

*dr hab.inż., prof. PS Wieńczysław Daca*  
*mgr inż. Bolesław Małecki*  
*Instytut Automatyki Przemysłowej*  
*Politechnika Szczecińska*

## **MECHANIZMY ZWIĘKSZAJĄCE PEWNOŚĆ PRZESYŁU DANYCH W SZEREGOWYCH ŁĄCZACH KOMUNIKACYJNYCH W AUTOMATYCE**

*W referacie opisano mechanizmy zwiększające pewność przesyłu danych stosowane w standardach PROFIBUS i CAN. Wykazano, że protokół CAN zapewnia większą pewność przesyłu danych lecz jego obsługa jest bardziej skomplikowana.*

## **MECHANISMS TO INCREASE RELIABILITY OF DATA TRANSMISSION IN SERIAL COMMUNICATION INTERFACES USED IN AUTOMATION**

*The paper describes mechanisms for protection of data transmission that are used in standards Profibus and CAN. Document mentions that CAN protocol is more reliable but on the other hand it is more sophisticated*

### **1. WSTĘP**

Sieci przemysłowe stanowią kręgosłup nowoczesnych rozproszonych systemów automatyzacji, znajdujących coraz szersze zastosowanie w automatyzacji obiektów przemysłowych. Tego rodzaju systemy pozwalają na podział złożonych zadań sterowania na mniejsze podzadania wykonywane oddzielnie. W systemach tych jest niezbędne zapewnienie efektywnej komunikacji między rozproszonymi układami automatyki. Wraz z rosnącą popularnością zastosowań sieci przemysłowych w systemach automatyzacji i różnorodnością stosowanych rozwiązań sieci, istotnym problemem stało się ustalenie rekomendowanych standardów sieci.

Podanie jednoznacznej recepty na dobór tej czy innej sieci do danej aplikacji jest trudne z uwagi na zachodzenie podstawowych cech każdej z nich na siebie. Możliwe jest jednak wyselekcjonowanie właściwego rozwiązania na podstawie szczególnych własności pokazanych w pracy. Do podstawowych kryteriów wyboru systemów sieciowych zaliczamy: szybkość transmisji, zachowanie się sieci przy różnym obciążeniu, determinizm odpowiedzi metodę dostępu do warstwy fizycznej sieci. Obecnie największym zainteresowaniem ze strony użytkowników cieszą się protokoły z rodziny PROFIBUS oraz CAN. Wynika to z dużego spektrum możliwości jakie dostarczają oraz dostępności urządzeń pracujących w ich środowisku.

## 2. PROFIBUS

### 2.1. Standardy PROFIBUS

Standard PROFIBUS został opracowany w Niemczech. W roku 1991 została dla niego opracowana norma międzynarodowa. PROFIBUS bazuje na magistrali, w której stacje master tworzą pierścień logiczny i zarządzają prawem wystąpienia za pomocą metody tokenpassing. Protokół PROFIBUS zezwala na rozmiar sieci do 4800 metrów, a maksymalna liczba stacji równa jest 126. Występują trzy warianty sieci PROFIBUS stosowane dla różnych obszarów zastosowań:

- PROFIBUS-FMS (PROces Field Bus – Fieldbus Message Specification). Formalnie wariant ten służy do realizacji obszernych zadań komunikacji z synchronicznym i asynchronicznym transferem danych średniej szybkości. Poprzez swoje usługi PROFIBUS-FMS jest funkcjonalny i elastyczny. PROFIBUS-FMS jest dostępny od roku 1990 jako standard DIN 19 245 część 1.
- PROFIBUS-DP (Decentralized Peripherals). Jest to wersja otrzymana poprzez zoptymalizowanie protokołu PROFIBUS-FMS i jest zadedykowana do komunikacji ograniczonej czasowo pomiędzy systemami automatyki. PROFIBUS-DP bazuje na normie DIN 19 245 część 1 i 3.
- PROFIBUS-PA (Process Automation). PROFIBUS-PA jest wersją PROFIBUS do użytku w procesach automatyki, oferuje usługi transmisyjne wyspecjalizowane w IEC 1158-2, zapewniając bezpieczną transmisję danych i zasilanie urządzeń w środowisku grożących wybuchami. PROFIBUS-PA bazuje na normie DIN 19 245 część 4.

### 2.2. Formaty ramek PROFIBUS-DP

SD1	DA	SA	FC	FCS	ED
-----	----	----	----	-----	----

1. Format ze stałą długością informacji, bez pola danych

SD3	SA	DA	FC	DATA_UNIT	FCS	ED
-----	----	----	----	-----------	-----	----

2. Format ze stałą długością informacji oraz polem danych

SD2	LE	LEr	DA	SA	FC	DATA_UNIT	FCS	ED
-----	----	-----	----	----	----	-----------	-----	----

3. Format z niestałą długością informacji oraz polem danych

SD4	DA	SA
-----	----	----

4. Telegram formatu Token

Oznaczenia:

SDx - znacznik startu

DA - adres modułu przeznaczenia określa stację (lub stacje), dla której przeznaczona jest ramka. DA może być unikalnym adresem fizycznym stacji, adresem grupowym przeznaczonym dla kilku stacji lub adresem rozgłoszeniowym dla wszystkich stacji w sieci lokalnej).

SA - adres modułu nadawczego (SA jest adresem źródła, określa adres stacji wysyłającej ramkę).

- FC - pole sterujące (informacje o rodzaju ramki, tzn. czy jest ona ramką danych LLC lub jedną z ramek sterujących. Ramki sterujące realizują protokół TOKEN BUS).
- FCS - sprawdzenie sekwencji ramki (suma kontrolna ramki, która jest 32-bitowym słowem zabezpieczającym część informacyjną ramki, wypracowana na podstawie wszystkich bitów ramki począwszy od FC).
- LE - długość informacji (4 – 249)
- LEr - powtórzenie długości informacji
- DE - znacznik końca ramki

Rys. 1. Przegląd podstawowych telegramów (formatów ramek) w formacie HD4 protokołu PROFIBUS

Transmisja danych odbywa się blokami w postaci tzw. Telegramów o różnym formacie ramki. Ramka telegramu może zawierać stałą lub zmienną długość pola informacji. Maksymalna długość ramki telegramu wynosi 256 bajtów (w tym 246 bajtów danych). Przed wykonaniem transmisji ramka telegramu jest przekształcana w znaki. Wstąpienie błędu w znaku lub ramce telegramu powoduje odrzucenie przesyłanej informacji i konieczność powtórzenia transmisji. Ramka zawiera pole sumy kontrolnej oraz znaczniki początku i końca ramki. Każdy znak zawiera bit przystości oraz bit startu i stopu.

Protokół PROFIBUS oferuje dwa formaty telegramów. Pierwszy z formatów charakteryzuje się dystansem Hamminga o wartości 2 (HD2), drugi zaś wartością 4 (HD4) dla transmisji danych. Dystans Hamminga jest miernikiem bezpieczeństwa systemu kodowania wpływającym na częstotliwość występowania błędów transmisji. Określa maksymalną liczbę miejsc, w których sąsiadujące kombinacje kodów mogą się różnić. Poprzez zwiększenie nadmiarowości można zwiększać dystans Hamminga jednocześnie zmniejszając wydajność transmisji. W praktyce częściej korzysta się z formatu gdzie dystans Hamminga wynosi 4 (HD4).

### 2.3. Funkcje diagnostyczne dostępne w standardzie PROFIBUS-DP

Diagnostyczne funkcje PROFIBUS-DP umożliwiają szybką lokalizację usterki. Wartości diagnostyczne są transmitowane na szynę i pobierane przez moduł master. Wiadomości są podzielone na trzy poziomy:

- diagnostyka stacji (wiadomości zawierają informacje o nieprawidłowym stanie urządzeń jak np.: przegrzanie, niskie napięcie,...)
- diagnostyka modułów (wiadomość tego typu wskazuje na wystąpienie usterki związanej z nieprawidłowym zakresem wejść lub wyjść)
- diagnostyka kanału (wiadomość tego typu wskazuje na wystąpienie błędu w indywidualnym, pojedynczym bicie wejścia lub wyjścia).

## 3. CAN

### 3.1. Standardy CAN

CAN jest definicją zaawansowanego protokołu szeregowego przesyłania danych. Przy użyciu protokołu CAN można tworzyć sieci lokalne w zastosowaniach przemysłowych, takich jak linia produkcyjna w przemyśle motoryzacyjnym. Dzięki zastosowaniu sieci CAN ogranicza się okablowanie oraz zwiększa możliwości diagnostyki i zarządzania. Sieć CAN jest komunikatywną szyną danych pracującą w czasie rzeczywistym, która może operować na

danych w ilości 1Mbitu na sekundę i ma doskonale opracowany system rozpoznawania błędów. Protokół CAN został wynaleziony przez niemiecką kompanię Robert Bosch do wykorzystania w przemyśle samochodowym. Wprowadzenie nowego rozwiązania miało na celu zwiększenie przepływu informacji przy jednoczesnym obniżeniu kosztów i zmniejszeniu ilości połączeń kablowych. Obecnie protokół CAN jest używany w wielu gałęziach przemysłu, jest on międzynarodowym standardem opisanym normami: ISO 11898 (dla szybkich zastosowań) oraz ISO 11519 (dla wolno zmiennych zastosowań).

### 3.2. Formaty ramek CAN

W systemie CAN dane są transmitowane i otrzymywane za pomocą ramek przesyłania. Ramki przesyłu przenoszą dane z punktu transmisji do jednego lub wielu punktów oczekujących. W protokole CAN istnieją dwa formaty ramek przesyłu.

Standardowa (wersja 2.0 A)

Rozszerzona (wersja 2.0 B)

Większość kontrolerów w wersji 2.0A wysyła i odbiera tylko standardowe formaty przesyłania. Kontrolery w standardzie 2.0B mogą wysyłać i otrzymywać dane w obu formatach 2.0A i 2.0B.

#### *Wersja 2.0A*

W standardzie CAN wersja 2.0A ramka przesyłu składa się z siedmiu różnych pól bitów:

- pole startu ramki (jeden bit)
- pole arbitrażu (jedenaście bitów)
- pole kontrolne (sześć bitów)
- pole danych (składa się od 0 do 8 bitów)
- pole CRC (piętnaście bitów)
- pole ACK (dwa bity)
- pole zakończenia ramki (siedem bitów)

Po zakończeniu ramki następuje pole przerwania (rozdzielenia) składające się z trzech bitów recesywnych. Po okresie trzech bitów przerwania szynę uważa się za zwolnioną.

#### *Wersja 2.0B*

Wersja 2.0B zawiera 29 bitów rozpoznania w odróżnieniu do 11 bitów rozpoznania w standardzie 2.0A. Wersja 2.0B ewoluowana umożliwiając jednocześnie zachowanie kompatybilności z innymi protokołami używanymi w urządzeniach powstałych wcześniej. Dzięki temu dostarczane obecnie protokoły są kompatybilne z wcześniej istniejącym formatem 2.0A.

Różnice pomiędzy protokołami są następujące:

1. W wersji 2.0B pole arbitrażu, ramki danych i ramki odległości, składa się z dwóch pól bitowych identyfikacji. Pierwsze z nich (podstawowe ID) ma długość jedenastu bitów od ID-28 do ID-18 w celu zachowania kompatybilności z wersją 2.0A. Drugie (ID rozszerzone) o długości osiemnastu bitów od ID-18 do ID-0 daje łączną długość 29. Reasumując pole arbitrażu wersji 2.0A składa się z jedenastu bitów identyfikacji i bitu RTR, natomiast wersja 2.0B składa się z 29 bitów identyfikacji, bitu SRR, bitu IDE oraz bitu RTR.
2. Rozróżnienie pomiędzy oba formatami następuje poprzez bity IDE (IDE rozszerzone).
3. Bit (Substitute Remote Request) substytucyjnej zdalnej odpowiedzi jest zawarty w polu arbitrażu. Bit SSR jest zawsze transmitowany jako bit recesywny aby zabezpieczać

arbitraż pomiędzy standardową ramką przesyłu (2.0A) a rozszerzoną ramką przesyłu (2.0B). Standardowa ramka przesyłu zawsze będzie miała priorytet w przypadku gdy obie wiadomości (dane) będą mieć tą samą podstawę identyfikacji. Pozostałe pola w protokole 2.0B są identyczne do tych z protokołu standardowego 2.0A.

Rozwinięciem kodu z pojedynczym bitem parzystości jest kod-z grupą bitów kontrolnych, stosowany m.in. do wykrywania błędów przy przesyłaniu danych za pomocą szeregowych łączy komunikacyjnych.

Blok danych jest dzielony modulo 2 przez pewną stałą, iloraz jest odrzucony, a reszta (czyli pewien ciąg bitów) jest dopisywany do bloku. Tak utworzony nowy blok jest już podzielony przez daną stałą bez reszty, jeśli jest bezbłędny. Dopisywany ciąg bitów jest określany akronimem CRC (ang. Cyclic Redundancy Check).

Sekwencja sprawdzania ramki jest pochodną cyklicznego kodu nadmiaru (cyclic redundancy code) najlepiej pasującego dla ramek gdzie liczba bitów ogranicza się do 127 ( BCH CODE). Aby wykonać obliczenia CRC wielomianu, który ma być podzielony, należy go zdefiniować jako wielomian którego współczynniki są dane poprzez pobieranie strumienia danych składającego się z: pola startu ramki, pola arbitrażu, pola kontrolnego, pola danych (jeżeli istnieje), zaś najniższych piętnaście współczynników jest równych zeru. Ten wielomian jest dzielony (współczynniki są obliczane w systemie modulo-2) przez generowany wielomian:

$$X^{15} + X^{14} + X^{10} + X^8 + X^7 + X^3 + 1$$

Reszta z podzielenia wielomianów jest transmitowana przez szynę.

### 3.3. Obsługa błędów w standardzie CAN

Istnieje pięć różnych typów błędów:

#### 1. BIT ERROR (błąd bitowy)

Jednostka wysyłająca bit na szynę również monitoruje szynę. Błąd bitu jest wykrywany w momencie, kiedy wartość bitu, który jest monitorowany jest różna od wartości bitu wysyłanego. Wyjątkiem jest wysyłanie bitu „recesywnego” podczas wypychania strumienia bitów pola arbitrażu lub ACK SLOT. Nadajnik wysyłając znacznik błędu pasywnego i wykrywając bit „dominujący” nie interpretuje tego jako błąd bitu.

#### 2. STUFF ERROR (błąd wypychania)

Błąd wypychania jest wykrywalny jako bit chwili szóstego konsekwentnego jednakowego poziomu bitu w polu wiadomości, który być powinien kodowany przez wypychanie kodowe.

#### 3. CRC ERROR (błąd CRC)

Sekwencja CRC składa się z wyniku obliczeń CRC dokonanych przez transponder. Odbiornik oblicza CRC tak samo jak transponder. Błąd CRC jest wykrywany jeśli obliczony rezultat odbiornika nie jest identyczny jak sekwencja CRC nadajnika.

#### 4. FORM ERROR (błąd formatu)

Błąd formatu jest wykrywany, kiedy ustalony format zawiera jeden lub więcej nielegalnych bitów.

#### 5. ACKNOWLEDGMENT ERROR (błąd potwierdzenia)

Błąd potwierdzenia zostaje wykryty przez transponder jeżeli nie jest monitorowany bit „dominujący” podczas ACK SLOT.

Jednostka, która wykryje wystąpienie błędu sygnalizuje to poprzez transmisję znacznika błędu. Dla „błędu aktywnego” węzła jest to „znacznik błędu aktywnego” natomiast dla „błędu

pasywnego" jest to „znacznik błędu pasywnego”. W każdym przypadku gdy błąd bitu, błąd wypchania, błąd formatu lub błąd potwierdzenia jest wykryty przez jakąkolwiek jednostkę rozpoczyna się transmisja „znacznika błędu” przez tą jednostkę w następnym bicie. Obojętnie kiedy błąd CRC zostanie wykryty, transmisja „znacznika błędu” rozpocznie się tuż za ACK DELIMITER (ogranicznikiem ACK) i będzie trwała do czasu zaistnienia „znacznika błędu” dla innych warunków.

W związku z zaistnieniem usterki urządzenie może znajdować się w jednym z trzech stanów:

- może być aktywne w stosunku do błędu,
- może być pasywne na błąd,
- może nastąpić jego odłączenie od szyny.

#### 4. PODSUMOWANIE

najbardziej rozpowszechnione w chwili obecnej standardy komunikacyjne w automatyce przemysłowej to PROFIBUS i CAN. Wydaje się, że lepsze perspektywy szerokiego stosowania ma standard CAN. Jednym z powodów tego przypuszczenia jest większa pewność przesyłu danych. Jest to okupione bardziej złożonymi mechanizmami obsługi tego protokołu. Ten problem nie obciąża bezpośrednio programisty, bowiem z reguły obsługa protokołu CAN odbywa się sprzętowo za pomocą wyspecjalizowanych układów peryferyjnych.

#### 5. LITERATURA

- [1] Robert Bosch GmbH: *CAN Specification Version 2.0 – Chuck Power*, Motorola MCTG Multiplex Applications, April 5, 1995.
- [2] *SINEC Industrial Communications Networks – SIEMENS*, Catalog IK 10 1996.
- [3] Włodzimierz Boroń: Zastosowanie standardowej sieci przemysłowej PROFIBUS w systemach monitorowania i sterowania produkcją, Konferencja AUTOMATION'97, Warszawa 1997, część 2, str. 311.
- [4] Rafał Tutaj Elmark: *Przemysłowe systemy komunikacyjne*, Konferencja AUTOMATION'97, Warszawa 1997, część 2, str. 329.
- [5] Zbigniew Smalec, Krzysztof Skura: *Przemysłowe systemy komunikacyjne FIELDBUS na przykładzie InterBus-S*, Konferencja AUTOMATION'97 Warszawa 1997, część 2, str. 345.
- [6] Jan Werewka, Andrzej Drwał, Sławomir Żaba: *Protokoły dostępu do medium fizycznego dla wybranych sieci przemysłowych*, Konferencja AUTOMATION'97, Warszawa 1997, część 2, str. 355.