

Zbigniew BIGEWSKI

WYBRANE ELEMENTY OPTYMALIZACJI PRACY SIECI PRZEMYSŁOWYCH

Streszczenie. Publikacja przedstawia kilka sposobów optymalizacji wymian w sieciach przemysłowych o różnych protokołach dostępu do łącza. Na początku omówiono w skrócie trzy standardy sieci przemysłowych firm CEGELEC i GENERAL ELECTRIC, tj. Modbus, N80 i N10. Opisane metody optymalizacji wymian wynikają z doświadczeń nabytych w trakcie aplikacji tych sieci na obiektach w kraju i za granicą.

OPTIMIZATION OF EXCHANGES IN INDUSTRIAL NETWORKS

Summary. In this paper few ways of optimization exchanges in industrial networks are presented. First three standards of CEGELEC and GENERAL ELECTRIC industrial networks are described. These optimization methods this is result of experience with networks in polish and foreigners plants.

OPTIMALISATION DES ECHANGES DANS LES RESEAUX INDUSTRIELS

Résumé. La publication presente quelqun des possibilites d'optimalisation des echanges dans les reseaux industriels qui posedent des differents protocoles d'accès a la jonction. Du debut on a discute, en abrege, les trois standards des reseaux industriels de CEGELEC et GENERAL ELECTRIC, c'est a dire MODBUS, N80 ET N10. Les methodes d'optimalisation des echanges resultent des experiences acguis au cours des reseaux des applications ces reseaux clans les objects eu Pologne et a l'etranges.

1. Opis wybranych sieci przemysłowych

1.1. Sieć Modbus

Wymiana danych w sieci typu N-BUS odbywa się zawsze za pośrednictwem wyszczególnionego urządzenia zwanego Master, którym może być sterownik wyposażony w moduł sieciowy typu "master". Nie jest wymagane, by urządzeniem typu Master był koniecznie sterownik, może to być również inteligentny terminal lub odpowiednio oprogramowany komputer. Wymiana danych może się odbywać pomiędzy Master'em a dowolnym sterownikiem w sieci. W przypadku transmisji do kilku sterowników, tzw. tryb rozgłaszania, poszczególne sterowniki nie wysyłają potwierdzenia poprawności odbioru danych.

Jeżeli informacja jest kierowana do konkretnego abonenta w sieci, to zawsze wysyła on do urządzenia Master odpowiedź bądź potwierdzenie odbioru danych. Możliwe jest więc transmitowanie w dwóch trybach:

- najpierw wysyłane jest żądanie, a następnie otrzymuje się odpowiedź,
- wysyłane jest polecenie i otrzymuje się potwierdzenie przyjęcia.

Wymiana danych z jednym abonentem, taka jak odczyt danych, odbywa się w trybie żądanie/odpowiedź, czyli urządzenie Master wysyła żądania transmisji określonej porcji danych, a wyszczególniony abonent w odpowiedzi wysyła te dane.

Jeżeli chodzi o zapis informacji do określonego sterownika, to urządzenie Master inicjuje transmisję typu polecenie/potwierdzenie. Innymi słowy, urządzenie Master wysyła dane wraz z adresem określonego sterownika i czeka na potwierdzenie przyjęcia tych danych.

W obydwu omówionych przypadkach wymagana była reakcja abonenta w formie transmisji danych lub ramki potwierdzenia.

Jeżeli urządzenie Master transmituje dane w trybie rozgłoszeniowym (do kilku abonentów równocześnie), nie jest wymagana żadna reakcja sterownika. W szczególności wysłanie informacji do sterownika uszkodzonego lub nie istniejącego nie zostaje zinterpretowane jako sytuacja nieprawidłowa.

1.2. Sieci typu Token-Ring

W zastosowaniach przemysłowych sieci lokalne magistralowe typu TOKEN RING są dedykowane komunikacji pomiędzy wieloma abonentami dając gwarancję dużej niezawodności transmisji. Ponadto sieci te cechują się dużą jak na zastosowania przemysłowe prędkością transmisji.

Abonent posiadający żeton znając numer własny i kolejny numer następnego abonenta przesyła do niego żeton. Jeśli nie uzyska potwierdzenia przyjęcia żetonu, zapamiętuje numer

nieobecnego abonenta i przesyła go do następnego. Czynność ta powtarza się, aż do uzyskania potwierdzenia przyjęcia żetonu. Abonent, który przesłał potwierdzenie przyjęcia żetonu, jest uważany za "następnego" w sieci, a numery wszystkich poprzednich, którzy nie przestali potwierdzenia przyjęcia żetonu, są zapamiętane, a odpowiadający im abonenci są uważani za "nieobecnych". Każdy nieobecny abonent tworzy w strukturze sieci "dziurę".

Analizując cykl pracy sieci z przekazywaniem żetonu wybrano dwie sieci tego typu, tj. sieć N-10 zaimplementowaną w sterownikach przemysłowych C-100, C50 firmy CEGELEC, oraz sieć N80 zaimplementowaną w rodzinie sterowników ALSPA 8000 oraz sterownikach firmy GE-Fanuk. Mimo iż obie sieci realizują procedurę przekazywania żetonu, to jednak istnieją między nimi dość znaczne różnice. Sieć N-10 jest siecią pozwalającą na przesył większej ilości informacji, a ponadto posiada bardzo rozbudowane rodzaje wymian. Jest to sieć pozwalająca na łączenie sterowników w grupy, a tym samym na selekcjonowanie przesyłanych informacji. Wymiany mogą odbywać się cyklicznie według zaprogramowanego scenariusza oraz mogą być wyzwalane przez program jednostki centralnej. Ponadto wymiany mogą mieć różne priorytety, mogą wymagać specjalnych potwierdzeń lub nie oraz możliwe jest inicjowanie transmisji z innego sterownika, tzn. żądanie odczytu danych.

W porównaniu z siecią N-10 sieć N80 jest stosunkowo prosta, ale prostota ta daje jednak niezaprzeczalne korzyści. Wszystkie wymiany w sieci N80 są wymianami typu rozgłoszenie, czyli odbieranymi przez wszystkich abonentów równocześnie i bez potwierdzenia odbioru. Sieć ta jest siecią szybką, gdyż standardowa prędkość transmisji wynosi 153.6 Kb. Podstawową zaletą tej sieci jest to, że każda informacja przesyłana jest w każdym cyklu sieci, co oznacza, że do przesyłu wszystkich danych wystarcza jeden obieg żetonu. Upraszcza to znacznie obliczenia związane z określeniem czasu cyklu sieci. Sieć ta najlepiej spełnia swe zadanie w sytuacjach, gdzie nie ma zbyt dużo danych do przesłania, a wymiany powinny być realizowane szybko. Dla przykładu, gdy w sieci mamy osiem sterowników, z których każdy wysyła 24 bajty, to przy standardowej prędkości czas cyklu sieci wynosi około 19ms. Dużym ograniczeniem jest fakt, że abonent może wysłać tylko 64 słowa i to łącznie do wszystkich abonentów.

2. Optymalizacja wymian w sieci Modbus

Pierwszym czynnikiem mającym wpływ na pracę sieci jest rodzaj wymian dokonywanych za pomocą tej sieci. Można wyróżnić w tym miejscu dwa główne typy transmisji:

1. wymiana periodyczna (cykliczna),
2. wymiana wyzwalana.

Główna różnica pomiędzy tymi wymianami kryje się w sposobie uaktywniania transmisji, dopiero konsekwencją tego jest odmienny przebieg realizacji wymian różnych typów.

W pamięci EEPROM koprocatora sieciowego Master'a znajduje się tablica wymian realizowanych w trakcie pracy sieci. Zawartość tej tablicy zostaje ustalona przez projektanta sieci.

Ogólnie rzecz ujmując, czas cyklu pracy sieci jest równy sumie czasów realizacji kolejnych wymian z tablicy wymian począwszy od wymiany 00 do wymiany oznaczonej jako ostatniej w tablicy. Przez realizację rozumie się jedną z niżej wymienionych akcji:

- transmisję polecenia lub żądania przez Master'a oraz odpowiedzi lub potwierdzenia od zaadresowanego Slave'a. Do czasu trwania tej akcji dolicza się w przypadku wymian periodycznych wartość periodu.
- wysłanie polecenia przez Master'a w trybie rozgłaszania oraz odczekanie czasu równego wartości parametru określonego jako czas oczekiwania po wymianie typu rozgłoszeniowego.
- ponawianie próby nawiązania poprawnego połączenia z abonentem w sytuacji, gdy ten nie odpowiada lub sygnalizuje błąd w odebranej ramce.
- brak akcji (zerowy czas przetwarzania wymiany) w sytuacji, gdy:
 1. koprocator napotka "nieaktywną" wymianę wyzwalaną,
 2. bieżąca wymiana jest wymianą cykliczną z abonentem uznawanym w bieżącym cyklu za "nieobecny" w sieci.

Podstawowym elementem wpływającym na czas cyklu pracy sieci jest konieczność synchronizacji pracy koprocatora sieciowego z cyklem pracy CPU. Wynika to z faktu, iż po każdym cyklu CPU znajduje się szczelina czasowa w cyklu pracy sterownika przeznaczona na obsługę koprocatorów sieciowych. Właśnie w czasie trwania tej szczeliny dokonywane są wymiany danych pomiędzy pamięcią RAM koprocatora a pamięcią CPU. Należy dodać, że w trakcie każdej szczeliny realizowana jest tylko jedna wymiana. Oznacza to, że koprocator musi oczekiwać na zakończenie cyklu CPU, aby zapisać następujące informacje:

- słowo raportu,
- dane odebrane od abonenta w trakcie realizacji funkcji odczytu,

oraz by odczytać następujące informacje:

- dane mające być przesłane do abonenta w trakcie realizacji funkcji zapisu.

Ponadto do realizacji wymiany wyzwalanej potrzebny jest pięciokrotny dostęp do pamięci CPU, aby:

- 1 - sprawdzić, czy istnieje żądanie nadania bieżącej wymiany wyzwalanej,
- 2 - zapisać znacznik przyjęcia przez koprocator żądania nadania bieżącej wymiany,
- 3 - pobrać potwierdzenie przez CPU przyjęcia znacznika,
- 4 - zapisać słowo raportu wymiany przez koprocator,
- 5 - ustawić przez koprocator znacznik dokonania wymiany oraz zapisania ważnego (dotyczącego ostatniej wymiany wyzwalanej) raportu wymiany.

Zatem czas realizacji wymiany wyzwalanej jest zwiększony o 5x (czas cyklu CPU) w stosunku do identycznej wymiany periodycznej z $\text{periodem} = 0 \text{ mS}$.

Ponieważ wszystkie wymiany realizowane są przez Mastera sieci, to optymalizacja pracy sieci zależy głównie od parametryzacji modułu Master i jednostki centralnej sterownika głównego. Aby realizacja wymian sieciowych odbywała się możliwie sprawnie, programista powinien przestrzegać następujących zasad:

- Mimo iż wymiany wyzwalane realizowane są wolniej niż periodyczne, należy wyodrębnić możliwie największą liczbę takich informacji, które mogą być wysyłane w trybie wyzwalanym. Są to z reguły dane lub polecenia wysyłane stosunkowo rzadko np. przesył parametrów procesu dla poszczególnych abonentów, nastawy regulacji, odczyty wartości raportowanych itp. Pozwala to odciążać sieć dla przesyłów danych pilnych lub szybkozmiennych.
- Dane dotyczące jednego abonenta powinny być przesyłane w jak najmniejszej liczbie porcji. Oznacza to, że należy grupować w pamięci abonentów informacje do przesyłu i transmitować je w dłuższej ramce.

Ważna jest też kolejność programowania wymian cyklicznych. Jeżeli arbiter sieci ma dokonać kilku wymian z danym abonentem, np. zapis i odczyt słów, to wymiany te nie powinny następować zaraz po sobie, gdyż po każdej wymianie abonent potrzebuje czasu na zinterpretowanie ramki, dostępu do pamięci jednostki centralnej i przygotowanie odpowiedzi. Jeżeli konieczne jest wysłanie do jednego abonenta polecenia zapisu i odczytu danych, to pierwsze powinno być polecenie odczytu, a następne zapisu, gdyż w tej kolejności operacje te są szybsze o jeden cykl jednostki centralnej odbiornika.

W przypadku kilku wymian periodycznych z jednym abonentem nie każda wymiana musi zwracać raport, gdyż często bywa to zbędne.

Najważniejszą sprawą jest dążenie do tego, aby czasy cyklu jednostek centralnych abonentów, a przede wszystkim stacji Master, były jak najkrótsze. W krytycznych przypadkach opłaca się podzielić program jednostki centralnej na etapy, aby dać czas na komunikację z koprocesorem sieciowym.

3. Optymalizacja wymian w sieciach typu Token-Ring

Po pierwsze, rzeczą najistotniejszą przy konfigurowaniu sieci jest obliczanie maksymalnego czasu cyklu sieci, gdyż parametr ten będzie miał decydujące znaczenie dla określenia czasów nadawania poszczególnych abonentów. Po drugie, maksymalny 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 prostać zadaniu. Wtedy należy podjąć decyzję dotyczącą albo zmiany typu sieci, albo przekonfigurowaniu istniejącej.

Przekonfigurowanie istniejącej sieci może polegać na:

- eliminacji "dziur" (dotyczy sieci N-10),
- zminimalizowaniu liczby oraz wielkości wymian informacji,
- zmniejszeniu liczby abonentów,
- zmianie priorytetów komunikatów (dotyczy sieci N-10).

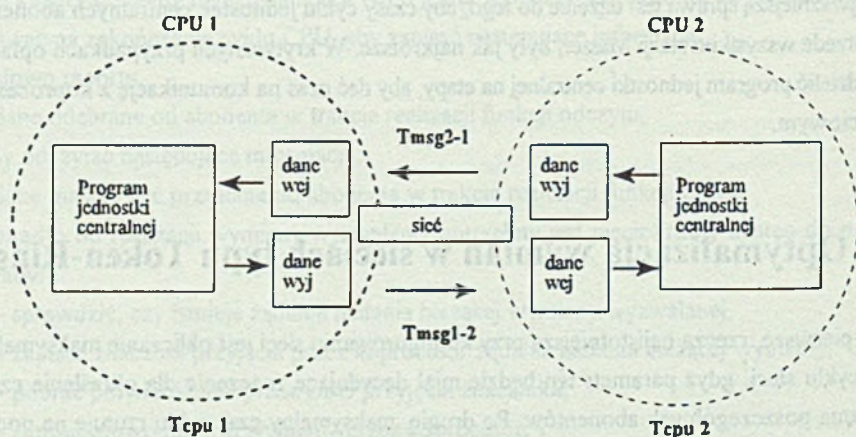
Przy obliczaniu czasu cyklu sieci należy brać pod uwagę następujące czynniki:

- czas cyklu transmisji żetonu z uwzględnieniem planowanej maksymalnej liczby "dziur",
- czas transmisji komunikatu ramki o maksymalnej długości,
- czas przetwarzania ramki przy jej odbiorze i emisji,
- czas detekcji ramki,
- prędkość transmisji.

Są to czynniki wymierne, stosunkowo łatwe do oszacowania. Poza nimi występuje cały szereg innych bardzo trudnych do określenia elementów, które nie mają wpływu na czas cyklu sieci, ale mają istotny wpływ na czas wymiany żądanej informacji.

O ile w sieci N80 obliczenie czasu cyklu sieci, a co za tym idzie, czasu wysłania wszystkich informacji, jest rzeczą prostą, o tyle w sieci N-10 jest to nieco bardziej skomplikowane. Nie należy tu mylić czasu cyklu sieci z faktycznym czasem przesyłu informacji. Nie zagłębiając się w szczegóły czas potrzebny na dostarczenie danej z potwierdzeniem z jednego sterownika do drugiego bez względu na sieć będzie składał się z następujących elementów (rys. 1):

$$2(T_{\text{CPU } 1}) + (T_{\text{msg } 2-1} + T_{\text{msg } 1-2}) + 2(T_{\text{CPU } 2}) = \text{czas odpowiedzi}$$

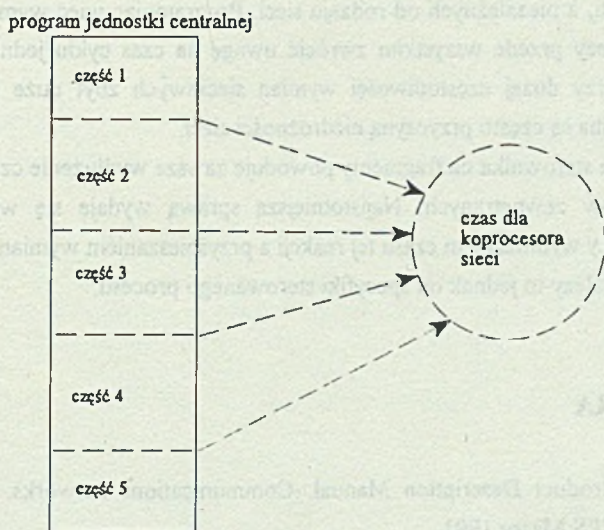


Rys. 1. Czas odpowiedzi

Fig. 1. Response time

Jak widać, ogromny wpływ na czas dostarczenia danej ma czas cyklu automatu. Podczas gdy w sieci N80 czas cyklu sieci dla ośmiu sterowników i przesyłu 12 słów wynosi 19ms, to czas cyklu jednostki centralnej może osiągać 200ms, czyli jest dziesięciokrotnie dłuższy. Oczywiście, można sobie wyobrazić sterownik sterujący procesem w czasie 5ms; z reguły jednak czasy cyklu jednostek centralnych sterowników obsługujących kilkadziesiąt zaworów czy pomp i realizujących jakieś sterowania sekwencyjne przekraczają 100ms.

Czas realizacji programu jednostki centralnej jest szczególnie istotny dla sieci N-10, gdyż koprocesor tej sieci posiada dla niektórych typów wymian tylko jeden bufor odbiorczy. Jeżeli abonent otrzyma ramkę, a jego jednostka centralna realizuje program przez kilkadziesiąt milisekund (dla sterownika C-170 może to być teoretycznie nawet kilka sekund), to przez ten okres zablokowane są wszystkie informacje przychodzące do tego sterownika. W przypadku dużego obciążenia sieci i złej parametryzacji może dojść do tego, że tylko niektóre ramki będą miały możliwość natrafienia na pusty bufor odbiorczy sterownika. Generalnie poza podziałem wiadomości ze względu na ich ważność oraz doborem odpowiednich odstępów czasu pomiędzy kolejnymi wymianami sieciowymi najistotniejszą sprawą jest skrócenie cyklu jednostki centralnej. Można to zrobić przez podział programu na części, chociaż nie zawsze jest to możliwe (rys.2).



Rys. 2. Podział cyklu sterownika
Fig. 2. Partition of controllers sweep

W ten sposób koprocesor sieciowy co kilkanaście milisekund ma dostęp do pamięci sterownika, co znacznie przyspiesza wymiany sieciowe. Rozwiązanie to posiada jednak pewne wady. Wymaga się od programisty rozważnego podziału programu sterowania procesem na etapy. W tak podzielonym programie utrudnione jest wykrywanie szybkich zmian sygnałów

wejściowych, a także różniczkowanie zmiennych. Ponadto wszelkie funkcje czasowe mogą działać niedokładnie, co nie zawsze jest do przyjęcia. Należy więc wydzielić te fragmenty programu, które muszą być wykonywane w każdym cyklu automatu (np. funkcje regulacyjne). Trzeba też mieć na uwadze to, że reakcja sterowanych urządzeń na zmianę sygnałów wejściowych będzie wolniejsza. W praktyce jednak dla procesów wolnozmiennych możliwe jest realizowanie procesu sterowania w kilku czy kilkunastu cyklach automatu. Dotyczy to przede wszystkim podziału według armatury obiektowej.

Dla przykładu, sterownik realizujący sterowanie kilkudziesięcioma pompami może w każdym cyklu automatu obsługiwać kilka pomp. Reakcja na sygnały zabezpieczeń pompy będzie wtedy wolniejsza o kilkadziesiąt milisekund, co w większości przypadków nie dyskwalifikuje takiego rozwiązania.

4. Wnioski

Jak łatwo zauważyć, istnieje kilka typowych elementów mających istotny wpływ na szybkość przesyłanych danych, a niezależnych od rodzaju sieci. Programując więc wymiany w sieciach przemysłowych należy przede wszystkim zwrócić uwagę na czas cyklu jednostki centralnej abonentów sieci. Przy dużej częstotliwości wymian sieciowych zbyt duże czasy realizacji programów sterowania są często przyczyną niedrożności sieci.

Podział programu sterownika na fragmenty powoduje zawsze wydłużenie czasu jego reakcji na zmiany sygnałów zewnętrznych. Najistotniejszą sprawą wydaje się więc znalezienie kompromisu pomiędzy wydłużaniem czasu tej reakcji a przyspieszaniem wymian sieciowych. W każdym przypadku zależy to jednak od specyfiki sterowanego procesu.

LITERATURA

- [1] ZS.System Product Description Manual. Communications networks. Dokumentacja techniczna. CPS Massy 1991.
- [2] N80 Enhanced Communications. Dokumentacja techniczna. CPS Massy 1993.

Recenzent: Dr inż. Ryszard Winiarczyk

Abstract

In this paper communication in MODBUS and „token-ring” networks are described. The optimization exchanges are main problem in these industrial networks. In Master-Slave protocol we can reduce time of bus scan by changing numbering exchanges or by sending maximum data in one frame. In other words we have the same data, but less exchanges. The time of central unit (procesor) is very important also. In „token-ring” networks calculate bus scan time is more difficult. These elements, which we use to calculate response time are presented on fig. 1. For minimize bus scan time we must eliminate gaps in adress numbering. For opimization networks exchanges short time of cycle programable logic controler is very important.

In this paper few ways of cutting PLC's program are described. By dividing PLC's program networks coprocessor has additional time to write and read data from global memory and bus scan time is reduced (fig. 2).