dla dowolnego zadania τ względem innego, ale zadanie τ musi mieć wyższy priorytet. Znalazienie wartości rezerwy czasowej zadania τ względem wszystkich zadań, wiąże się z wyznaczeniem rezerwy zadania τ względem wszystkich zadań o niższych priorytetach, a następnie wyborze spośród nich wartości najmniejszej. Taki sposób podejścia do określenia jakości zaprojektowanego systemu jest szczególnie istotny w sytuacji gdy spodziewana jest dalsza rozbudowa systemu. Możliwe jest również inne podejście do zagadnienia rozbudowy systemu polegające na wydłużaniu czasów wykonania wszystkich zadań w jednakowym stopniu. Należy wówczas określić wskaźnik rezerwy czasowej grupy zadań. Niezależnie jednak od sposobu podejścia do problemu rozbudowy systemu, informację o zachowaniu systemu w różnych warunkach można uzyskać przeprowadzając szczegółową analizę. Analiza taka powinna dotyczyć zmian parametrów charakteryzujących zadanie (okres, czas wykonania, ograniczenie czasowe).

Jeśli podczas projektowania systemu magistralowego okazuje się, że ograniczenia czasowe w systemie nie mogą być dotrzymane, w takim przypadku należy rozważyć możliwość podziału na podsieci lub grupowania danych w wiadomościach grupowych. Ponieważ może pojawić się wówczas wiele rozwiązań struktury systemu spełniających narzucone wymagania, należy wybrać to rozwiązanie, które jest optymalne. Aby ułatwić taki wybór należy zdefiniować odpowiednie wskaźniki, które posłużą do oceny poszczególnych rozwiązań. Jeśli w projektowanym systemie istotnych jest kilka czynników (np. dotrzymanie warunków RT oraz możliwość dalszej rozbudowy w sensie wydłużenia czasu zadania) należy dokonać odpowiedniego wyboru pomiędzy rozwiązaniami optymalnymi z punktu widzenia tychże czynników. Jeśli w systemie istnieje zadanie τ_i , dla którego nie jest możliwe dotrzymanie wymagań RT, należy określić zbiór $\Delta\tau$ odcinków czasowych do jakich powinny zostać skrócone czasy wykonania zadań (o priorytetach wyższych niż priorytet zadania τ_i) aby dotrzymać ograniczenie czasowe zadania τ_i . W oparciu o dodatkowe kryteria należy wybrać to zadanie, którego czas wykonania może zostać skrócony. Pełny obraz zachowania systemu można uzyskać po przeprowadzeniu analizy dotyczącej zmian parametrów wszystkich zadań

w systemie. Uzyskane wyniki mogą posłużyć do wyboru optymalnego rozwiązania struktury systemu. Jest to jednak zagadnieniem dosyć złożonym. Nieodzownym staje się wówczas zastosowanie odpowiednich narzędzi programowych.

Praca została wykonana w ramach grantu KBN nr 8T11A01316 pt: „Projektowanie struktur magistral miejscowych dla rozproszonych systemów sterowania”

LITERATURA

1. Drwal A., Analiza rezerwy czasowej pojedynczego zadania dla sieci przemysłowej o ostrych ograniczeniach czasowych, Konferencja Systemy Czasu Rzeczywistego '99, 27 - 30 IX 1999r. Zakopane.
2. Drwal A., Zagadnienie określania wskaźników jakości dla systemów magistralowych czasu rzeczywistego, Kwartalnik Telekomunikacja cyfrowa, Katedra Telekomunikacji AGH, artykuł przyjęty do druku.
3. Drwal 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,
4. Drwal A., Zagadnienie podziału na podsieci w systemach rozproszonych czasu rzeczywistego, V Konferencja Systemy Czasu Rzeczywistego, Szklarska Poręba 14 - 17 wrzesień 1998.
5. Drwal A., Projektowanie struktur sieci magistral miejscowych dla rozproszonych systemów sterowania, Kwartalnik Elektroniki i Telekomunikacji, Wydawnictwo Naukowe PWN, Tom 45, zeszyt 1, 1999r.
6. 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
7. Jeffaly K., Stanat D., Martel C.: On Non Preemptive Scheduling of Periodic and Sporadic Tasks; Proc. of IEEE Real Time Systems Symposium 1991
8. 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.
9. Klein M. H., Lehoczky L. P., Rajkumar R.: Rate-Monotonic Analysis for Real-Time Industrial Computing. Computer January 1994, pp. 24-33
10. Liu L., Layland J.: Scheduling algorithms for multiprograming in a hard real - time environment. J. Assoc. Comput. Mach. Vol. 20, No. 1, pp. 46 - 61, January 1973
11. Praca zbiorowa: Modelowanie i symulacja systemów rozproszonych w telekomunikacji i informatyce. Pod. Red. J. Filipiaka, G. Schwarze i J. Werewki. Skrypt AGH Nr 1191, Krakow 1990. p. 296
12. Sacha K.: Projektowanie oprogramowania systemów wbudowanych. Informatyka, nr 7, s.8-15, 1993
13. Sha L., Rajkamur R., Sathaye S.: Generalised Rate-Monotonic Scheduling Theory: A Framework for Developing Real Time Systems. Proc. of the IEEE. Vol. 82, No. 1, Jan. 1994, pp.68-82
14. Vasques F., Juanole G.: Fieldbus MAC Mechanism for Hard Real Time Data Communication Support. CNRS LAAS, LAAS Report 93396, 1993, p. 9