

mgr inż. Marcin Gliński
dr inż., Roman Szewczyk
mgr inż. Andrzej Bratek
Przemysłowy Instytut Automatyki i Pomiarów

INTEGRACJA URZĄDZEŃ WYPOSAŻONYCH W INTERFEJSY SZEREGOWE ZE STRUKTURAMI SIECI ETHERNET, W ZASTOSOWANIACH SCADA

W referacie przedstawiono zasadę działania konwerterów interfejs szeregowy/Ethernet, omówiono metodologię szacowania opóźnień i wyniki badań aplikacyjnych parametrów wpływających na opóźnienia

MEASUREMENT AND CONTROL SYSTEMS
REMOTE SERVICE METHODS

Paper presents principles of serial interface/Ethernet converter operation, methodology of delays estimation and results of application research parameters connected with delays.

1. WPROWADZENIE

Tendencje światowe w zakresie sieci LAN wyraźnie wskazują na dominację standardu Ethernet. Już w 2000 roku potwierdzały to analizy liderów branży automatyki mówiące o 80% udziału w tym segmencie sieci [9].

Rozwój komunikacyjnych standardów przemysłowych postępuje jednak krok za teleinformatyką. Choć obecnie jesteśmy „w przeddzień” praktycznej implementacji standardu Ethernet w większości urządzeń przemysłowych (gdzie nie jest wymagany formalny determinizm sieci przesyłowej) to należy liczyć się z tym, że jeszcze przez kilka lat porty szeregowy będą na wyposażeniu nowych urządzeń, a w przypadku integracji systemów pracujących na obiekcie, stan ten będzie się utrzymywał znacznie dłużej.

Tezę tę potwierdza fakt pojawienia się na rynku specjalizowanych układów mikroprocesorowych przeznaczonych do konwersji protokołów szeregowych na interfejs Ethernet.

Z uwagi na specyfikę protokołów przemysłowych, oraz potrzeby projektowania czasów odpowiedzi w systemach sterowania nadrzędnego i akwizycji danych w niniejszej pracy przedstawiono wyniki badań tego typu aplikacji.

1.1. Zasada działania konwertera RS/Ethernet

Konwerter RS/Ethernet służy do komunikacji z urządzeniami wyposażonymi w interfejs szeregowy (RS 232, 422, 485) przy pomocy protokołu IP i sieci Ethernet.

Działanie konwertera sprowadza się zasadniczo do : odczytu danych z portu szeregowego, podzielenia ich na pakiety i przesłania w ramach Ethernet.

Rozwiązanie takie niesie wiele korzyści. Dzięki konwerterowi RS/ Ethernet w prosty sposób można monitorować, sterować czy konfigurować urządzenia rozproszone praktycznie po całym świecie wykorzystując sieć rozległą Internet. Oczywiście jeśli nie zachodzi taka potrzeba, to można ograniczyć się do sieci lokalnej i przy jej wykorzystaniu zrealizować komunikację serwera SCADA z aparaturą rozmieszczoną w całym budynku czy hali produkcyjnej.

Konwertery komunikują się z aplikacją użytkownika najczęściej przez :

- drajwer, który tworzy na komputerze wirtualny port COM
- standardowe przeglądarki www, lub WAP (konwerter pełni rolę serwera dynamicznych stron www lub wap)
- za pomocą protokołu komend np. telnet (głównie używany do konfiguracji)

Istnieje kilka algorytmów pakietowania danych na porcie szeregowym konwertera określających kiedy dane zostaną opakowane odpowiednimi ramkami i wysłane w sieci Ethernet:

- Po napełnieniu się wewnętrznego bufora
- Po pojawieniu się odpowiedniego znaku w protokole szeregowym
- Po upływie zadanego czasu
- † - Po napłynięciu wystarczającej ilości informacji pozwalającej na wysłanie ramki o zdefiniowanej wielkości.

1.2. Obliczanie obciążenia sieci i opóźnienia transmisyjnego [3]

Wyznaczenie opóźnienia transmisyjnego i wymaganej przepływności kanału komunikacyjnego jest jedną z podstawowych operacji fazy projektu systemu typu SCADA (w szczególności dużego)

Ogólnie można wyróżnić następujące typy opóźnień występujące w sieci :

- Propagacyjne – wynika ono z czasu potrzebnego na przejście sygnału przez nośnik transmisyjny. Zależy ono od odległości między komunikującymi się urządzeniami.
- Przelączania – źródłem którego są urządzenia elektroniczne pracujące w sieci (koncentratory, mosty lub przelączniki pakietów. Po odebraniu wszystkich bitów sprzęt sieciowy potrzebuje krótkiego czasu, na wybranie następnego etapu przed wysłaniem pakietu.
- Dostępu – wynika ono z konieczności odczekania na dostęp do współdzielonego medium transmisyjnego. W sieci Ethernet używany jest mechanizm CSMA/CD.
- Kolejowania – występuje w sieciach rozległych z przelączaniem pakietów. Każdy przelącznik pakietów kolejkuje otrzymywane pakiety w ramach procesu zapamiętywania i przekazywania. Jeżeli kolejka zawiera już oczekujące pakiety, to nadchodzące kolejne muszą odczekać aż procesor obsłuży pakiety otrzymane przed nimi.

Szacunkowe wartości opóźnień dla poszczególnych elementów sieci przedstawia Tabela 1 i oraz dla poszczególnych łączy fizycznych Tabela 2 [1]

Typ urządzenia	OPÓŹNIENIE [μ S]
Wzmacniak światłowodowy	1,55
Wzmacniak wieloportowy	0,1
Nadajnik – odbiornik światłowodowy	0,20
Nadajnik – odbiornik dla skrętki dwużyłowej	0,27

Tabela 1. Szacunkowe opóźnienia dla urządzeń sieciowych

Rodzaj	Opóźnienie [μ s/m]
10 BASE 2	0,00514
10 BASE 5	0,00433
Nieekranowana skrętka dwużyłowa (UTP)	0,0057
Ekranowana skrętka dwużyłowa (STP)	0,0057
Światłowód	0,005

Tabela 2. Szacunkowe opóźnienia w zależności od rodzaju nośnika

Sieci przemysłowe są sieciami deterministycznymi, czyli zastosowane w nich mechanizmy pozwalają wyznaczyć maksymalny czas odpowiedzi każdego z urządzeń w sieci.

Najbardziej powszechnym mechanizmem jest tzw. pooling (ang. zbieranie). Stacja nadrzędna (master) zbiera dane z kolejnych stacji podrzędnych (slaves). Całe pasmo jest wykorzystywane tylko przez jedną sieć (w sensie zastosowanego protokołu).

Wynika stąd, że nie występuje tu niebezpieczeństwo przeciążenia prawidłowo skonfigurowanej sieci. Jedynym czynnikiem nie dającym się oszacować jest wpływ ewentualnych zakłóceń powodujących w skrajnym przypadku niemożność uzyskania danych ale sytuację taką należy skategoryzować jako awaria kanału komunikacyjnego.

Wykorzystując sieć Ethernet, projektant wraz ze wszystkim zaletami tego rozwiązania przejmuje również wady dla aplikacji przemysłowych w postaci zależności bieżącego opóźnienia w sieci od jej obciążenia (wpływ opóźnień dostępu).

Opóźnienia propagacyjne i przełączania podobnie jak w sieciach przemysłowych można łatwo obliczyć (w zakresie sieci lokalnych których struktura jest znana). Należy pamiętać że np. dla standardu przesyłania 10 Mb/s całkowity czas transmisji i otrzymania potwierdzenia przyjęcia nie powinien przekroczyć 51.2 μ s aby zapewnić prawidłowe funkcjonowanie protokołu dostępu do kanału CSMA/CD.[1]

Bieżące opóźnienie sieci jest zależne od jej obciążenia (wpływ opóźnień dostępu) i można je oszacować na podstawie poniższego wzoru:

$$D = \frac{D_0}{1 - U}$$

gdzie: D – bieżące opóźnienie sieci
 D_0 – opóźnienie nieobciążonej sieci
 U – liczba z zakresu 0÷1 określająca bieżące wykorzystanie sieci

Gdy sieć jest całkowicie nieaktywna U wynosi 0 i efektywne opóźnienie wynosi D_0 . W sieci wykorzystanej w połowie efektywne opóźnienie się podwaja. Gdy ruch w sieci wzrasta do poziomu maksymalnej przepustowości sieci ($U \approx 1$), opóźnienie rośnie do nieskończoności.

Rzeczywiste obciążenie i przepływność sieci są trudne do oszacowania teoretycznego, dlatego najczęściej projektuje się sieci o przewidywanej przepustowości na poziomie 50÷75 % szerokości pasma. [8]

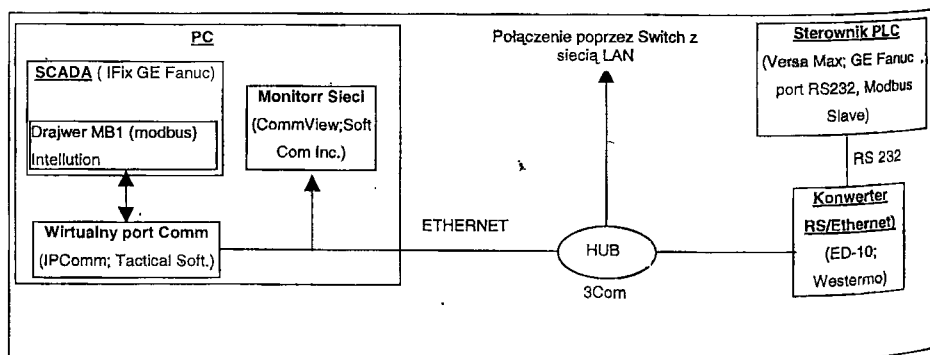
2. BADANIA KONWERTERA

Celem przytoczonych w tym rozdziale badań było określenie rzeczywistej nadmiarowości protokołów związanych z przesyłaniem ramek przemysłowego protokołu szeregowego poprzez sieć Ethernet i zestaw protokołów TCP/IP.

Zgodnie z dyskusją przeprowadzoną w punkcie 1.2 ilość transmitowanych danych w sieci (łącznie z danymi protokołów) jest podstawą do szacowania całkowitych opóźnień, który to parametr jest podstawą do doboru odpowiedniej przepustowości sieci Ethernet

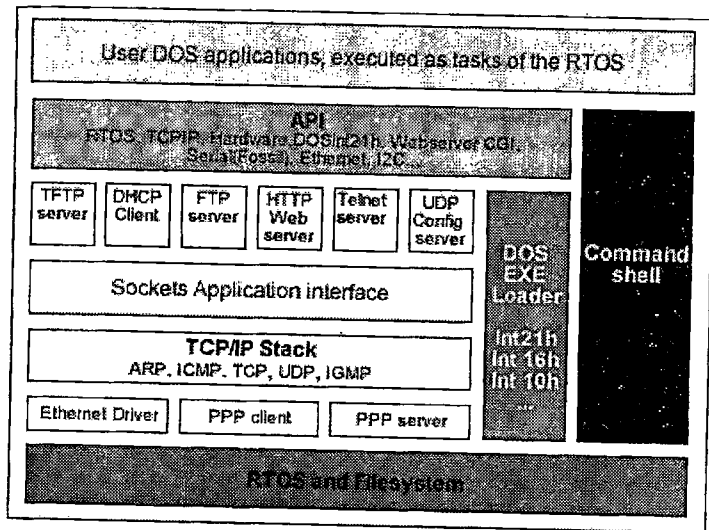
2.1. Charakterystyka ogólna układu testowego

Badania przeprowadzono w konfiguracji przedstawionej na Rys. 1.



Rys. 1. Konfiguracja testowa współpracy SCADA z konwerterem RS/Ethernet

Zastosowano konwerter **Westermo ED-10 TCP** zbudowany w oparciu o pojedynczy wieloprocesorowy układ scalony firmy Beck IPC GmbH, z systemem operacyjnym czasu rzeczywistego @Chip-Rtos (architektura na Rys. 2), charakteryzujący się możliwością wykonywania do 16 programów DOS w czasie rzeczywistym. Konwerter ten ma możliwość pracy w trybie konwertera i serwera. Posiada dwa porty szeregowo (Rs-232, Rs-485). W przypadku portu RS-232 w pełni obsługuje sygnały sterownia sprzętowego przepływem. Do transmisji poprzez sieć Ethernet wykorzystano protokoły TCP/IP



@Chip-RTOS architecture

Rys. 2 Architektura systemu operacyjnego @Chip-RTOS.

Do dekapulacji pakietów na stacji PC wykorzystano oprogramowanie IPComm firmy „Tactical software”. Dekapsulacja polega na usunięciu dodatkowych protokołów związanych z transmisją poprzez łącze Ethernet – ramki TCP/IP, Ethernet oraz scaleniu pakietów i udostępnieniu ich poprzez wirtualny port COM w postaci pierwotnej jak na fizycznym łączu szeregowym konwertera (maksymalnie 255 wirtualnych portów COM).

Do monitoringu ruchu w sieci i dekodowania protokołów użyto oprogramowania typu „monitor sieci” CommView firmy TamoSoft Inc.

Jako aplikację SCADA wykorzystano pakiet IFix firmy GE Fanuc, drajwer MB1 zapewniający komunikację z siecią Modbus i udostępniającym dane pakietowi SCADA na platformie MS Windows zgodnie ze specyfikacją OPC.

Urządzeniem współpracującym z konwerterem był sterownik GE Fanuc Versa Max z protokołem Modbus RTU slave na łączu szeregowym w standardzie RS485

W warstwie sieciowej wykorzystano Hub firmy 3Com – OfficeConnect, Ethernet 10 Mb/s.

2.2. Określenie naddatku protokołów związanych z konwersją RS/ Ethernet

Przeprowadzona analiza wykazała, że:

- a) każda wysłana paczka danych obciążona jest 40 bajtami nadmiarowymi protokołów związanych z siecią Ethernet (ramka Ethernet + ramka IP + ramka TCP)
- b) nadawca otrzymuje od adresata potwierdzenie odebrania każdej paczki którego rozmiar jest identyczny z odebrana ramką bez danych co oznacza 40 bajtów.

Wynika z powyższego że nadmiar protokołu związany z transmisją poprzez sieć Ethernet wynosi 160 bajtów dla każdej transakcji protokołu Modbus co przedstawia Tabela 3.

Operacje związane z protokołem Modbus	Operacje związane z przesyłem w sieci Ethernet
Master pyta stację slave	+40 bajtów przed wprowadzeniem do sieci Ethernet)
	Konwerter RS/Ethernet otrzymuje datagram i wysyła potwierdzenie odbioru (40 bajtów)
Stacja slave poprzez port szeregowy otrzymuje zapytanie Modbus i wysyła odpowiedź	
	Konwerter dodaje + 40 bajtów przed wprowadzeniem do sieci Ethernet
	Oprogramowanie wirtualnego portu szeregowego na PC wysyła potwierdzenie otrzymania datagramu (40 bajtów)
Stacja master otrzymuje odpowiedź od stacji Slave	
	+160 bajtów

Tabela 3. Transakcja protokołu Modbus poprzez sieć Ethernet

Przedstawione w Tabeli 3 160 bajtów jest wartością minimalną możliwą do osiągnięcia przy optymalnym ustawieniu algorytmu pakietowania w konwerterze.

Do wyboru są tu 3 możliwości :

- a) definicja znaku końca ramki (zastosowanie tylko w protokołach znakowych np. Modbus ASCII)
- b) długość ramki (ilość znaków na porcie RS)
- c) przerwa oznaczająca koniec ramki podana w jednostkach czasu [ms]

Specyfikacja protokołu Modbus RTU (w wersji binarnej) określa koniec ramki jako przerwę trwającą min. 3,5 znaku. Długość ramki jest z reguły zmienna (inna długość w przypadku zapytania, inna poszczególnych typów odpowiedzi).

Opcja algorytmu pakietowania polegająca na określeniu długości ramki jest możliwa do efektywnego zastosowania jedynie w szczególnym przypadku kiedy odpowiedzi wszystkich urządzeń podłączonych do konwertera przez łącze szeregowe mają ten sam rozmiar. W praktyce oznacza to że są to urządzenia tego samego typu np. rejestratory parametrów sieci energetycznej z których odczytywany jest tylko jeden rodzaj danych np. rejestry 32 bitowe.

W przypadku gdy powyższe warunki nie mogą być spełnione a istnieje potrzeba zastosowania tego typu algorytmu pakietowania należy ustawić długość ramki równą najmniejszej ramce zwracanej w transakcji Modbus do danego konwertera. Jak wykazały badania podzielenie jednej ramki protokołu na kilka pakietów przy prawidłowym obciążeniu sieci Ethernet nie powoduje błędów odczytu u adresata., Zdefiniowanie zbyt długiej ramki powoduje że odpowiedź jest wysyłana z konwertera dopiero po otrzymaniu na porcie szeregowym zdefiniowanej ilości znaków. Wiąże się to z procedurą wysyłania ponownych zapytań przez stację Master, oczekiwania zdefiniowanych czasów oczekiwania (Tim out). W efekcie powoduje to powstawanie olbrzymich opóźnień

Z powyższych rozważań wynika, że najlepszym algorytmem pakietowania dla protokołu Modbus jest określenie przerwy czasowej określającej koniec ramki.

W testowanym oprogramowaniu istnieje jedynie możliwość podania bezwzględnej wartości przerwy w [ms] co nie jest optymalnym rozwiązaniem z uwagi na :

- Zbyt małą rozdzielczość czasową – przy prędkości transmisji na łączu RS 9600 bitów/s w ciągu 1 ms jest transmitowane 9 znaków, a koniec ramki jak wspomniano wcześniej wyznacza przerwa o czasie trwania 3.5 znaku
- Podawanie przerwy czasowej w jednostkach bezwzględnych [ms] może powodować konieczność zmiany tego parametry wraz ze zmianą ustawienia prędkości transmisji na łączu szeregowym. Rozwiązaniem tej niedogodności byłaby opcjonalna możliwość podawania przerwy w ilości znaków.

Należy zauważyć że opóźnienia wynikające z ograniczeń konfiguracyjnych opisanych wyżej mają wartości rzędu 1ms co jest porównywalne z opóźnieniami przełączania w elementach aktywnych sieci Ethernet takich jak np. Switch.

3. WNIOSKI

Z przeprowadzonych analiz, badań i testów wynika że :

- Integracja z oprogramowaniem SCADA nie nastęrcza większych trudności. Należy zwrócić uwagę na wybór odpowiedniego algorytmu pakietowania danych na łączu szeregowym w kontekście typu protokołu podlegającego konwersji. Ma to

fundamentalne znaczenie dla opóźnień transakcji wymiany danych z urządzeniami systemu.

- W przypadku dużych systemów, przy obliczaniu obciążenia sieci Ethernet należy wziąć pod uwagę nadmiarowość protokołów związanych z tą siecią która może przekraczać ilość danych przesyłanych jedynie protokołem łącza szeregowego.
- Należy się liczyć z możliwością jedynie szacunkowego określenia opóźnień transmisyjnych, choć wzięwszy pod uwagę ogromne przepustowości jakie niesie sieć Ethernet w porównaniu z sieciami przemysłowymi w wielu przypadkach może mieć to znaczenie marginalne.
- W przypadku konwertowania protokołów typu Master-Slave jak np. Modbus, z uwagi na ich charakter nie występuje tak duża liczba kolizji jak w przypadku pracy węzłów o dostępie równorzędnym co pozwala na zwiększenie obciążenia sieci w porównaniu do typowych sieci Ethernet.

4. LITERATURA

- [1] Sportack M. : „Sieci komputerowe – Księga eksperta” ; Helion, Gliwice 1999.
- [2] Parker T., Sportack M. : „TCP/IP – Księga eksperta” ; Helion, Gliwice 2000.
- [3] Comer D. E. : „Sieci komputerowe i intersieci” ; WNT, Warszawa 2001.
- [6] Simmonds A. : „Wprowadzenie do transmisji danych” ; WKŁ, Warszawa 1999.
- [7] Krysiak K. : „Sieci komputerowe – Kompedium” , Helion, Gliwice
- [8] Materiały SUN Microsystems
- [9] Siemens „Industrial Communication for Automation Overview 03/2000”