ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1999
Seria: INFORMATYKA z. 36 Nr kol.1414

Marcin FOJCIK
Politechnika Śląska, Instytut Informatyki

PROBLEMY INTEGRACJI SIECI PRZEMYSŁOWYCH

Streszczenie. W pracy opisane są właściwości wybranych sieci przemysłowych oraz wpływ integracji tych sieci na transmisję danych w obrębie każdej z sieci, a także na przesyły międzysieciowe. Omówionych jest kilka przypadków połączeń sieci z oceną ich przydatności. Pokazany jest wpływ czasu programu, wymian koprocesora i typu protokolu na czas wymiany w sieci.

PROBLEMS IN INTEGRATION OF INDUSTRY NETWORKS

Summary. The paper describes some types of industry networks and their transmission times. The interconnections between branch of networks and their work times are showed. The influence of PLC time, coprocessors time and kinds of protocol are described.

1. Wstęp

Integracja sieci przemysłowych stanowi aktualny problem. Często spotyka się sytuację przekazywania danych pomiędzy pojedynczymi komputerami – sterownikami w celu poprawnej realizacji algorytmów sterowania. Realizuje się to najczęściej przez użycie systemu komunikacyjnego, tzn. wyposażenie sterownika w autonomiczny koprocesor komunikacyjny, którego celem jest obsługa żądań transmisji, pochodzących od macierzystej jednostki centralnej, jak również realizacja żądań transmisji zdalnych, których źródłem są inne stacje obiektowe biorące udział w procesie wymiany informacji.

Podstawowym parametrem systemu komunikacji jest czas reakcji na zmiany zachodzące na obiekcie. Czas ten jest wypadkową czasów reakcji pojedynczych elementów, a na to ma wpływ sprawność komunikacji i szybkość wymiany informacji. Dla wymiany informacji

powinna być zagwarantowana minimalna, nieprzekraczalna wartość. Gwarantowany, zdeterminowany w czasie, czas reakcji pojedynczego elementu systemu rozproszonego daje bowiem pewność prawidłowej pracy całego systemu.

Często spotykana jest integracja sieci przemysłowych związanych ściśle z procesem sterowania z sieciami lokalnymi opartymi na protokole ETHERNET. Integracja umożliwia stworzenie rozległego systemu dotyczącego procesu zarządzania i polega głównie na udostępnieniu danych gromadzonych przez sieci przemysłowe na poziom sieci lokalnych. Zagadnienia związane z czasem przepływu informacji nie są tu tak krytyczne, ale mają istotne znaczenie dla sprawności całego systemu.

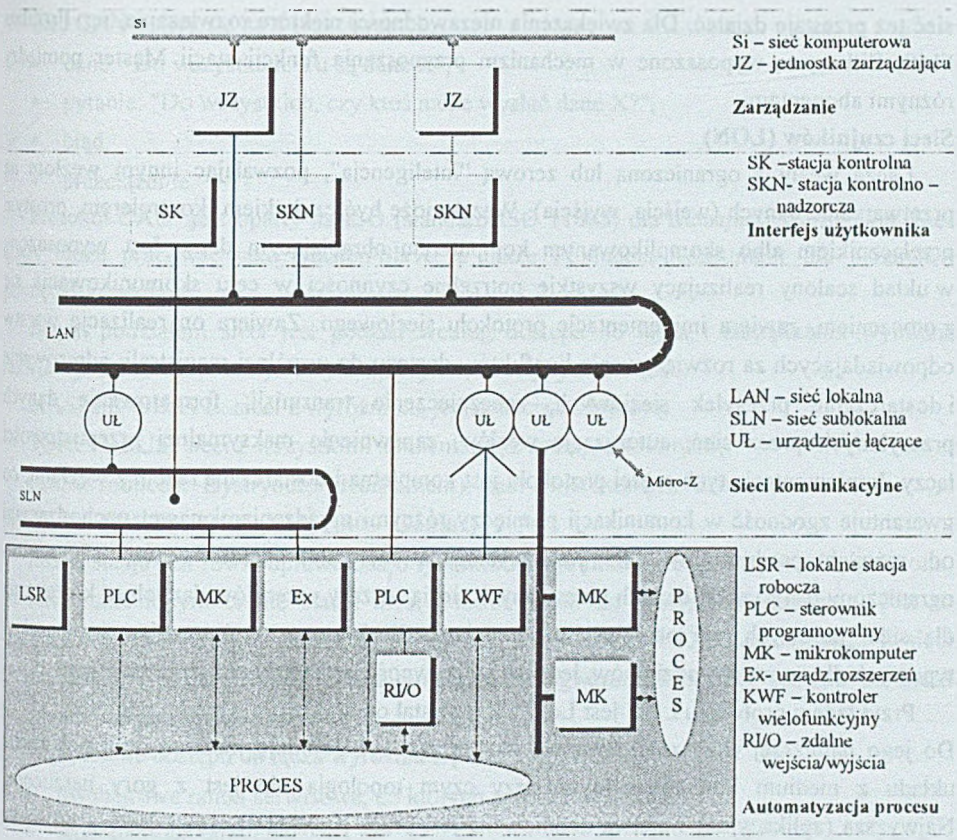
Jest rzeczą oczywistą, że integracja sieci musi powodować pogorszenie parametrów dotyczących czasu wymiany informacji. Jakkolwiek każdy typ sieci ma opracowany protokół transmisji, to z chwilą zintegrowania różnych sieci tego samego producenta konieczne jest opracowanie programu użytkowego realizującego zarządzanie przepływem informacji pomiędzy dowolnymi abonentami różnych sieci. Zazwyczaj program użytkowy dotyczy procesu buforowania danych podczas transmisji i zarządzania wyszukiwaniem adresata i nadawcy. Pojawia się tu wiele problemów, takich jak: wybór adresata, poprawność transmisji, gwarantowany czas dostępu do łącza, niezawodność połączenia.

Tak postawione przed systemem transmisji zadania w rozproszonym systemie sterowania wymagają sieci komputerowych o określonych cechach. Istnieją w nim trzy podstawowe źródła opóźnień, do których należy zaliczyć:

- sterownik swobodnie programowalny wraz z realizowanym przez niego programem,
- koprocesor sieci,
- protokół transmisji.

2. Systemy komunikacyjne

Systemy komunikacyjne spotykane w przemyśle można podzielić na kilka typów w zależności od przyjętych kryteriów. Niektóre kryteria to: prędkość działania, przeznaczenie, protokół dostępu do łącza, topologia, rozległość sieci, poziom pracy sieci.



Rys. 1. Klasyfikacja sieci
Fig. 1. Networks classification

We względu na poziom pracy sieci możemy podzielić na **sieci lokalne** i **sieci przemysłowe**. W sieciach lokalnych zachodzi wymiana danych na poziomie aplikacji, nie ma gwarancji czasowych na wymianę informacji. Poziomem niższym jest poziom sieci przemysłowych [20], który można podzielić na:

Sieci polowe

Sieci te łączą "inteligentne" jednostki (sterowniki), tak aby mogły wzajemnie współpracować, pozwalają na dostęp do najniższych zasobów sieci (wejścia i wyjścia sterownika). W sieciach transmitowane są ramki o rozmiarach od kilku bitów do 256 bajtów. Czas odpowiedzi mieści się w granicach kilku do kilkunastu milisekund. Sieci polowe wymagają dużo bardziej krytycznych czasów wymian niż sieci lokalne. W sieciach tych najczęściej występuje jeden moduł koordynujący i dystrybuujący zadania. Sieci polowe często wykorzystują hierarchię Master–Slave. Stacja Master kontroluje komunikację przez cykliczne odpytywanie wszystkich stacji Slave. Jest to słaby punkt – jeżeli master przestanie działać,

sieć też przestaje działać. Dla zwiększenia niezawodności niektóre rozwiązania, np. Profibus FMS, Bitbus, są wyposażone w mechanizm przenoszenia funkcji stacji Master pomiędzy różnymi abonentami.

Sieci czujników (LON)

Łączą węzły z ograniczoną lub zerową "inteligencją", pozwalając innym węzłom na przetwarzanie danych (wejścia, wyjścia). Węzeł może być czujnikiem, kontrolerem, prostym przełącznikiem albo skomplikowanym komputerem obrabiającym dane. Jest wyposażony w układ scalony realizujący wszystkie potrzebne czynności w celu skomunikowania się z otoczeniem, zawiera implementację protokołu sieciowego. Zawiera on realizację warstw odpowiadających za rozwiązywanie konfliktów dostępu do wspólnej magistrali, adresowanie i dostarczanie przesyłek sieciowych, zabezpieczenie transmisji, formatowanie danych przesyłanych przez sieć, autoryzację węzłów, zapewnienie maksymalnej przepustowości łączy. Implementacja tych części protokołu jest kompletna i dostarczana razem z węzłami, co gwarantuje zgodność w komunikacji pomiędzy różnymi urządzeniami nawet pochodzącymi od różnych producentów. Nie jest wymagana hierarchia Master–Slave, ale bardzo ograniczony jest rozmiar danych przesyłanych siecią – czasy przesyłów danych są krótsze niż dla sieci polowych, ale odległości są mniejsze. Sieci można wykorzystywać do celów typowych dla wyższych poziomów, lecz ich efektywność jest wtedy znacznie mniejsza.

Przykładem protokołu LON jest LonTalk; powstał on w oparciu o model odniesienia OSI. Do jego najniższej (fizycznej) warstwy można zaliczyć definicję medium oraz połączenia układu z medium komunikacyjnym, przy czym topologia nie jest z góry narzucona. Najwyższa (aplikacyjna) warstwa definiowana jest przez projektanta węzła sieci. LonWorks został uznany przez ANSI za standard w zakresie automatyzacji budynków.

Sieci dedykowane

Są to specjalizowane typy sieci przeznaczone do jednego specyficznego zadania poprzez zapewnienie wymaganych parametrów kosztem innych, w tym przypadku niepotrzebnych. Sieć może posiadać bardzo dużą prędkość na niewielkim obszarze lub odwrotnie. Jest tu wiele możliwych zastosowań w zależności od przeznaczenia, rodzaju medium itd. Sieci te wykorzystywane są przy kontroli poruszania się, sterowaniu silnikami, oświetleniu budynków, automatyce pojazdów ruchomych, technikach pomiarowych, samolotach, układach sterowania. Jednym z przykładów jest sieć CAN (Controller Area Network), która od postaci sieci dedykowanej dla obiektów ruchomych rozwinęła się już w sieć przemysłową. Spowodowało to, że standard sieci CAN nie jest jednoznacznie zdefiniowany - wyróżnia się w nim kilka typów, np.: SDS, DeviceNet, CAN Kingdom. Zawierają one poziomy fizyczny i danych opisujące kilka różnych typów danych, różne zasady dostępu do łącza, wykrywania i korekcji błędów.

Sieć CAN opiera się na 4 typach ramek:

- dane: "Do wszystkich. Tu są dane X",
- pytanie: "Do wszystkich, czy ktoś może wysłać dane X?",
- błąd,
- przeciążenie.

Protokół CAN jest oparty na ISO (standard ISO 11898) dla transmisji szeregowej. Sieć CAN może pracować jako Master–Slave, a także Producent–Konsument dla przesyłów pomiędzy modułami.

Innym podziałem sieci jest podział według dostępu do łącza i zarządzania wymianą informacji. Dla sieci przemysłowych stosuje się tu 3 typy rozwiązań:

MASTER–SLAVE: sieci z wyróżnioną jedną stacją nadzorczą,

TOKEN–BUS: sieci z wszystkimi abonentami równouprawnionymi,

PDC (Producent–Dystrybutor–Konsument): sieci o kierowanym ruchu.

Sieci typu TOKEN–BUS (N10, N80 – Genius)

Każda stacja jest równouprawniona; o tym, kto nadaje ramki, decyduje posiadanie żetonu, po ściśle określonym czasie stacja musi odesłać żeton do następnego abonenta. Jest to mechanizm kontroli czasu nadawania stosowany, aby nie dopuścić do monopolizacji sieci przez jednego z abonentów, a co za tym idzie – zagwarantować czas dostępu do łącza wszystkim abonentom w sieci.

W protokole dostępu do łącza wyróżnia się dwa typy ramek:

- dwubajtowe ramki serwisowe, do których należy tzw. żeton,
- wielobajtowe ramki danych.

Sieci typu MASTER–SLAVE (Modbus, Profibus)

W tego rodzaju sieciach tylko stacja abonencka Master może rozpocząć proces wymiany informacji. Dopuszcza się dwa typy wymian:

- „zapytanie – odpowiedź". Jest to wymiana informacji z jedną wybraną stacją Slave,
- „rozgłoszenie". Jest to wymiana z wszystkimi abonentami.

Stacja Slave nie może się komunikować z inną stacją Slave bez pośrednictwa Mastera. Związane jest to z pierwotnym przeznaczeniem sieci – do zbierania informacji w centralnym punkcie. W przypadku konieczności przesyłania danych pomiędzy stacjami Slave sieć jest mało wydajna. Stacje typu Master mają ponadto stały repertuar funkcji służących komunikacji. Istnieje również szereg wielkości (cech charakterystycznych), które podlegają parametryzacji. Do nich można zaliczyć prędkość transmisji, typ kontroli parzystości, liczbę bitów stopu, tryby transmisji, liczbę abonentów (1 do 63 stacji Slave).

Sieci typu PDC (FIP, CAN)

Są to sieci oparte na modelu Producent–Dystrybutor–Konsument. Dystrybutor, czyli arbiter magistrali, realizuje trzy podstawowe funkcje:

- periodyczny odczyt zmiennych,
- odczyt zmiennych na żądanie,
- transmisja na żądanie komunikatów.

W sieciach nie adresuje się abonentów, lecz dane. Do medium podłączeni są abonenci, każdy z nich ma listę zmiennych, które wytwarza i których potrzebuje. Na medium pojawiają się ramki „potrzebna zmienna X", następnie stacja produkująca zmienną X wysyła ją na magistralę i wszyscy potrzebujący mogą **jednocześnie** pobrać dane z sieci. Dzięki temu jest zachowana czasowa zgodność i spójność produkcji danych. Bardzo ważną sprawą jest to, że przy uaktualnianiu danych nie są potrzebne wymiany pomiędzy stacjami, tak jak jest to potrzebne dla sieci Master–Slave. Dzięki temu sieć typu PDC posiadająca znacznie mniejszą prędkość transmisji danych będzie miała znacznie krótszy czas wymiany informacji niż inne typy sieci.

3. Cele, sposoby i wymagania integracji

Wraz ze wzrostem liczby abonentów i rozległością systemu sieciowego czas realizacji programu użytkowego zaczyna mieć istotne znaczenie dla sprawnego realizowania procesów sterowania odbywających się na obiekcie, a więc należy poszukiwać granicy zakresu stosowalności łączenia sieci, tak aby był prawidłowo realizowany proces sterowania obiektem.

Głównym celem integracji jest uzyskanie możliwości gromadzenia danych z różnych sieci celem uzyskania informacji do prawidłowego sterowania i monitorowania procesów przemysłowych. Bardzo ważne jest też utrzymanie dotychczasowych parametrów sieci, takich jak szybkość działania, możliwość zmiany parametrów, łatwa rozbudowa, otwartość, niezawodność, redundancja, mechanizmy kontroli komunikacji i gwarantowany czas wymiany informacji. Widać, że jest dość trudne, biorąc pod uwagę różnorodność sieci przemysłowych, aby w przypadku ich połączenia była możliwość wykorzystywania wszystkich cech integrowanych sieci. Konieczne byłoby wtedy posiadanie modułów sieci umożliwiających obsługę wykorzystywanych mediów i protokołów przez sterowniki, a także odpowiednie oprogramowanie umiejące dane z każdej z sieci odpowiednio przesłać do innej. Mogą się tu pojawić problemy związane z typem danych (bit, bajt, słowo, grupa słów), typem wymiany (odczyt słowa, bitu, grupy słów, zapis słowa, bitu, grupy słów), liczbą wymian i skomplikowanym sposobem adresowania poszczególnych sterowników dla przesyłów międzysieciowych. Niektóre sieci adresują abonentów, inne informacje. W sieci MODBUS nie ma możliwości adresacji pośredniej, w ramce jest miejsce na adres sterownika, ewentualny adres segmentu należałoby obsługiwać programowo. Nawet jednak w sieciach

posiadających złożoną adresację przewidującą segmentację nie zawsze jest ona w pełni wystarczająca. W standardzie sieci FIP jest określone, że sieć może adresować dane jako <SEGMENT:ADRES>. Obowiązuje to jednak tylko dla wymian komunikatów. Przesyły danych nie mogą wychodzić poza segment.

Wiadomo, że wraz ze wzrostem liczby abonentów i rozległością zintegrowanego systemu sieciowego czas wymiany informacji będzie coraz większy. Składa się na niego czas realizacji programu użytkowego poprzez abonentów (sterownik), czas potrzebny na obsługę sieci poprzez moduł komunikacyjny i zależności wynikające z protokołu transmisji. Opóźnienia wynikające z integracji mogą spowodować niemożność sprawnego realizowania procesów sterowania odbywających się na obiekcie.

Wymiany informacji w sieciach można podzielić ze względu na kryterium czasowe na wymiany poziome i pionowe. Wymiany poziome dotyczą najniższego poziomu sieci i polegają na monitorowaniu, sterowaniu i kontroli działania urządzeń. Są one krytyczne czasowo dla pracy systemu i musi być zachowany gwarantowany czas wymiany informacji.

Drugim typem wymian są wymiany pionowe odbywające się pomiędzy sieciami przemysłowymi a lokalnymi. Polegają one na monitorowaniu, zbieraniu informacji, gromadzeniu raportów i tworzeniu archiwów oraz baz danych na temat pracy systemu. Informacje tu zgromadzone mogą być udostępniane w sieciach lokalnych. Innym zastosowaniem jest parametryzacja pracy. Wymienione tutaj wymiany nie muszą spełniać wymogów czasu gwarantowanego.

3.1. Parametry sieci

Jak ocenić, czy sieć zintegrowana spełnia wymagane warunki i jakie one powinny być? Można wymienić najważniejsze z nich [17]:

- czas cyklu sieci: czas pomiędzy kolejnymi dostępami tego samego abonenta w sieci,
- czas wymiany informacji: wymiana całej informacji pomiędzy wszystkimi abonentami w sieci – jest wielokrotnością czasu cyklu sieci (od 1 do n cykli sieci),
- czas dostępu do łącza: maksymalny czas, po którym abonent na pewno będzie miał możliwość wysłania przynajmniej części danych,
- przepustowość sieci: liczba danych użytkowych w pojedynczej transakcji wymiany/ całkowity czas pojedynczej transakcji wymiany [kb/s],
- sprawność sieci: czas transmisji danych użytkowych w pojedynczej transakcji wymiany / całkowity czas pojedynczej wymiany x 100 [%].

3.2. Sieci przemysłowe a standard ISO/OSI

W sterowaniu i zarządzaniu procesami technologicznymi stosuje się różnego rodzaju sieci komputerowe. Powstaje pytanie, czy sieci te respektują warstwowy model sieci OSI/ISO.

Warstwy: fizyczna i łączenia są realizowane przez koprocesory lub specjalizowane moduły komunikacyjne. Natomiast pozostałe warstwy są realizowane przez jednostki centralne, współpracujące z koprocesorami sieci. Realizacja wyższych warstw odbywa się zazwyczaj na drodze programowej. Można sieci łączyć na różnych poziomach w zależności od oczekiwanego celu. Integracja w obrębie:

- warstwy fizycznej (repeater) – powoduje przedłużenie terytorialne sieci, w sieci są te same parametry transmisji, segmenty są najczęściej widziane jako jedna sieć logiczna, występują w takim przypadku trudności dla niektórych typów sieci, np. Master–Slave,
- warstwy logicznej (bridge, router) – umożliwia stosowanie różnych parametrów transmisji, separację fizyczną segmentów, występuje opóźnienie związane z oprogramowaniem w routerze,
- warstwy aplikacji (gateway) – daje pełną dowolność łączenia, powoduje znaczne spowolnienie pracy połączonych sieci.

3.3. Integracja sieci

Jednym z przypadków, kiedy konieczne jest zastosowanie różnych typów sieci przemysłowych, jest sytuacja, gdy na obiekcie występuje kilka grup wejść o różnych własnościach. I tak występują stany urządzeń pomiarowych, które należy bardzo szybko udostępnić innym sterownikom, jak również pomiary o mniejszym znaczeniu, aczkolwiek co pewien okres czasu konieczne. Zastosowanie tu tylko jednego typu sieci spowoduje utratę jej zalet związanych z szybkością działania kosztem ilości przesyłanych informacji lub może okazać się, że sieć np. MODBUS nie jest w stanie zapewnić żądanego czasu wymiany informacji.

Są też przypadki, że do istniejącej i pracującej sieci należy dołączyć nowe wymiany danych, ale tak, aby nie zmienić parametrów działania istniejącej sieci.

Można wyróżnić kilka typów integracji:

- pełne połączenie sieci (wymiany w obie strony),
- buforowanie stanów jednej sieci w urządzeniu pośredniczącym (osobne wymiany w obrębie każdej sieci),
- integracja na poziomie sieci lokalnej (informacje są zbierane na wyższy poziom),
- integracja przy ograniczeniach (abonenci, typy danych, niepełny protokół).

Opis powyższych rozwiązań i ich ocena zawarta jest w pracy [6].

Generalnie można powiedzieć, że integracja musi zostać zrealizowana w sposób sprzętowy albo programowy. Dokonując integracji programowo, powodujemy wydłużenie czasu cyklu jednostki centralnej sterownika i koprocesora, co wynika z cyklu pracy sterownika, przez co czas obsługi może się okazać zbyt długi. Sposób ten nadaje się do integracji sieci wolniejszych (o czasach wymian powyżej 20 ms), dla szybkich jest nieodpowiedni. Sieć FIP dokonuje wymiany całej informacji w czasie ok. 5 ms, w dodatku pozwala na uaktualnienie większej ilości sterowników jednocześnie. Jeżeli sterownik ma czas cyklu programu rzędu 10 ms, to widać, że nawet gdyby obsługa integracji była niewielka, otrzymujemy trzykrotne spowolnienie całej sieci. W takich przypadkach należy zastosować integrację sprzętową, tzn. specjalizowany moduł przygotowany do pracy z siecią FIP i posiadający odpowiednią logikę, aby prawidłowo obsługiwać integrację. Karta specjalizowana pracuje jako router dla sieci FIP. Do połączenia sieci FIP z inną siecią wymagana jest inna karta specjalizowana. Widać, że zastosowania sprzętowej integracji są ograniczone, trudno wyobrazić sobie istnienie karty łączącej wszystko ze wszystkim z zachowaniem wymogów czasowych.

Sposób programowej integracji jest możliwy do realizacji wszędzie, ale powstaje pytanie, czy będzie spełniał wymogi czasowe.

Ważnymi elementami przy integracji są moduły koprocesorów (koprocesory sieci i arytmetyczne). Za ich pomocą można przygotować integrację programową z niewielkim udziałem procesora. Należy jednak pamiętać o tym, że w zależności od typu i producenta urządzenia te posiadają inne parametry, np. czas detekcji i obsługi ramki waha się w granicach od 20 ms do 1000 ms, koprocesor arytmetyczny ma tylko jeden dostęp (odczyt lub zapis) do pamięci podczas cyklu sterownika.

4. Pomiary sieci

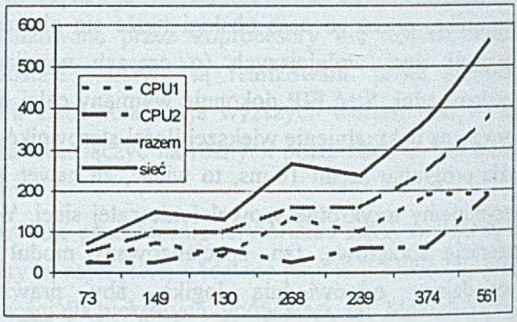
Istotne jest znalezienie wpływu czasów związanych z integracja na czas wymiany informacji. Do tych czasów należą czas cyklu sterownika (programem), czas pracy koprocesorów i wreszcie parametry transmisji. Dokonane zostały badania laboratoryjne kilku sieci przemysłowych (MODBUS, N10, N80, FIP) z systemem wizualizacji i archiwizacji zdarzeń KRONOS [18] pracującym pod kontrolą systemu operacyjnego Windows NT.

4.1. Sieć N 80

Dokonano badań czasów przesyłów dla sieci typu Token-Bus składającej się z 2 sterowników ALSPA 80-35 dla transmisji danych z potwierdzeniem (CPU1 – czas cyklu dla pierwszego sterownika, CPU2 – czas cyklu drugiego). Testowano transmisje 64 słów

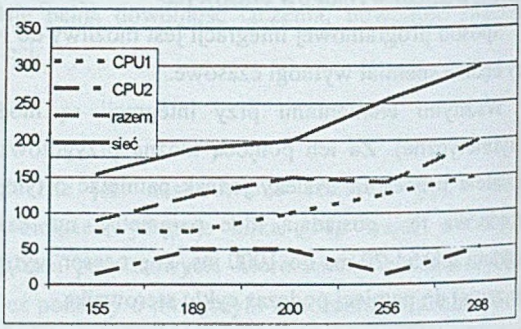
z potwierdzeniem i 3 słów z potwierdzeniem dla różnych czasów cyklu sterowników. Wszystkie czasy w ms.

CPU1	CPU2	Razem	Czas sieci
25	25	50	73
75	25	100	149
40	60	100	130
190	60	250	374
135	25	160	268
100	60	160	239
190	190	380	561



Rys. 2. Wpływ czasu cyklu sterownika na czas sieci N80 dla wymiany 64 słów
Fig. 2. Influence of PLC time on N80 network time for transmission of 64 words

CPU1	CPU2	Razem	Czas sieci
128	15	143	256
75	15	90	155
50	15	65	99
50	50	100	143
75	50	125	189
100	50	150	200
150	50	200	298



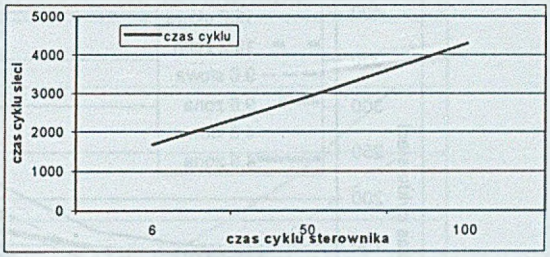
Rys. 3. Wpływ czasu cyklu sterownika na czas sieci N80 dla wymiany 3 słów
Fig. 3. Influence of PLC time on N80 network time for transmission of 3 words

Widać, że wydłużenie czasu wykonywania programu powoduje zwiększenie czasu cyklu. Sieć N80 jest siecią typu TOKEN-BUS i działa niezależnie od jednostki centralnej sterownika. Jednakże do wykorzystania danych (potwierdzenie) muszą one zostać dostarczone do pamięci sterownika, a ta operacja powoduje konieczność dopasowania się koprocesora do cyklu wykonywania programu.

4.2. Sieć MODBUS

Parametry badanej sieci: tryb RTU, 19200 bit/s, 20 abonentów. Wymiany w sieci polegały na przesyle 20 słów do każdego abonenta, Master: program Kronos o czasie cyklu 1ms, Slave: sterownik ALSPA 80-35.

Cykl slave	Czas cyklu
6	1680
50	2917
100	4305



Rys. 4. Wpływ czasu cyklu sterownika na czas sieci MODBUS
Fig. 4. Influence of PLC time on MODBUS network time

Dla sieci MODBUS widać wpływ czasu programu na cykl sieci. Związane jest to głównie z koniecznością pobierania danych przez koprocesor ze wspólnej pamięci, do której jest limitowany dostęp.

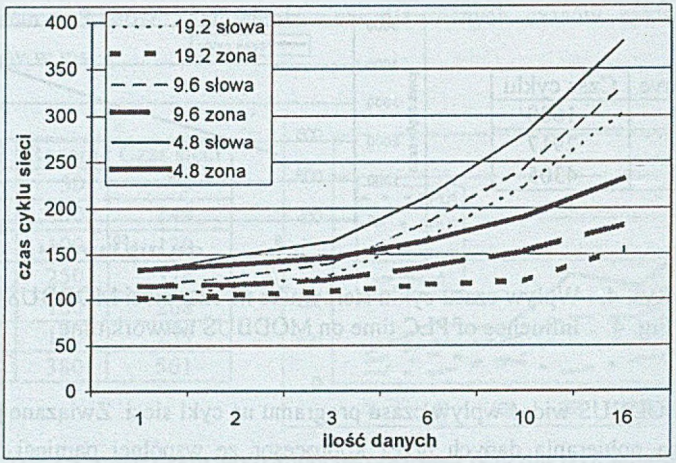
Wymiana pomiędzy sterownikami Master C100, Slave C50 BASIC.

Wpływ ilości danych, szybkości transmisji (19200 b/s, 9600 b/s i 4800 b/s) i sposobu obsługi koprocesorów na czas sieci przedstawia tabela 1. Przesył danych (Tcyklu A = 3.3 ms Tcyklu B = 3.8 ms). Dostęp do pamięci był realizowany albo przez odczyt pojedynczych słów, albo odczyt strefy (zony) – 16 kolejnych słów jednocześnie (tabela 1).

Tabela 1

Wpływ ilości przesyłanych danych na czas cyklu sieci dla różnych prędkości

Ilość danych	Czas sieci (słowa) 19200 b/s	Czas sieci (strefa) 19200 b/s	Czas sieci (słowa) 9600 b/s	Czas sieci (strefa) 9600 b/s	Czas sieci (słowa) 4800 b/s	Czas sieci (strefa) 4800 b/s
1	100	101	115	114	131	133
2	114	105	125	116	149	139
3	127	109	140	122	164	146
6	168	168	185	136	213	165
10	224	120	244	153	281	191
16	304	155	332	182	379	231



Rys. 5. Wpływ sposobu i ilości przesyłanych danych na czas cyklu sieci
Fig. 5. Influence of type and amount data on network time

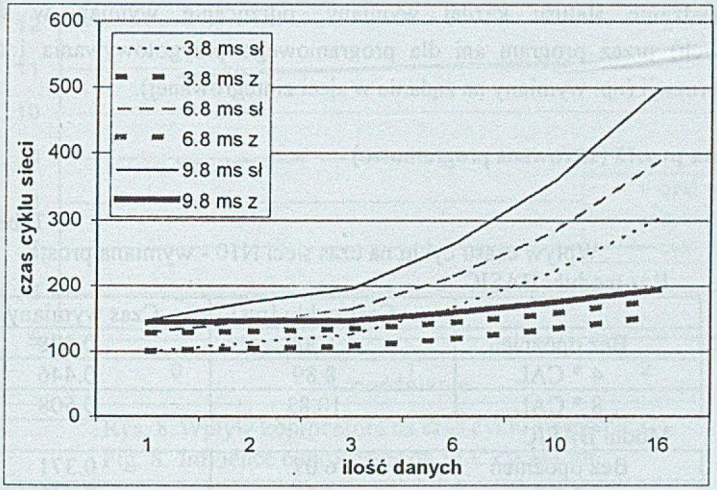
Widać, że szybkość transmisji nie wpływa w znaczący sposób na czas wymiany, dużo ważniejszy jest sposób dostępu koprocesora do pamięci. W miarę zwiększania się ilości danych czas wymiany jest coraz większy.

Wpływ ilości danych, czasu programu jednostki centralnej i sposobu obsługi koprocesorów na czas sieci (czas cyklu sterownika A=3.3ms, czas cyklu sterownika B=TcB w tabeli 2) przedstawia tabela 2.

Tabela 2

Wpływ ilości przesyłanych danych na czas cyklu sieci dla różnych czasów cyklu sterownika

Ilość danych	Czas sieci (słowa) TcB=3.8	Czas sieci (strefa) TcB=3.8	Czas sieci (słowa) TcB=6.8	Czas sieci (strefa) TcB=6.8	Czas sieci (słowa) TcB=9.8	Czas sieci (strefa) TcB=9.8
1	100	101	129	128	149	145
2	114	105	146	131	176	147
3	127	109	165	135	196	148
6	168	120	215	145	265	160
10	224	135	285	159	361	176
16	304	155	390	180	498	195



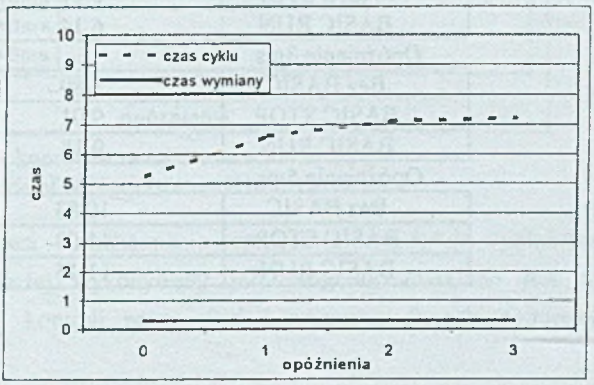
Rys. 6. Wpływ ilości przesyłanych danych na czas cyklu sieci
Fig. 6. Influence of number of data on network time

Wydłużenie czasu programu prowadzi do wydłużenia czasu wymiany. W tym przypadku znowu istotny jest sposób dostępu koprocesorów do pamięci.

4.3. Sieć N10

Wymiana transparentna (autonomiczna dla koprocesora) - wysyłanie 1 słowa w trybie rozgłoszenia (CAL – rozkaz mnożenia użyty jako opóźnienie wykonywania programu, BASIC – koprocesor arytmetyczny).

	Czas cyklu [ms]	Czas wymiany [s]
Bez opóźnień	5.26	0.30
4xCAL (3ms)	6.62	0.30
8xCAL (5ms)	7.12	0.35
8*CAL +BASIC	7.23	0.35



Rys. 7. Czas cyklu i czas sieci dla wymiany transparentnej dla sieci N10
Fig. 7. PLC time and network time for N10 transparent exchange

Dla pracy autonomicznej przy braku programowej obsługi sieci nie widać wpływu czasu wykonywania programu na czas sieci. Niestety, nie może to mieć miejsca dla kontroli pracy

sieci (sprawdzanie statusu każdej wymiany, odrzucanie wymian w danej chwili niepotrzebnych) przez program ani dla programowego przygotowywania i uruchamiania wymian informacji (np. wymiany na żądanie w sieci zintegrowanej).

Wymiana prosta (sterowana programowo)

Tabela 3

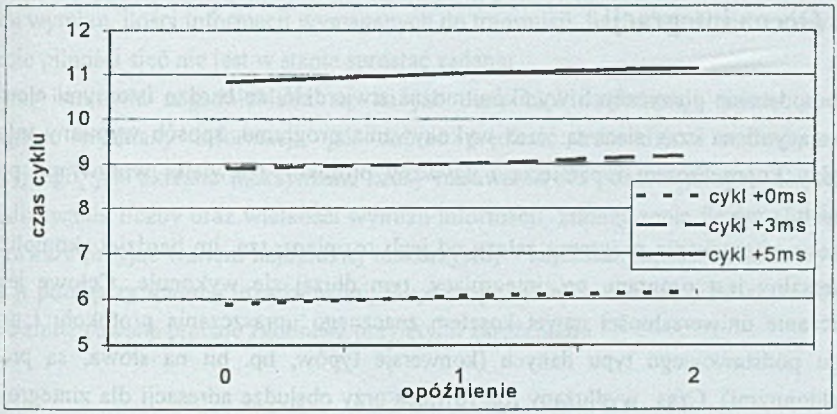
Wpływ czasu cyklu na czas sieci N10 - wymiana prosta

	Czas cyklu [ms]	Czas wymiany [s]
Bez modułu BASIC		
Bez opóźnień	5.88	0.378
4 * CAL	8.89	0.446
8 * CAL	10.83	0.508
Moduł BASIC		
Bez opóźnień	6.07	0.371
4 * CAL	9.01	0.446
8 * CAL	11.03	0.503
Moduł BASIC DZIAŁA		
Bez opóźnień	6.14	0.396
4 * CAL	9.18	0.478
8 * CAL	11.15	0.582

Tabela 4

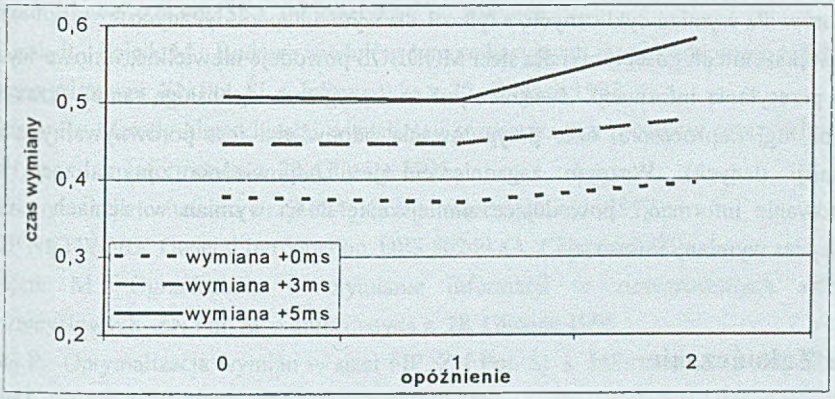
Wpływ koprocesorów na czas cyklu sieci N10 - wymiana prosta

	Czas cyklu [ms]	Czas wymiany [s]
Bez opóźnień		
Bez BASIC	5.88	0.378
BASIC STOP	6.07	0.371
BASIC RUN	6.14	0.396
Opóźnienie 3ms		
Bez BASIC	8.89	0.446
BASIC STOP	9.01	0.446
BASIC RUN	9.18	0.478
Opóźnienie 5ms		
Bez BASIC	10.83	0.508
BASIC STOP	11.03	0.503
BASIC RUN	11.15	0.582



Rys. 8. Wpływ koprocesora na czas cyklu sterownika
Fig. 8. Influence coprocessor on PLC cycle time

Wpływ koprocesorów na cykl automatu – zgodnie z cyklem pracy sterownika jest niewielki.



Rys. 9. Wpływ koprocesora na czas sieci N10
Fig. 9. Influence of coprocessor on N10 network time

Wpływ koprocesorów na cykl sieci – uruchomienie koprocesorów powoduje wydłużenie czasu sieci tym większe, im dłużej wykonywany jest program. Związane jest to m.in. z koniecznością programowej kontroli pracy sieci i wymianą danych pomiędzy koprocesorem a pamięcią sterownika.

5. Ocena integracji

Na podstawie powyższych wyników można stwierdzić, że bardzo istotnymi elementami wpływającymi na czas sieci są: czas wykonywania programu, sposób wymiany informacji pomiędzy koprocesorem i pamięcią i używany protokół. Niewielki wpływ ma prędkość transmisji.

Czas wykonywania programu zależy od jego rozmiaru, tzn. im bardziej skomplikowany i uniwersalny jest program, np. integrujący, tym dłużej się wykonuje. Celowe jest więc ograniczanie uniwersalności nawet kosztem znacznego upraszczania protokołu i przyjęcie jednego podstawowego typu danych (konwersje typów, np. bit na słowa, są procesami czasochłonnymi). Czas wydłużany jest również przy obsłudze adresacji dla zintegrowanych sieci. Niestety, tylko kilka typów sieci posiada w protokole możliwość adresacji różnych segmentów.

Sposób dostępu koprocesorów do pamięci zależy od głównie od producenta. Można próbować go optymalizować poprzez wykorzystywanie określonych typów wymian, np. cyklicznych, dokonywanych bez udziału procesora. W sieci N10 koprocesor posiada 8 buforów dla wymian cyklicznych, a tylko 1 dla wymian aperiodycznych.

Zwiększenie długości ramki dla sieci MODBUS powoduje niewielkie, liniowe wydłużenie czasu przesyłania informacji. Związane jest to z programową obsługą ramek (czas detekcji, czas obsługi koprocesora, czas przygotowania odpowiedzi jest porównywalny z czasami transmisji danych). Ważnym zagadnieniem jest odpowiednia optymalizacja wymian i grupowanie informacji, powodujące zmniejszenie ilości wymian w sieciach, co z kolei skraca czas wymiany informacji.

6. Zakończenie

Przedstawione powyżej czasy trwania wymian są uzależnione od liczby przesyłanych danych, granicznego czasu oczekiwania na dane, ilości abonentów w sieciach. Widać więc, że nie jest możliwa jednoznaczna odpowiedź, jaki sposób integracji jest najlepszy – będzie to zależało od zbyt wielu czynników. Do nich należą np. uwarunkowania wypływające z technologii sterowanego obiektu. Analiza tej grupy czynników da odpowiedź na pytania związane z liczbą danych transmitowanych w sieci oraz określi pilność poszczególnych wymian informacji. Na tej podstawie zostaną określone zależności czasowe. Czas cyklu rzutuje na podjęcie decyzji o przydatności określonej sieci dla realizacji zadania. Może się bowiem okazać, że przy przyjętych założeniach dotyczących liczby abonentów, liczby

żądanych wymian, ilości informacji wymaganych do transmisji, liczby wymian o najwyższym priorytecie pilności sieć nie jest w stanie sprostać zadaniu.

Innymi istotnymi zagadnieniami są: na jak duże bloki informacji należy podzielić poszczególne wymiany informacji, jak dobrać prędkość transmisji i rodzaj medium transmisyjnego, jak określić maksymalne czasy nadawania dla poszczególnych abonentów, zminimalizowania liczby oraz wielkości wymian informacji, zmniejszenia liczby abonentów. Należy zawsze przyjąć wariant najbardziej niekorzystny - najdłuższy możliwy czas wymiany informacji pomiędzy dwoma urządzeniami. Dopiero po takiej analizie można stwierdzić, że dana sieć zintegrowana pracuje zgodnie z przyjętymi założeniami.

LITERATURA

1. Bigewski Z.: Optymalizacja pracy sieci przemysłowych. ZN Pol. Śl., s. Informatyka z. 28, Gliwice 1995.
2. Caban D., Fojcik M., Małysiak H., Zieliński B.: System transmisji radiowej dla sieci przemysłowej. ZN Pol. Śl. s. Informatyka z. 32, Gliwice 1997.
3. Cupek R., Fojcik M.: Budowa modułów komunikacyjnych stacji nadzorczej z sieciami przemysłowymi. ZN Pol. Śl. s. Informatyka z. 32, Gliwice 1997.
4. Cupek R.: Metody hierarchizacji wizualizacji rozproszonych procesów przemysłowych. ZN Pol. Śl. s. Informatyka z. 28, Gliwice 1995.
5. Dokumentacja techniczna stacji RM_IO 32; Proloc, Katowice 1997.
6. FIP NETWORK General Introduction, DPS 50249 aA, Clamart 1990.
7. Fojcik M.: Ograniczenia w wymianie informacji w zintegrowanych sieciach przemysłowych. ZN Pol. Śl. s. Informatyka z. 28, Gliwice 1995.
8. Gaj P.: Optymalizacja wymian w sieci FIP. ZN Pol. Śl. s. Informatyka z. 32, Gliwice 1997.
9. GD2000E User Manual; DPS 51374 c–en, Clamart 1997.
10. Grzywak A. i in.: Rozproszone systemy komputerowe, Pronet, Gliwice 1994.
11. Grzywak A. i in.: Rozwiązania sprzętowe i programowe sieci przemysłowej FIP. ZN Pol. Śl. s. Informatyka z.30, Gliwice 1996.
12. Grzywak A.: Problemy integracji sieci komputerowych. ZN Pol. Śl. s. Informatyka z. 23, Gliwice 1993.
13. Klubowe materiały szkoleniowe; WorldFip, Clamart 1995, 1996, 1997, 1998.
14. Kwiecień A., Gaj P., Grzywak A., Mrówka Z.: Rozwiązania sprzętowe i programowe sieci przemysłowej FIP. ZN Pol. Śl. s. Informatyka z. 30, Gliwice 1996.

15. Kwiecień A., Gaj P., Mrówka Z.: Optymalizacja wymian w sieci FIP. ZN Pol. Śl. s. Informatyka z. 32, Gliwice 1997.
16. Kwiecień A., Gaj P.: Sieć FIP, wstęp do analizy czasowej. ZN Pol. Śl. s. Informatyka z. 28, Gliwice 1995.
17. Kwiecień A.: Analiza przepływu komunikatów w komputerowych sieciach przemysłowych, praca habilitacyjna, Politechnika Śląska, Gliwice 1998.
18. Kwiecień A.: Sieć rozległa FIP. ZN Pol. Śl. s. Informatyka z. 24, Gliwice 1993.
19. System KRONOS v.2.0 – podręcznik użytkownika; Proloc, Katowice 1997.
20. ZS. System Product Description Manual. Communications networks. Dokumentacja techniczna. CPS Massy 1991.

Recenzent: Dr inż. Andrzej Białas

Wpłynęło do Redakcji 14 kwietnia 1999 r.

Abstract

The communication between different types and branches of industrial networks is presently a very big problem. Each designer or telecommunication engineer must solve a problem with speed and big numbers of data that are circulating in network. Sometimes, the engineer must integrate two different types of networks in one very large system. There are a lot of troubles with methods of addressing subscribers, using proper protocol and hardware. This paper shows influence of known parameters (PLC time, communications between coprocessor and memory, type of protocols) on efficiency of integrated network.