

*mgr inż. Mariusz Mrzygłód,*

*mgr inż. Jacek Reiner,*

*dr inż. Zbigniew Smalec,*

*mgr inż. Piotr Trzciański,*

*Politechnika Wroclawska Instytut Technologii Maszyn i Automatykacji*

## **ZAGADNIENIA KOMUNIKACJI W SIECI PROFIBUS NA PRZYKŁADZIE WYBRANYCH ROZWIĄZAŃ SPRZĘTOWYCH I PROGRAMOWYCH**

*Streszczenie: W referacie zamieszczono opis różnych rozwiązań składników sieciowego systemu komunikacyjnego PROFIBUS DP i FMS. Szczególną uwagę poświęcono oprogramowaniu serwisowemu i interfejsom API przeznaczonym dla komputerów PC. Omówiono również sposoby konfigurowania modułów komunikacyjnych dla sterowników PLC firm PEP Modular Computers i Allen Bradley.*

*Abstract: This paper describes various network communication system's PROFIBUS-DP and FMS components. It pays attention to the tools and utility software and the application program interface for PC. It presents as well configuration methods of communication devices for PLC controllers from PEP Modular Computers and Allen-Bradley.*

### **1. WSTĘP**

W marcu b.r. została przyjęta europejska norma magistral przemysłowych EN 50170. Norma ta definiuje standard komunikacji przemysłowej dla poziomu gniazd i została jej nadana nazwa. *General purpose field communication system*. Ujmuje ona trzy funkcjonalnie podobne standardy narodowe: P-NET (Dania), PROFIBUS (Niemcy) oraz World-FIP (Francja).

Elektroniczny katalog produktów ver. 8.0 wydany przez PNO (*Profibus Nutzer Organization*) zawiera już ponad 800 produktów zgodnych ze standardem PROFIBUS, co czyni go najbardziej rozpowszechnionym w Europie.

Niestety wiele z tych produktów nie ma certyfikacji i nie jest w pełni zgodnych normą. Powoduje to problemy przy konfigurowaniu i uruchamianiu otwartych, heterogenicznych, sieciowych systemów automatyki.

### **2. URZĄDZENIA SIECI PROFIBUS**

#### **2.1. Karty do komputerów PC**

Komputery osobiste PC, ze względu na duże rozpowszechnienie, szeroką bazę narzędzi programistycznych oraz korzystny stosunek mocy obliczeniowej, zasobów i ich

niezawodności do ceny, stopniowo wkraczają na coraz to nowe obszary automatyzacji, wypierając tym samym rozwiązania „czysto” przemysłowe. Nie są one wprawdzie jeszcze stosowane do sterowania rozbudowanymi procesami przemysłowymi, ale zdobyły silną pozycję w obszarze komunikacji z użytkownikami MMI (*ang. Man-Machine-Interface*), gdzie osoba obsługująca oczekuje środowiska przyjaznego, a najchętniej znanego z własnego biurka.

#### 2.1.1. Karta CP5412A2 - Siemens

Karta komunikacyjna SINEC L2 - CP5412 A2 jest następcą karty CP5412 A1. Zrezygnowano w niej z interfejsu światłowodowego, wprowadzając procesor komunikacyjny ASIC, który podnosi radykalnie prędkość transmisji do 12 Mbit/s. Karta ta może obsługiwać współbieżnie różne protokoły komunikacyjne: FMS, DP, FDL, S7 i PG. Oprogramowanie dostarczane przez producenta tej karty pozwala na jej stosowanie w wielu środowiskach systemów operacyjnych: DOS, Win 3.xx, Windows 95, Windows NT i UNIX.

Program konfiguracyjny COML-FMS ver.1.0 dla karty CP5412A2 umożliwia konfigurację wszystkich fizycznych parametrów transmisji. Środowisko do definiowania listy referencji komunikacyjnych (CRL) zaprojektowane zostało dla użytkownika o małym zasobie wiedzy z zakresu konfiguracji sieci PROFIBUS. Pozwala ono jedynie na zdefiniowanie adresu urządzenia odległego, lokalnego i odległego punktu SAP oraz typu połączenia. Pozostałe parametry dotyczące konfiguracji CRL są zdefiniowane w dodatkowym pliku tekstowym, którego format został ustalony przez producenta. W pakiecie dołączonym przez producenta określono jedynie konfigurację karty CP5431 dla sterownika SIMATIC S5-115U. W przypadku projektowania i konfiguracji heterogenicznego systemu komunikacyjnego takie ograniczenie uniemożliwia jednak użycie konfiguratora zewnętrznego oraz symulatora.

Pakiet oprogramowania FMS-5412 / MS-DOS, Win wersja 1.0 zawiera biblioteki statyczne i dynamiczne dla różnych środowisk programistycznych: MSC 7.0, MS Visual C++, Turbo C 1.0 oraz Borland C 3.1. Funkcje zawarte w tych bibliotekach umożliwiają realizację jedynie bardzo ograniczonej funkcjonalności klienta. Dostępne usługi FMS realizowane z użyciem tej karty to: GET\_OD, READ i WRITE. Dodatkowo zaimplementowano funkcje *trace* do śledzenia zdarzeń, które ułatwiają uruchomienie i sprawdzanie aplikacji. Chociaż zaimplementowany interfejs API jest dość skomplikowany, to jednak umożliwia on asynchroniczną obsługę usług FMS.

Rozszerzające moduły programowe, takie jak serwer DDE i serwer OLE 2 umożliwiają obsługę karty przez standardowe mechanizmy systemu operacyjnego Windows, np. z poziomu programu EXCEL.

#### 2.1.2. Karta CP 1500 PBF - Applicom

Karta komunikacyjna CP 1500 PFB umożliwia dołączenie komputera PC do sieci przemysłowej PROFIBUS pracującej z prędkością transmisji do 500 kbit/s. Oprogramowanie oferowane przez producenta tej karty pozwala na jej zastosowanie w wielu systemach operacyjnych: DOS, Windows-16bit, Windows-32bit, UNIX i OS/2. Karta ta pozwala na implementację zarówno funkcjonalności klienta jak i serwera. Z uwagi na uproszczoną deklarację kartoteki obiektów w formie tablic typów podstawowych, niemożliwe jest przesyłanie struktur lub tablic wielowymiarowych. Liczba zadeklarowanych zmiennych jest ograniczona, a także niemożliwe jest zadeklarowanie praw dostępu dla obiektów. Karta została zaprojektowana w sposób uniwersalny i umożliwia ona obsługę wielu protokołów komunikacyjnych stosowanych w przemyśle: Jbus, Modbus, Chi-Telway, Ethway, Sinec H1 TBF, 3964, Sucoma, Sysmac-Way, DataLink, BatiBus, DF1 i SBUS. Dla wszystkich tych

rozwiązań zachowano wspólny interfejs aplikacyjny, który zapewnia możliwość przenoszenia oprogramowania i uniezależnia je od przyjętego standardu komunikacyjnego. Jednak w przypadku systemu PROFIBUS takie rozwiązanie w sposób istotny ogranicza jego funkcjonalność. Funkcje oferowane przez API (ang. *Application Program Interface*), bazujące jedynie na usługach: READ, WRITE, GET-OD PROFIBUS-FMS, umożliwiają odczyt i zapis pakietów bitów lub bajtów i zmiennych typu *float*. Karta wraz z oprogramowaniem pozwala na komunikację programu użytkownika w sposób: synchroniczny - *wait mode*, z pośredniczącym buforem - *deffered mode* i poprzez bazę danych - *cyclic mode*. Pakiet oprogramowania do karty CP1500 PBF zawiera wiele programów narzędziowych, umożliwiających między odczyt pojedynczych zmiennych oraz kartotek obiektów. Program konfiguracyjny parametrów PROFIBUS nie zapewnia jednak możliwości korzystania ze standardowych plików konfiguracyjnych dla parametrów transmisji, listy referencji komunikacyjnych i kartoteki obiektów. Poważnym ograniczeniem tego produktu jest również brak możliwości konfiguracji np. wielkości buforów dla usług FMS, a dla konfiguracji serwera wprowadza on ograniczenie do 8 liczby referencji komunikacyjnych. Różne biblioteki funkcji API pozwalają na programowanie w Visual Basic 32bit, MSC, MS Visual C++ i Borland C++. Ponadto pakiet tego oprogramowania zawiera serwer DDE.

## 2.2. Sterowniki PLC

Sterowniki swobodnie programowalne PLC są typowymi przedstawicielami aktywnych urządzeń typu *master* w sieciowym systemie automatyzacji. Rozwiązania tych sterowników oferowane przez różnych producentów nie zawsze jednak ułatwiają obsługę interfejsu sieciowego.

### 2.2.1. Sterownik SMART I/O firmy PEP Modular Computers

Sterownik SMART I/O firmy PEP Modular Computers jest komputerem przemysłowym z procesorem Motorola 68320 20MHz pracującym pod kontrolą systemu operacyjnego czasu rzeczywistego OS-9. Sterownik sekwencyjny PLC w tym komputerze został zrealizowany jako program *ISaGRAF-Kernel*, stanowiący jeden z procesów. Zasoby tego komputera umożliwiają równocześnie uruchomienie do czterech jąderek takich sterowników. Sterownik SMART I/O zawiera zintegrowany interfejs komunikacyjny PROFIBUS, umożliwiający transmisję z prędkością do 500 kbit/s. Komunikacja przez sieć PROFIBUS na poziomie warstwy drugiej lub siódmej może być obsługiwana bezpośrednio z programu ISaGRAF, lub poprzez standardowe, Unix'owe urządzenia wejścia / wyjścia tzw. *driver*.

System ISaGRAF jest graficznym środowiskiem, zgodnym z normą IEC 1131-3, przeznaczonym do programowania sterowników PLC. Umożliwia ono programowanie w jednym z pięciu typowych języków PLC (*instruction list, ladder diagram, structured text, functional block diagram, sequential function chart*), jak również w ANSI C. W celu uruchomieniu aplikacji sieciowej, należy skonfigurować parametry transmisji, listę referencji komunikacyjnych oraz kartotekę obiektów. Parametry te zadawane są w standardowych plikach konfiguracyjnych dla PROFIBUS: \*.BUS, \*CRL, \*.OD. Dzięki temu mogą zostać one przygotowane i przetestowane w systemie zewnętrznym. W celu udostępnienia zadeklarowanej kartoteki obiektów, wystarcza uruchomienie samodzielnego procesu serwera. Funkcjonalność klienta, po zainicjowaniu referencji komunikacyjnej, uzyskujemy z wykorzystaniem usług *FMS Read, Write*. Odwołując się z poziomu ISaGRAF do obiektu zdefiniowanego w innej stacji, wskazuje się *network address*, odpowiadający indeksowi tego obiektu. Poważnym ograniczeniem zaimplementowanych usług PROFIBUS'a jest brak

możliwości zdefiniowania obiektu typu tablica i struktura. Dlatego też, gdy zachodzi konieczność szybkiej wymiany danych, to zaleca się stosowanie odwołań do sterownika sieci PROFIBUS-FMSz pominięciem warstwy użytkownika.

System operacyjny OS-9 w sterowniku SMART I/O umożliwia uruchomienie aplikacji zaimplementowanych w takich językach wysokiego poziomu jak C czy nawet C++. Podobnie jak w systemie operacyjnym UNIX, aplikacja komunikuje się tutaj z urządzeniami zewnętrznymi przez programy sterowników w taki sam sposób jak ze standardowym plikiem danych. Programowy sterownik magistrali przemysłowej w systemie OS-9, dostarczany przez firmę PEP Modular Computers, oferuje bardzo szeroką gamę usług PROFIBUS-FMS, umożliwiając zarządzanie domenami oraz obsługę wywołań programowych i zarządzania alarmami.

### 2.2.2. Sterownik PLC firmy Allen-Bradley

Karta komunikacyjna 1785 PBF pozwala na dołączenie sterowników PLC firmy Allen-Bradley do sieci komunikacyjnej PROFIBUS. Karta ta ma własny procesor komunikacyjny i jest wyposażona w dwa interfejsy sieciowe: PROFIBUS-FMS, który pozwala na transmisję z prędkością do 500 kbit/s oraz PROFIBUS-DP, pracujący z maksymalną prędkością do 1,5 Mbit/s. Konfiguracja tej karty jest przeprowadzana z komputera PC przez jego interfejs szeregowy. Do konfiguracji parametrów transmisji i komunikacji dostarczane jest oprogramowanie *Profibus Manager*. Oprogramowanie to, pracujące w środowisku Windows, w pełni wykorzystuje zalety środowiska graficznego. Zestawienie sieci dokonywane jest za pomocą myszy metodą *draw and drop* przez „przeciąganie” myszą ikon symbolizujących węzły sieci. Rozszerzalna baza danych zapewnia automatyczne nadawanie typowych parametrów konfiguracji, które mogą zostać zmodyfikowane. Programista opracowujący aplikację dla sterownika PLC, w przypadku używania sieci DP nawet nie zauważa tego, że system jest rozproszony. Odległe moduły są bowiem odwzorowane w obszarach wejść i wyjść sterownika. Wywoływanie usług FMS odbywa się przez komunikaty *message box*, które są standardowo dostępne w środowisku programowym sterownika. Aplikacja PLC wysyła, zatem komunikaty do procesora komunikacyjnego, żądając nawiązania komunikacji z węzłem odległym oraz odczytania bądź zapisania zmiennej. Karta procesora komunikacyjnego nie wspomaga usług zarządzania domenami oraz wywołań programowych i zarządzania alarmami.

### 2.3. Moduły wejść / wyjść

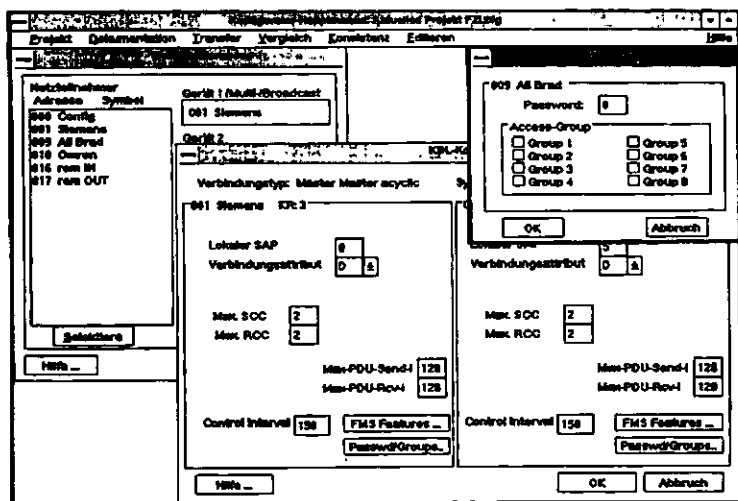
Moduły wejść i wyjść są typowymi przedstawicielami urządzeń typu *slave* w systemie komunikacyjnym. Z uwagi na ich bierny charakter, nie wymagają one tak złożonej konfiguracji, jak ma to miejsce dla urządzeń typu *master*. Najczęściej dla stacji typu PROFIBUS-FMS zachodzi jedynie konieczność nadania fizycznego adresu węzła, które jest dokonywane za pomocą przełączników typu *dip*. Stała lista kilku różnych referencji komunikacyjnych, zdefiniowanych jako otwarte oraz kartoteka obiektów, są dołączane wraz z dokumentacją urządzenia. W przypadku biernych urządzeń typu PROFIBUS-DP dostarczany jest natomiast znormalizowany, tekstowy plik opisujący urządzenie (*\*.gsd Geräte-Stamm-Daten*). Plik taki zestawiany jest i sprawdzany dla każdego certyfikowanego urządzenia i zapewnia bezproblemową konfigurację sieci DP.

### 3. PROGRAMY NARZĘDZIOWE DO PROFIBUS

Programy komputerowe wspomagające konfigurację, uruchomienie i diagnostykę sieciowych systemów komunikacyjnych stanowią bardzo ważny zestaw produktów. Podobnie jak w innych obszarach pracy inżyniera, także tutaj oprogramowanie CAx (Computer Aided ...) wyraźnie podnosi efektywność i jakość wykonywanych przez niego prac.

#### 3.1. Konfiguratory

Konfiguracja sieciowego systemu automatyzacji wymaga ustalenia: topologii sieci, parametrów logicznych połączeń - listy referencji komunikacyjnych, kartoteki obiektów oraz parametrów transmisji. Ze względu na obszerność parametrów konfiguracji sieci PROFIBUS-FMS oraz ich silnej współzależności, projektowanie rozległego systemu komunikacyjnego sieci heterogenicznej, bez wspomaganie komputerowego, jest bardzo pracochłonne. Dla węzłów PROFIBUS, wykorzystujących standardowe pliki konfiguracyjne \*.BUS; \*.CRL, \*.OD, istnieje możliwość użycia konfiguratora. Jedno z takich rozwiązań przedstawiono na rys.1.



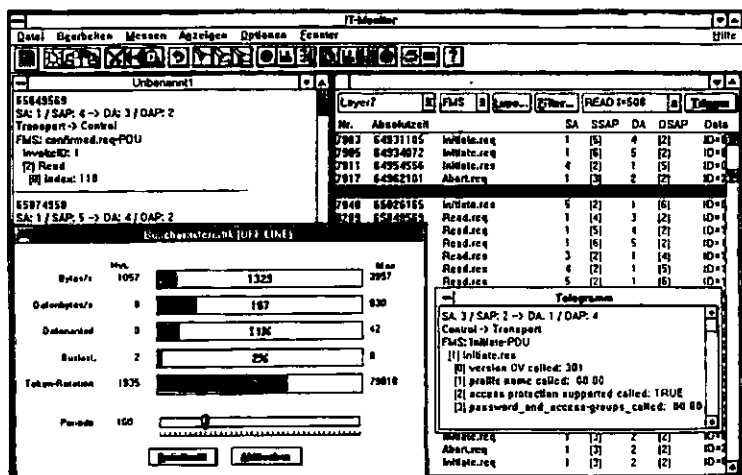
Rys.1 Konfigurator PROFIBUS-FMS firmy SOFTING

Konfigurator firmy SOFTING jest oprogramowaniem dla środowiska Windows. Pozwala on na pełną konfigurację heterogenicznej sieci PROFIBUS, kontrolując również konsystencję edytowanych danych oraz generując wszystkie pliki konfiguracyjne i dokumentację. Dodatkową zaletą tego oprogramowania jest możliwość odczytywania przez sieć PROFIBUS konfiguracji zdalnych stacji oraz zapisywania nowych. Jest to bardzo przydatne podczas konfiguracji i uruchamiania rozległej instalacji, ale wymaga tego, aby stacje sieci miały zaimplementowane usługi FMA7, gdyż w przeciwnym przypadku dane konfiguracyjne mogą być przesłane do węzła sieci jedynie przez standardowe łącze transmisji szeregowej V.24.

Konfiguracja sieci PROFIBUS-DP z wykorzystaniem tego konfiguratora jest wyraźnie ułatwiona dzięki możliwości wykorzystania danych formatu GSM, dostarczanych z każdym certyfikowanym urządzeniem DP.

### 3.2. Monitor

Monitor sieci jest narzędziem do uruchamiania i diagnostyki sieciowych systemów automatyki. Jako bierny węzeł sieci nie wprowadza on zmian w jej konfiguracji i nie wymaga własnego adresu sieciowego, co pozwala na pominięcie go w fazie projektowania instalacji. W trybie pracy *on-line* monitor rejestruje telegramy pojawiające się na magistrali, pokazuje aktywne stacje sieci oraz informacje statystyczne o obciążeniu, efektywności transmisji i błędach. Natomiast w trybie pracy *off-line* zarejestrowany pakiet ramek można poddać przetwarzaniu według różnych kryteriów.



Rys.2 IT Monitor sieci PROFIBUS [FZI]

Monitor sieci PROFIBUS *IT-MONITOR*, opracowany w FZI (*Forschungszentrum Informatik an der Universität Karlsruhe*) (rys.2), jest programem pracującym w środowisku MS-Windows na standardowym komputerze PC. Do dołączenia komputera do sieci PROFIBUS wymagana jest karta sieciowa firmy *TMG i-tec GmbH* lub *COMSOFT*, umożliwiająca rejestrację telegramów przy prędkości transmisji do 1,5 Mbit/s. Podczas tej rejestracji monitor pokazuje aktywne stacje pracujące w sieci. Dodatkowo, w postaci graficznej, prezentowane są informacje statystyczne i wartości maksymalne dotyczące: obciążenia sieci, transmisji danych brutto i netto oraz efektywności transmisji i obiegu *tokena*. Natomiast w trybie *off-line* zarejestrowane telegramy mogą zostać poddane obróbce. Wybór poziomu obserwacji: warstwa fizyczna, danych czy użytkownika z usługami FMS, jak również interpretacja zawartości ramek, pozwalają na bardzo efektywną analizę zdarzeń komunikacyjnych. Ważną informacją diagnostyczną jest również tzw. „stempel czasowy” dołączony do każdego zarejestrowanego telegramu. Może on być wyświetlany jako czas lub odstęp bitowy między wybranymi telegramami. Do redukcji nadmiaru zarejestrowanej informacji przewidziano różnorodne filtry. Dzięki możliwości definiowania tych filtrów przez użytkownika, uzyskuje się znacznie większą efektywność prowadzonej analizy pracy sieci. Dodatkowa funkcja wyzwalania *trigger* pomaga przy wyszukiwaniu wybranych zdarzeń komunikacyjnych. Zarejestrowane podczas pomiaru ramki mogą zostać zapisane w formie pliku na dysku, co umożliwi ich ponowną analizę z dala od badanej instalacji sieciowej.

### 3.3. Symulator

W celu sprawdzenia poprawności działania programu instalacji sieciowej konieczne jest odtworzenie pełnego środowiska pracy. Oznacza to, że wszystkie stacje muszą zostać fizycznie dołączone do magistrali. Ponieważ nie zawsze jest to możliwe, bądź też wiąże się z dużymi kosztami, dlatego też opracowano odpowiednie narzędzia komputerowe (symulatory). Symulatory stanowisk pracują wg dwóch metod:

- symulacji odtworzeniowej, podczas której następuje wysyłanie odfiltrowanych telegramów, które zostały wcześniej zarejestrowane za pomocą monitora sieciowego. Wymaga to jednak wcześniejszego uruchomienia węzła sieci.
- symulacji generacyjnej, w przypadku której wysyłane telegramy są generowane w trybie *on-line* lub na podstawie scenariuszy zachowań zapisanych w odpowiednich skryptach.

Opracowany przez FZI symulator *IT-Access* jest konfigurowany za pomocą standardowych plików konfiguracyjnych, np. przygotowanych za pomocą konfiguratora. Plik definiujący kartotekę obiektów \*.OV, stanowiący podstawową część wirtualnego urządzenia VFD (*ang. Virtual Field Device*), zapewnia automatyczne działanie serwera. Zachowanie klienta jest interakcyjnie lub określane za pomocą skryptów działania. Ponieważ każdy symulowany węzeł sieci wymaga własnego stosu PROFIBUS-FMS, dlatego też istnieje możliwość zainstalowania w jednym komputerze wielu kart komunikacyjnych, które są obsługiwane przez jeden program.

### 4. PODSUMOWANIE

PROFIBUS-FMS jest standardem komunikacyjnym przeznaczonym przede wszystkim dla poziomu gniazd, gdzie wymagania czasowe nie są krytyczne, a zachodzi potrzeba przesyłania dużych pakietów danych. Niestety większość dostępnych produktów FMS ma zaimplementowane jedynie podstawowe usługi: *Read, Write, Get\_OD*, co ogranicza ich zastosowanie na tym poziomie. Próba ich zastosowania do szybkiej wymiany danych z innymi urządzeniami automatyki nie może przynieść zadowalających wyników, ze względu na rozbudowany protokół. Dla tych zastosowań bardziej efektywny jest prosty w konfiguracji i uruchomieniu PROFIBUS-DP.

Zebrane w laboratoriach FZI i ITMiA PWr doświadczenia potwierdzają, że produkty mające certyfikat sprawiają znacznie mniej problemów podczas uruchamiania sieci heterogenicznych. Niestety większość badanych produktów takiej certyfikacji nie miała.

### LITERATURA

- [1] Bender K. (Hrsg): *PROFIBUS: Der Feldbus für die Automation*; 2. Aufl., Hanser-Verlag, München 1992
- [2] Varga Z., Nikolova E., Wenzel P., *Werkzeuge für die Inbetriebnahme von Feldbusbasierten Automatisierungssystemen*, iNet '95 - Konferencja Karlsruhe 1995.
- [3] Bender K., *Werkzeuge für Projektierung und Inbetriebnahme vernetzter intelligenter Geräte*
- [4] Dokumentacje techniczne do poszczególnych produktów firmy Siemens, Applikom, PEP Modular Computers

dr inż. Zbigniew Smalec  
mgr inż. Krzysztof Skura  
Instytut Technologii Maszyn i Automatyacji  
Politechniki Wrocławskiej

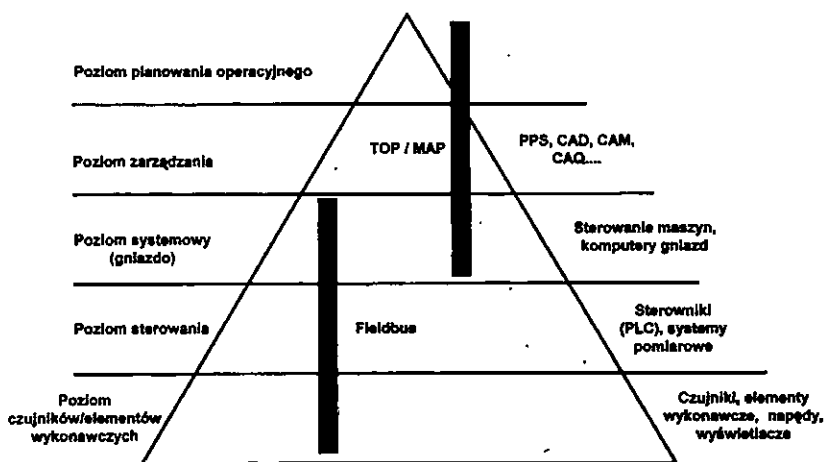
## PRZEMYSŁOWE SYSTEMY KOMUNIKACYJNE FIELDBUS NA PRZYKŁADZIE InterBus-S

Wskazano na znaczenie sieci miejscowych (Fieldbus) w automatyce przemysłowej. Omówiono szczegółowo budowę, działanie oraz architekturę sieci przemysłowej czasu rzeczywistego InterBus-S. Szczególną uwagę poświęcono problemom warstwy aplikacyjnej PMS w odniesieniu do normy MMS ISO/IEC 9506. Wskazano również na możliwości praktycznego zastosowania sieci InterBus S oraz perspektywy jej rozwoju.

In this article are presented the Fieldbus networks and their significance in a automation technology. In particular the design and work of the InterBus-S fieldbus is described in the real time application. The application layer problem of PMS (Peripherals Message Specification) is introduced in the reference to MMS ISO/IEC 9506 specification. The practical aspect of InterBus-S network application and its development perspective is explained.

### 1. Systemy komunikacyjne *Fieldbus* w automatyce procesów przemysłowych

Obszary zastosowań systemów komunikacyjnych w nowoczesnym przedsiębiorstwie przemysłowym obejmują wszystkie poziomy od planowania operacyjnego produkcji poprzez poziom zarządzania produkcją, sterowania gniazdami, sterowania maszyn aż do poziomu czujników i elementów wykonawczych, przy czym poziom nadrzędny jest najczęściej wiodący dla poziomów podrzędnych.



Rys.1 Hierarchiczny model przedsiębiorstwa



Rysunek 1 przedstawia hierarchiczny model przedsiębiorstwa produkcyjnego z punktu widzenia systemów komunikacyjnych, zawierający następujące istotne elementy:

1. komunikację na poziomie zarządzania przedsiębiorstwem oraz przygotowania produkcji, w której dominują usługi transferu dużych ilości danych, np. transfer plików; w obszarze tym wykorzystuje się sieci komputerowe takie jak IEEE 802.3 oraz protokoły komunikacyjne takie jak TCP/IP, IPX/SPX czy TOP;
2. komunikację na poziomie gniazd produkcyjnych oraz sterowników urządzeń, w której wykorzystuje się rozwiązania dla sieci lokalnych LAN (IEEE 802.3, 802.4) z protokołami komunikacyjnymi przewidzianymi w specyfikacji MAP 3.0 (MMS) oraz wiele rozwiązań firmowych takich jak Sinec H1 (TF); na poziomach sterowników urządzeń wykorzystuje się obecnie także systemy komunikacyjne *Fieldbus* oparte o łącza RS485, RS422 i światłowodowy oraz
3. komunikację na poziomie czujników oraz elementów wykonawczych w czasie rzeczywistym z cykliczną transmisją małej ilości danych - systemy *Fieldbus*.

Podstawowe zadania stawiane systemom komunikacyjnym *Fieldbus* zostały zdefiniowane w Niemczech w raporcie technicznym nr 15 komisji DCIM (ang. *DIN Computer Integrated Manufacturing*). Zgodnie z tym raportem, system *Fieldbus* powinien transmitować małą ilość danych pomiędzy urządzeniami automatyki przemysłowej (czujniki, elementy wykonawcze) i sterownikami urządzeń, z użyciem cyfrowych łączy komunikacyjnych w czasie krótszym od 10 ms. Preferowanym łączem komunikacyjnym jest RS 485.

Obecnie obserwuje się w świecie duże zainteresowanie systemami komunikacyjnymi *Fieldbus*. Systemy te są powszechnie wykorzystywane w automatyzacji produkcji oraz w takich innych dziedzinach jak automatyzacja budynków. Ze względu na postęp w mikroelektronice i uwarunkowania ekonomiczne, systemy te stopniowo wypierają klasyczne scentralizowane rozwiązania sterowania automatycznego (PLC, CNC, RC) z najniższych poziomów wytwarzania do wyższych.

Generalnie systemy *Fieldbus* dzieli się na magistrale czujników (ang. *sensorbus - bit level*), magistrale sterowników czyli urządzeń aktywnych (ang. *devicebus - byte level*) oraz magistrale miejscowe (ang. *fieldbus - block level*). W obszarze czujników i elementów wykonawczych rywalizują ze sobą takie standardy jak: CAN, Seriplex, ASI i LONWorks. Na poziomie magistrali urządzeń aktywnych (sterowników) konkurują: CAN, DeviceNet, PROFIBUS-DP, LONWorks, FIPIO, SDS i InterBus-S. Natomiast na poziomie magistrali miejscowej występują takie standardy jak: IEC/SP50, Fieldbus Foundation, PROFIBUS-FMS, PROFIBUS-PA, LonWorks oraz WorldFIP.

## 2. InterBus-S - przemysłowy system komunikacji czasu rzeczywistego

InterBus-S jest standardem sieciowym zaprojektowanym oraz rozwijanym przez niemiecką firmę Phoenix Contact. Wykorzystywany jest powszechnie w obszarze czujników/elementów wykonawczych oraz urządzeń aktywnych (sterowników). Obecnie szacuje się, że w świecie jest zainstalowanych około 70 000 systemów InterBus-S i jest oferowany w produktach około 300 firm. Objęty został normą niemiecką DIN 19256. Podstawowym powodem powstania tego systemu była potrzeba wypełnienia luki w rozproszonych systemach sterowania czasu rzeczywistego, a w szczególności przy przesyłaniu danych z procesu do sterowników (PLC, CNC, RC). Podczas automatyzacji procesu przemysłowego wymaga się od systemu komunikacyjnego aby w określonym, stałym czasie uaktualniał obraz procesu w systemie sterującym i był zdolny do reakcji na zdarzenia obiektowe w czasie kilku ms. Sprostanie tym wymaganiom ogranicza ilość przesyłanych danych w systemie i tak w przypadku InterBus-S do 512 byte'ów w jednym cyklu.

Wspomniane już wymagania co do czasu reakcji systemu na zdarzenia obiektowe spowodowały, że protokół systemu InterBus-S został zredukowany do trzech warstw w stosunku do pełnego modelu referencyjnego RM OSI 7498 (ang. *Reference Model for Open System Interconnection*) (rys.2). Przemysłowe systemy komunikacyjne w obszarze czujników i urządzeń wykonawczych nie wymagają bowiem implementacji wszystkich siedmiu warstw modelu referencyjnego a ich zgodność z pełnym modelem ISO/OSI powodowałaby zarówno spowolnienie pracy systemu jak i podniesienie kosztów jego realizacji. Przykładem systemu w pełni zgodnego z modelem ISO/OSI jest wykorzystywany w automatyzacji procesów przemysłowych protokół MAP (ang. *Manufacturing Automation Protocol*). Struktura modelu transmisji i warstwy drugiej do przesyłania oraz odbioru pakietów danych. Warstwa siódma jest natomiast potrzebna tylko przy przesyłaniu danych parametrycznych.

Analiza właściwości komunikacyjnych urządzeń automatyki przemysłowej w obszarze czujników i urządzeń wykonawczych pokazuje, że przesyłane dane procesowe należą do dwóch głównych klas:

- a) dane wejściowe/wyjściowe procesu (dane procesowe) oraz
- b) komunikaty i parametry (dane parametryczne).

Obie wymienione tutaj klasy danych uwzględniają różne wymagania stawiane przez urządzenia automatyki przemysłowej i stanowią podstawę do tworzenia uniwersalnych i otwartych sieci komunikacyjnych.

(7) aplikacji	(Application Layer)
(6) prezentacji	(Presentation Layer)
(5) sesji	(Session Layer)
(4) transportowa	(Transport Layer)
(3) sieciowa	(Network Layer)
(2) liniowa	(Data Link Layer)
(1) fizyczna	(Physical Layer)

Rys.2 Referencyjny model komunikacyjny ISO/OSI

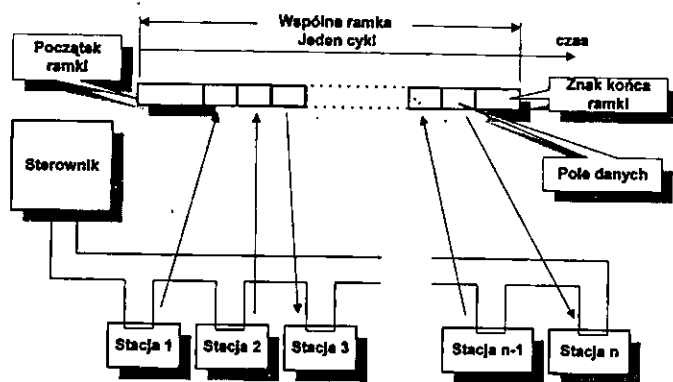
**Dane procesowe** - charakteryzują się tym, że mają bezpośredni wpływ na przebieg sterowanego procesu przemysłowego. Danymi procesowymi są na przykład stany przełączenia lub sygnały sterujące styczników i zaworów, ale także wartości nastaw dla systemu sterowania napędami elektrycznymi. Wielkość danych procesowych przypadających na urządzenie końcowe systemu automatyki (np. moduł we/wy binarnych) jest bardzo mała i zazwyczaj nie zajmuje więcej niż kilka byte'ów. Dane te mają charakter cykliczny i dlatego też ciągle uaktualniają obraz sterowanego procesu. W nowoczesnych systemach kontrolnych odświeżanie danych następuje zwykle w czasie 1-5ms.

**Dane parametryczne** - w przeciwieństwie do danych procesowych dane parametryczne (np. usługi, funkcje, komunikaty, programy) mają charakter acykliczny. Transmisja tych danych wymaga stosowania mechanizmów ochrony danych i potwierdzeń. Wielkości bloków danych parametrycznych w obszarze czujników i urządzeń wykonawczych mieści się w zakresie od 10kbyte, przy wykonywaniu prostych funkcji, do kilku Mbyte przy przesyłaniu programów. W porównaniu z wysoce dynamicznymi danymi procesowymi, wymagania czasowe dla

transmisji parametrów mogą być uważane jako niekrytyczne czasowo. Zależnie od typu urządzeń i rozległości sieci zawierają się one w zakresie od kilkuset ms nawet do kilku minut. Choć dane parametryczne i procesowe są dwoma diametralnie różniącymi się rodzajami danych, to nie oznacza to jednak, że pojedyncza aplikacja musi być obsługiwana przez dwie różne sieci, jedna dla we/wy w czasie rzeczywistym, a druga do parametryzacji urządzeń i przesyłania programów. Takie rozwiązanie oznaczałoby bowiem, że urządzenia automatyki musiałyby być wyposażone w dwa interfejsy sieciowe, co byłoby całkowicie nie do zaakceptowania dla użytkownika.

### 3. Budowa protokołu InterBus-S

System InterBus-S wykorzystuje technikę transmisji danych określaną jako metoda przekazywania wspólnej, całkowitej ramki (ang. *one total frame*) (rys.3). Taka budowa protokołu komunikacyjnego zapewnia efektywne i synchroniczne przesyłanie danych z procesu do sterownika systemu. Dzięki zastosowaniu metody wspólnej ramki oraz pierścieniowej struktury systemu uniknięto kłopotliwego adresowania urządzeń włączonych w system i co się z tym wiąże włączenie nowego elementu do sieci odbywa się bez specjalnego konfigurowania systemu.



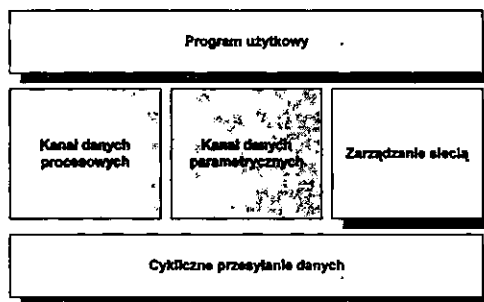
Rys.3 Metoda wspólnej ramki

Metoda wspólnej ramki jest bardzo efektywna przy przesyłaniu danych procesowych. W celu zapewnienia możliwości transmisji danych parametrycznych, w ramce systemu InterBus-S przewidziano obszar o wielkości 2 do 16 byte'ów dla urządzeń, które wymagają tego typu transmisji. Aby transmisja danych w systemie InterBus-S była efektywna, ma on dwa niezależne kanały komunikacyjne (rys.4):

- kanał danych procesowych oraz
- kanał danych parametrycznych.

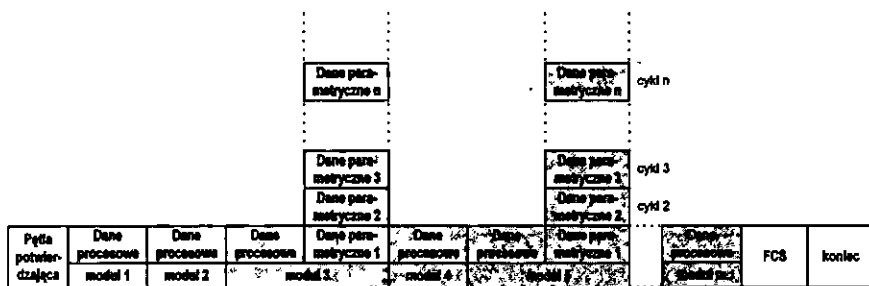
Ta dwukanałowa struktura może być zrealizowana we wszystkich elementach składowych systemu *InterBus-S*.

W rzeczywistości nie jest konieczne wykorzystywanie obu kanałów komunikacyjnych przez każdy z elementów sieci, a wydajność magistrali może być dopasowana do możliwości każdego z urządzeń pracujących w systemie. Przy konfiguracji systemu należy zdefiniować rodzaj przesyłanych danych. Rys.5 przedstawia przykład konfiguracji systemu *InterBus-S*, w którym moduły 1, 2, 4 przesyłają tylko dane procesowe, natomiast moduły 3 i 5, oprócz danych procesowych, zawierają także dane parametryczne.



Rys. 4 Kanał danych procesowych i parametrycznych w systemie *InterBus-S*

Podczas przesyłania danych parametrycznych o długości większej niż 16 byte'ów, cały blok danych dzielony jest na mniejsze segmenty, a następnie są one przesyłane w odpowiedniej kolejności do odbiorcy, gdzie są ponownie składane w jedną całość. W wyniku tego, podczas każdego uaktualnienia danych procesowych (cyklu danych), następuje także przesłanie jednego segmentu danych parametrycznych. Taki sposób przesyłania danych nie wpływa na czas trwania cyklu przesyłania danych procesowych. Złożenie informacji podzielonej na bloki jest realizowane za pomocą dodatkowego protokołu warstwy liniowej zwanego Protokołem Komunikacyjnym Urządzeń Peryferyjnych (ang. *Peripherals Communication Protocol - PCP*) (rys.6).



Rys. 5 Zasada przesyłania danych przez protokół *InterBus-S*

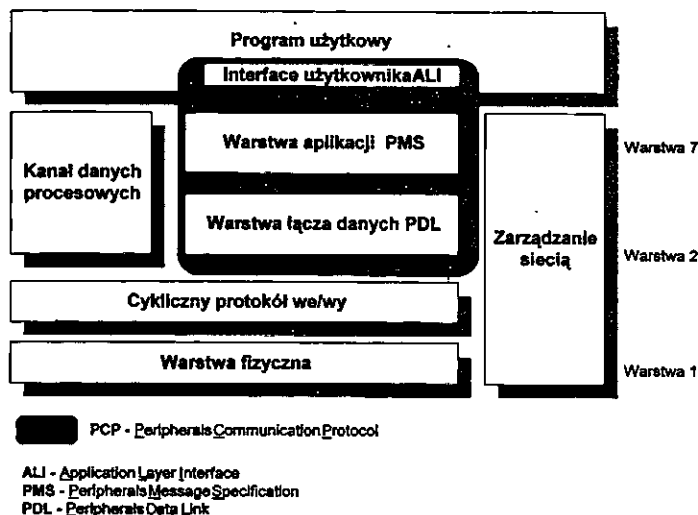
Moduł zarządzania siecią (rys.6) w systemie *InterBus-S* umożliwia konfigurowanie, uruchamianie i utrzymanie ruchu w sieci. W module zarządzania siecią zdefiniowano cztery grupy usług, które mają wpływ albo na elementy w magistralach lokalnych, albo na elementy w magistralach odległych:

1. zarządzanie systemem (ang. *system management*),
2. zarządzanie kontekstem (ang. *context management*),
3. konfiguracja (ang. *configuration management*) oraz
4. zarządzanie błędami (ang. *fault management*).

W celu zapewnienia jednoznaczności przesyłanych danych, w systemie zostały zdefiniowane pewne zasady dotyczące ich typów oraz mechanizmów wymiany. W systemie *InterBus-S* przesyłanie przez kanał danych parametrycznych odbywa się za pomocą specjalnego oprogramowania nazywanego *Peripherals Communication Protocol (PCP)* (rys.6) Protokół PCP tworzą następujące elementy:

- warstwa interfejsowa aplikacji i użytkownika ALI (ang. *Application Layer Interface*),
- usługi PMS (ang. *Peripherals Message Specification*) oraz

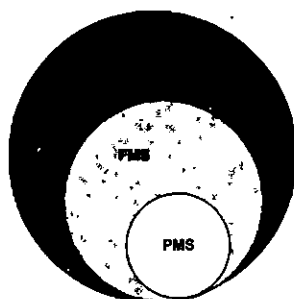
- warstwa łącza danych PDL (ang. *Peripherals Data Link*).



Rys.6 Struktura protokołu PCP (*Peripherals Communication Protocol*)

#### 4. Specyfikacja komunikatów PMS (ang. *Peripherals Message Specification*)

Celem komunikacji jest wymiana danych pomiędzy partnerami komunikacyjnymi. Aby dwa procesy użytkownika w różnych urządzeniach mogły wymieniać między sobą dane, określone także jako obiekty, to muszą one przekształcić dane procesowe na dane komunikacyjne. Aby to zrealizować, należy zarejestrować dane procesowe w tak zwanej liście obiektów (katalogu obiektów) jako obiekt komunikacyjny. Katalog obiektów jest znormalizowaną listą, do której wprowadzane są dane wraz ze swoimi własnościami. Aby wymiana danych odbywała się swobodnie i bez przeszkód, to muszą być usystematyzowane (znormalizowane) nie tylko ogólnodostępne katalogi obiektów, ale także inne takie cechy urządzeń jak np. usługi komunikacyjne. Właśnie taka jednolita forma przedstawienia urządzenia nazwana jest modelem maszyny wirtualnej (VMD).



MMS - *Manufacturing Message Specification*  
 FMS - *Fieldbus Message Specification*  
 PMS - *Peripherals Message Specification*

Rys.7 Porównanie usług PMS z usługami MMS i FMS

Jak to pokazuje rys.7, usługi PMS warstwy siódmej systemu *InterBus-S* stanowią podzbiór usług zdefiniowanych w systemie PROFIBUS-FMS (ang. *Fieldbus Message Specification*), a całość zawiera się w zbiorze usług MMS (ang. *Manufacturing Message Specification*) określonych w specyfikacji ISO/IEC 9506. Wywołanie funkcji FMS i PMS jest identyczne, a jedynie przesyłanie danych przez magistralę odbywa się za pomocą innych mechanizmów komunikacyjnych. *InterBus-S* w siódmej warstwie oferuje wiele usług, które można podzielić na trzy następujące grupy:

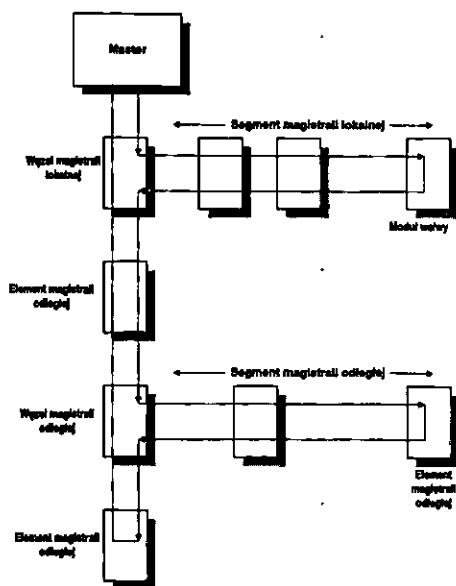
- **usługi użytkowe** - wspomagają pracę użytkownika, ułatwiają dostęp do obiektów komunikacyjnych i procesowych; do usług tych należą np. czytanie, zapisywanie zmiennych w obiekcie komunikacyjnym, pobranie biblioteki obiektów, start oraz stop wykonywania programu,
- **usługi zarządzające** - służą do wymiany informacji pomiędzy obiektami maszyny wirtualnej VMD (ang. *Virtual Manufacturing Device*); usługi z tej grupy to np. usługa informowania o statusie urządzenia ,czy też usługa identyfikująca urządzenia,
- **usługi administrujące siecią** - funkcje te ustalają pracę systemu sieciowego (magistrali) np. inicjowanie związków komunikacyjnych; do usług z tej grupy należy zaliczyć: usługę ustanowienia połączenia, usługę zmiany pozycji w CRL sterownika systemu, usługę zmiany automatycznie zaalokowanej referencji komunikacyjnej i wiele innych

## 5. Architektura systemu *InterBus-S*

Stosowane obecnie sieciowe systemy komunikacyjne wykorzystują kilka sprawdzonych rodzajów struktur topologicznych. W technice integracji elementów automatyki przemysłowej na poziomie czujników/urządzeń wykonawczych oraz sterowników używane są struktury typu magistralowego (ang. *bus*) oraz pierścienia (ang. *ring*). *InterBus-S* jest systemem o topologii pierścienia (ang. *ring*) tzn., że wszystkie urządzenia są aktywnie włączone w zamkniętą pętlę komunikacyjną. W strukturę głównego pierścienia systemu może być włączony także podsystem nazywany magistralą lokalną. Fizyczna topologia systemu jest liniowa lub trzewiasta ponieważ zarówno linie danych wejściowych jak i wyjściowych znajdują się w jednym kablu (ekranowana skrętka 3-parowa). W systemie *InterBus-S* rozróżnia się w zależności od położenia elementu w sieci oraz jego funkcji następujące klasy urządzeń (rys.8):

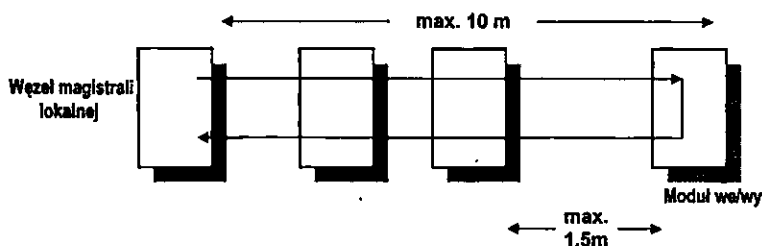
- element nadrzędny (np. sterownik),
- element przyłączeniowy (ang. *terminal bus*),
- węzeł magistrali odległej oraz
- węzeł magistrali lokalnej.

Węzeł magistrali odległej decentralizuje budowę systemu i umożliwia łączenie elementów przez kabel miedziany na odległość do 400m. Za pomocą modułu sterownika systemu IBS MA można zaimplementować do 256 węzłów magistrali odległej. Teoretycznie można uzyskać połączenie przez kabel miedziany do 102 km (= 256\*400m). W rzeczywistości zrobiono testy i zapewniono niezawodne działanie systemu *InterBus-S* w granicach 12,8 km. Uzyskanie większej odległości jest możliwe poprzez zastosowanie innego medium transmisyjnego, np. przy użyciu światłowodu już dzisiaj jest możliwe pokonanie 80 km. Obok segmentów odległych przez węzły lokalne mogą być budowane segmenty o charakterze lokalnym. Magistrala lokalna znajduje zastosowanie tam, gdzie występuje wiele sygnałów w niewielkiej odległości jeden od drugiego.



Rys.8 Topologia systemu *InterBus-S*

Typowym zastosowaniem tego typu segmentu jest szafa rozdzielcza. Są tu kierowane wszystkie sygnały z czujników i urządzeń wykonawczych, a następnie są one dołączone do elementu we/wy magistrali. Magistrala lokalna może osiągnąć do 10 m, a maksymalna odległość między dwoma elementami we/wy wynosi 1,5 m (rys.9).



Rys.9 Struktura magistrali lokalnej

## 6. Efektywność protokołu InterBus-S

Czas obiegu jednego cyklu danych w systemie InterBus-S zależy od kilku czynników i zwiększa się prawie liniowo wraz ze zwiększeniem liczby punktów wejść/wyjść. Na całkowity czas cyklu składa się przede wszystkim ilość punktów we/wy oraz w mniejszej mierze takie parametry jak ilość modułów BK, czas propagacji sygnału, długość linii systemu magistralowego czy też czas sekwencji kontrolnej. W praktyce jest dostępny prosty wzór do obliczenia czasu cyklu:

$$t_{\text{cycle}} = (13 \times (6 + n) + 1.5 \times m) \times t_{\text{Bit}} + t_{\text{SW}} + t_{\text{PH}}$$

gdzie:

$t_{cycle}$  - czas transmisji danych w milisekundach,

$n$  - długość rejestru (liczba byte'ów modułów, które są dołączone do systemu),

$m$  - liczba urządzeń terminalowych magistrali odległej,

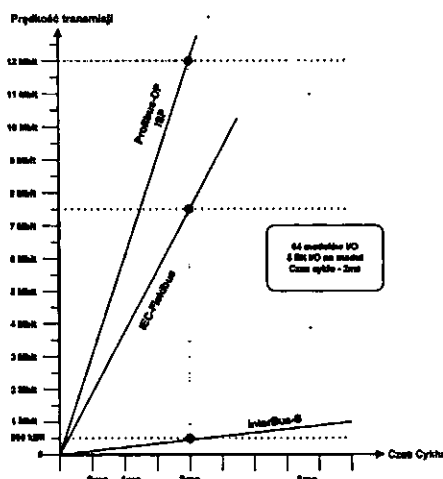
$t_{bit}$  - czas trwania bitu = 0.002ms przy prędkości 500 kbit/s,

$t_{sw}$  - czas zajęcia przez oprogramowanie = 0.2ms oraz

$t_{PH}$  - czas propagacji sygnału w medium transmisyjnym (miedz:  $t_{PH} = 0.016ms * l$  [km],

$l$  - długość kabla magistrali odległej w kilometrach.

Rysunek 10 przedstawia porównanie wymaganej prędkości transmisji danych czterech konkurencyjnych systemów komunikacyjnych typu *Fieldbus* w odniesieniu do ustalonego czasu uaktualniania danych (ang. *update time*) przy założeniu stałej liczby stacji sieciowych (węzłów). Zakłada się przy tym także, że czas cyklu wynosi 2 ms w sieci zawierającej 64 moduły I/O. Każdy moduł ma 8 kanałów wejściowych oraz 8 kanałów wyjściowych. Rysunek ten pokazuje, że system InterBus-S dla żadanego czasu cyklu 2ms wymaga prędkości transmisji danych rzędu 500 kbit/s. Natomiast rozwiązanie takie jak na przykład IEC Fieldbus wymaga prędkości transmisji 8 Mbit/s, a Profibus-DP wymaga więcej niż 10 Mbit/s.



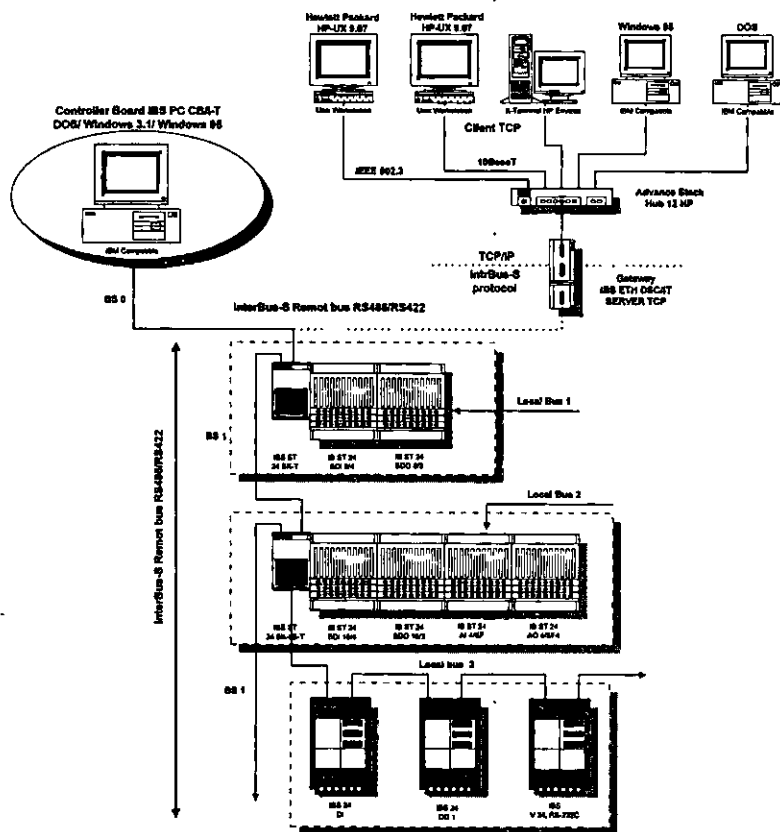
Rys. 10 Wymagana prędkość transmisji systemu magistralowego w zależności od założonego, stałego czasu cyklu wg [1]

Przykład ten pokazuje, że czas uaktualnienia danych w systemie (ang. *update time*) jest czynnikiem decydującym o wyborze systemu magistralowego. Wymagany czas uaktualniania danych bezpośrednio wpływa na prędkości transmisji danych w systemie magistralowym. Natomiast redukcja tego czasu zwiększa wymagania dotyczące prędkości transmisji, a także związanej z nią jakości medium transmisyjnego.

## 7. Pilotowa sieć InterBus-S w laboratorium Centrum Systemów Produkcyjnych ITMiA

Instalacja pilotowa sieci InterBus-S w laboratorium Centrum Systemów Produkcyjnych zawiera dwa niezależne systemy sterowania tzw. *IBS Master Board*. Pierwszy z nich to komputer PC, który jest wyposażony w kartę sterownika systemu InterBus-S. Pracuje on pod kontrolą systemu operacyjnego DOS oraz Windows 3.1/95.





Rys.11 Sieć systemu InterBus-S w laboratorium CSP ITMiA

Komputer ten wyposażony jest także w oprogramowanie firmowe do diagnostyki, monitorowania i konfigurowania systemu InterBus-S - IBS CMD. Aktualnie w Instytucie ITMiA prowadzone są również prace programistyczne dotyczące systemów kontroli i wizualizacji sieci. Wykonywane są także różnego rodzaju testy funkcjonalne, sprawdzające działanie systemu w trybie adresowania fizycznego i logicznego oraz testowane są funkcje systemowe odpowiedzialne za tzw. definicję grup. Określają one zachowanie się systemu w sytuacjach awaryjnych. Drugim systemem sterowania IBS Master Board jest brama InterBus/TCP. Interfejs do sieci IEEE 802.3 oraz zarządzanie siecią są realizowane za pomocą specjalnej karty wyposażonej w procesor 80386, pamięć 2MByte DRAM oraz 128KByte SRAM. Brama ta jest także wyposażona w system operacyjny czasu rzeczywistego RTX DOS. Brama stanowi interfejs do Unix'owych stacji roboczych HP715, które pełnią rolę nadrzędną w całym laboratorium CSP i integrują pozostałe segmenty sieci pilotowej. Aktualnie prowadzone są prace nad udostępnieniem interfejsu API InterBus-S do programów aplikacyjnych dla systemu HP-UX 9.07 oraz prace zmierzające do integracji systemu IBS z nadrzędnym systemem sterowania procesów przemysłowych Factory Link. Ponieważ system InterBus-S jest systemem typu *Mono-Master*, to w jednej chwili może pracować tylko jedna jednostka *Master Board*. Okablowanie systemu zbudowane jest na bazie 3-parowej, ekranowanej skrętki. System InterBus-S korzysta ze znormalizowanego interfejsu transmisyjnego RS485/RS422. Przewiduje się także zastosowanie światłowodu szklanego poprzez konwertery RS422/FO. W chwili obecnej pilotowy system IBS ma dwa segmenty

magistrali odległej BS0 i BS1, które mogą się rozciągać na odległości do 400m każdy oraz 3 segmenty magistrali lokalnej, integrującej końcowe urządzenia wejść/wyjść binarnych i analogowych. Urządzenia te będą w przyszłości sterować modelami obiektów przemysłowych.

## 8. Podsumowanie

Jak się przewiduje, w przyszłości systemy sterowania w automatyce przemysłowej będą wymagały elastycznych oraz otwartych rozwiązań. Obecnie zauważa się także nowe tendencje w systemach sterowania automatycznego, zmierzające do decentralizacji mocy obliczeniowej. Rozproszone aplikacje systemów czasu rzeczywistego, to wciąż otwarta dziedzina dla projektantów systemów sterowania. System komunikacyjny InterBus-S, to jedna z propozycji rozwiązania tego problemu. Przeprowadzone badania wykazały, że system *InterBus-S* spełnia wymagania stawiane komunikacji na poziomie czujników i urządzeń wykonawczych. Szczególną zaletą tego systemu jest możliwość dokładnego obliczenia czasu reakcji systemu na zdarzenia obiektowe, co pretenduje ten system do zastosowań w aplikacjach wymagających reakcji w czasie rzeczywistym. Od roku 1993 stał się on standardem komunikacyjnym w Niemczech (norma DIN 19258).

## Literatura

- [1] Blome W., Borst W.: *Elektronik*, 1/94, Franzis-Verlag GmbH
- [2] Baginski A., Müller M.: *InterBus-S. Grundlagen und Praxis*, Hüthig Buch Verlag GmbH, Heidelberg 1994
- [3] Phoenix Contact: *InterBus the Sensor/Actuator Bus*, 1994
- [4] Phoenix Contact: *Peripherals Communication Protocol - Reference Manual*, 1994
- [5] Skura K., Smalec Z., Reiner J., Trzciniński P., Mrzygłód M.: *PBZ-3105. Sieciowe systemy komunikacyjne integrujące automatyzację wytwarzania. Etap IV*, Raporty Inst. Technol. Maszyn i Automat. PWr serii: Sprawozdania nr 1/97, Wrocław 1996