ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1997
Seria: INFORMATYKA z. 32 Nr kol. 1356

Dariusz CABAN
Instytut Informatyki Teoretycznej i Stosowanej PAN
Marcin FOJCIK, Henryk MAŁYSIAK, Bartłomiej ZIELIŃSKI
Politechnika Śląska, Instytut Informatyki

# SYSTEM TRANSMISJI RADIOWEJ DLA SIECI PRZEMYSŁOWYCH

**Streszczenie.** Wykonano konwerter protokołów, umożliwiający wykorzystanie fal radiowych jako medium transmisyjnego w sieciach przemysłowych. Przeprowadzono podstawowe testy oraz przeanalizowano wpływ rozwiązania na parametry użytkowe sieci.

# RADIO DATA TRANSMISSION SYSTEM FOR INDUSTRIAL NETWORKS

**Summary.** Protocol converter, which allows to use radio waves as a transmission medium in industrial networks, has been made. Basic tests have been conducted and influence on network parameters have been analyzed.

## 1. Wprowadzenie

Przemysłowe systemy nadzoru i sterowania są z reguły systemami rozproszonymi. Stosowane w nich sieci w większości przypadków korzystają z połączeń przewodowych. W ciągu ostatnich kilku lat coraz powszechniejsze staje się tworzenie sieci stosujących media transmisyjne przewodowe i bezprzewodowe (fale radiowe i podczerwień). Przykłady zastosowań mediów bezprzewodowych podane są w [1].

Niniejsza praca dotyczy zagadnień związanych z konstrukcją i badaniami bezprzewodowego segmentu sieci przemysłowej.

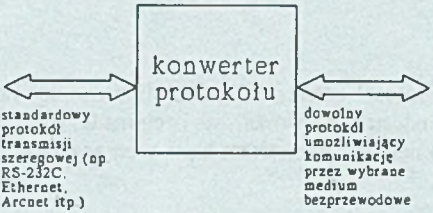
## 2. Koncepcja rozwiązania

Wprowadzenie bezprzewodowych mediów transmisyjnych zamiast standardowych połączeń kablowych powinno się odbyć w taki sposób, aby nie uległ zmianie sposób pracy sieci [2] (jest to wymóg modelu warstwowego OSI/ISO). Oznacza to konieczność dochowania standardu fizycznego i logicznego sieci.

### 2.1. Idea konwersji protokołów

Ponieważ komunikacja pomiędzy stacjami odbywa się zazwyczaj według ustalonego protokołu komunikacyjnego przy założeniu pewnych parametrów elektrycznych i czasowych, konieczne jest, aby urządzenie pośredniczące w transmisji spełniało te wymagania. Z kolei korzystanie z bezprzewodowego medium transmisyjnego narzuca pewne warunki, które muszą być spełnione przez wszystkie stacje uczestniczące w transmisji. Można więc powiedzieć, że urządzenie zapewniające współpracę sieci przewodowej i bezprzewodowej dokonuje konwersji protokołów komunikacyjnych. Ideę konwertera protokołów komunikacyjnych ilustruje rys. 1.

Oczywiście, konwersja protokołów komunikacyjnych powoduje wydłużenie czasu transmisji danych. Jest to spowodowane koniecznością przetworzenia formatu danych oraz ich buforowania.




Rys. 1. Idea konwertera protokołów transmisyjnych
Fig. 1. The idea of transmission protocol converter

### 2.2. Założenia projektu konwertera

W wyniku wstępnych prac ustalono, że projektowany konwerter będzie współpracował z sieciami przemysłowymi typu Modbus, Profibus oraz N-10. Założenie to jednoznacznie określa wymagania dotyczące interfejsu przewodowego konwertera. Z kolei wymagania interfejsu bezprzewodowego określone są przez parametry techniczne zastosowanego układu radiowego i mogą być w pewnym zakresie zmieniane.

### *2.2.1. Parametry interfejsu przewodowego*

Interfejs przewodowy konwertera musi mieć możliwość współpracy z łączem typu RS-232C [3], stosowanym w sieci Modbus [4], lub RS-485 [3], wykorzystywanym w sieciach Profibus [5] i N-10. Dla sieci Profibus konieczne jest zatem zastosowanie dodatkowego konwertera napięć RS-485/RS-232C, natomiast dla sieci Modbus konwerter taki nie jest potrzebny.

Format znaku w obu sieciach jest asynchroniczny, zgodny ze standardem RS-232C. Prędkość transmisji może wynosić 150, 300, 600, 1200, 2400, 4800, 9600 lub 19200 b/s (19200 b/s to najniższa z prędkości stosowana w sieci Profibus). Znak może zawierać 7 lub 8 bitów informacyjnych, 1 lub 2 bity stopu oraz ewentualnie bit kontroli poprawności (bit parzystości lub nieparzystości). Wymienione parametry transmisji można ustalać poprzez odpowiednie ustawienie przełączników konfiguracyjnych na płytce konwertera.

### *2.2.2. Parametry interfejsu bezprzewodowego*

Ze względu na zastosowanie modułu radiowego BiM-433-F oraz jego specyficzne wymogi dotyczące struktury przesyłanych danych, przyjęto następujące parametry łącza radiowego:

- prędkość transmisji 37500 b/s,
- transmisja asynchroniczna,
- format znaku: 8 bitów informacyjnych, 1 bit stopu,
- transmisja danych w pakietach o strukturze jak na rys. 2.

| Preambuła | Separator | Początek danych | Długość danych | Dane | Suma LRC |
|---|---|---|---|---|---|
| 20 B (AAh) | 2 B (FFh) | 2 B (01FDh) | 2 B | ≤ 32 B | 2 B |

Rys. 2. Struktura pakietu łącza bezprzewodowego
Fig. 2. Wireless link packet structure

Struktura pakietu wynika z własności zastosowanego układu radiowego, które narzucają stosowanie preambuły oraz zachowania proporcji 1:1 zer i jedynek.

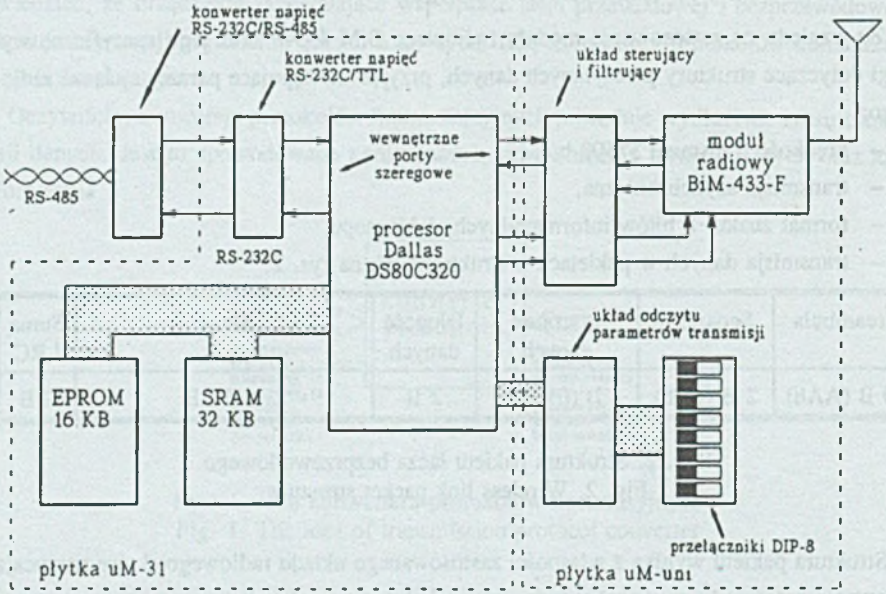
## 3. Realizacja segmentu łączności radiowej

Urządzenie do realizacji łączności radiowej w sieciach przemysłowych Modbus, Profibus i N-10 zostało wykonane jako system mikroprocesorowy bazujący na mikrosterowniku

jednoukładowym rodziny 8051 i realizujący konwersję protokołów na drodze programowej. Urządzenie to zawiera następujące podzespoły:

- mikroprocesor z pamięcią programu,
- pamięć danych dla buforowania przesyłanych danych,
- dwa porty transmisji szeregowej:
  * port pracujący w standardzie RS-232C lub RS-485, realizujący transmisję po łączu przewodowym,
  * port współpracujący z urządzeniem do transmisji radiowej,
- port równoległy do sterowania nadajnikiem-odbiornikiem radiowym,
- urządzenie do transmisji radiowej,
- przełączniki konfiguracyjne.

Schemat blokowy urządzenia przedstawiony jest na rys. 3.




Rys. 3. Schemat blokowy konwertera protokołów
Fig. 3. Block diagram of the protocol converter

### 3.1. Opis użytych elementów

W celu przyspieszenia prac konstrukcyjnych oraz zwiększenia niezawodności gotowego układu postanowiono wykorzystać gotowe podzespoły:

- płytkę $\mu$M-31 firmy Micromax [6], zawierającą kompletną jednostkę centralną dla mikroprocesora rodziny 8051, w tym podstawki dla pamięci EPROM i SRAM oraz konwerter napięć RS-232C/TTL dla jednego łącza szeregowego,
- płytkę $\mu$M-uni firmy Micromax [7], zawierającą stabilizator napięcia zasilającego oraz pole druku uniwersalnego,
- mikroprocesor Dallas 80C320 [8], zawierający 2 wewnętrzne porty szeregowej, asynchronicznej transmisji danych oraz porty równoległe,
- zewnętrzny konwerter napięć RS-232C/RS-485 [9], który po dołączeniu do konwertera protokołu umożliwia pracę z sieciami wykorzystującymi interfejs RS-485.

Zastosowano także element nadajnika-odbiornika radiowego BiM-433-F firmy Radiometrix [10] o prędkości transmisji do 40 kb/s i mocy nadajnika około 10 mW.

### 3.2. Oprogramowanie konwertera

Oprogramowanie konwertera zapewnia współpracę segmentu przewodowego i bezprzewodowego sieci komputerowej.

#### *3.2.1. Zadania oprogramowania*

Element BiM-433-F został tak zaprojektowany, że możliwa jest jego współpraca z interfejsem RS232 jedynie za pośrednictwem układu przekształcającego poziomy napięć stosowane w tym interfejsie na poziomy TTL. Taka współpraca wymusza jednak zmiany w oprogramowaniu komunikacyjnym, gdyż wykorzystanie tego elementu do transmisji informacji cyfrowej wymaga spełnienia następujących warunków:

- każda transmisja informacji musi być poprzedzona preambułą o czasie trwania minimum 3 ms dla zsynchronizowania nadajnika i odbiorników,
- dla uzyskania dużej odporności na zakłócenia w nadawanym ciągu bitów powinna być zachowana równowaga pomiędzy stanami logicznymi 0 i 1.

Zatem by spełnić wymogi określone przez warstwowy model OSI/ISO – zmiany w realizacji technicznej dowolnej warstwy (w naszym przypadku warstwy fizycznej) mają dla warstwy wyższej pozostać niewidoczne – konieczne jest zastosowanie bardziej złożonego układu pośredniczącego. W zaprojektowanym konwerterze jest to odpowiednio oprogramowany system mikrokomputerowy, którego charakterystykę przedstawiono w poprzednich rozdziałach.

Podstawową usługą udostępnianą przez warstwę fizyczną jest przesłanie pomiędzy węzłami sieci ciągu bitów z zachowaniem ich kolejności [12], bez wnikania w strukturę i zawartość przesyłanego ciągu (określa to protokół warstwy liniowej). Przeznaczony do komunikacji z węzłem sieci interfejs szeregowy konwertera jest zgodny ze standardem RS232,

parametry transmisji są zadawane na przełącznikach konfiguracyjnych. Umożliwia to wykorzystanie konwertera przy różnych protokołach warstwy liniowej, jednak z pewnymi ograniczeniami. Wynikają one z właściwości elementu BiM-433-F – transmisja dokonywana jest z użyciem jednej częstotliwości nośnej (433.92 MHz), co stanowi odpowiednik jednej linii sygnałowej w interfejsie RS232. Zakres stosowalności konwertera obejmuje tylko te sieci, w których transmisja informacji odbywa się w trybie dwukierunkowym, niejednoczesnym (ang. *half duplex*). Do takich sieci zalicza się m.in. MODBUS (protokół odpytywania) i PROFIBUS (protokół przekazywania znacznika). Parametry interfejsu szeregowego dla komunikacji bezprzewodowej są niezmienne w trakcie pracy konwertera.

W oprogramowaniu konwertera można wyróżnić trzy podstawowe części:

- obsługę łącza przewodowego dla komunikacji z węzłem sieci,
- obsługę łącza bezprzewodowego do komunikacji z konwerterami sprzężonymi ze zdalnymi węzłami sieci,
- realizującą konwersję protokołów.

### *3.2.2. Obsługa łącza przewodowego*

Odbierane przez konwerter nadchodzące z węzła sieci znaki są zapamiętywane w buforze odbiorczym. Ponieważ transmisja informacji cyfrowej z użyciem elementów BiM-433-F wymaga wstępnego zsynchronizowania nadajnika i odbiorników – uzyskuje się ją przez nadawanie ciągu na przemian 0 i 1 przez minimum 3 ms – przy prędkościach transmisji w sieci z zakresu 2400 ÷ 19200 b/s – nieopłacalne jest nadawanie przez łącze bezprzewodowe pojedynczych znaków. W zaprojektowanym konwerterze stosowana jest wydłużona do 5 ms preambuła dla zwiększenia odporności na zakłócenia. Czas trwania transmisji pojedynczego znaku przez łącze bezprzewodowe wyniesie 5.27 ms (prędkość 37500 b/s, reprezentacja na 10 bitach). Przy prędkości transmisji z podanego zakresu, zanim nadawanie tego znaku zostanie zakończone, z węzła sieci może przyjść kolejny znak (lub znaki), którego transmisja potrwa kolejnych 5.27 ms. Stąd przy takich prędkościach pomiędzy węzłem sieci a konwerterem, po łączu bezprzewodowym dane są przesyłane w postaci pakietów. Przyjęto stały rozmiar pola danych pakietu równy 16 znakom, pakiety są zabezpieczane dodatkowo 8-bitową sumą kontrolną LRC. Konwerter rozpoczyna transmisję przez łącze bezprzewodowe po zgromadzeniu w buforze co najmniej 16 znaków lub – przy mniejszej ich liczbie – po ciszy w łączu przez czas przekraczający nieco czas trwania transmisji znaku przy zadanej prędkości w łączu przewodowym.

W przypadku poprawnego odbioru pakietu z łącza bezprzewodowego otrzymane dane są kopiowane do bufora nadawczego. Dla prędkości w łączu przewodowym z zakresu 150 ÷ 1200 b/s transmisja do węzła sieci jest rozpoczynana natychmiast po wykryciu niezerowej zawartości tego bufora. Natomiast dla wyższych prędkości rozpoczęcie

transmisji jest wstrzymywane do chwili zgromadzenia w buforze pewnej, zależnej od ustawionej prędkości, liczby znaków lub - przy mniejszej ich liczbie - po ciszy w łączu bezprzewodowym przez czas nieco przekraczający czas potrzebny na przesłanie pakietu o maksymalnej długości pola danych, tj. 16 znaków. Właściwość ta umożliwia stosowanie konwertera w takich sieciach, których protokoły warstwy liniowej wykorzystują jako ograniczniki ramek ciszę w łączu przez określony czas. Do takich sieci należy sieć MODBUS w trybie transmisji RTU. Minimalna liczba znaków, pozwalająca na rozpoczęcie transmisji do węzła sieci, jest tak dobrana, że w czasie potrzebnym na ich przesłanie mogą nadejść z łącza bezprzewodowego 3 kolejne pakiety o maksymalnej długości pola danych, co zapewni ciągłość transmisji do węzła.

### *3.2.3. Obsługa łącza bezprzewodowego*

Transmisja danych szeregowych za pośrednictwem elementu BiM-433-F może odbywać się tylko w trybie dwukierunkowym niejednoczesnym. Oprogramowanie obsługi łącza bezprzewodowego musi w odpowiednich chwilach dokonywać przełączenia tego elementu z odbioru na nadawanie i odwrotnie. Konwerter stale prowadzi nasłuch łącza. Przełączenie na nadawanie następuje w momencie, gdy zostanie spełniony warunek rozpoczęcia nadawania (rozdział 3.2.2). Po wysłaniu pakietu konwerter powraca do stanu nasłuchu łącza. Nadawanie i odbiór informacji realizuje drugi z wchodzących w skład mikrosterownika DS80C320 układów transmisji szeregowej.

Znaki odbierane z łącza bezprzewodowego są gromadzone w buforze. Znaki te składają się na pakiety o ustalonej przez protokół strukturze. Analiza zawartości bufora jest realizowana przez uruchamianą cyklicznie procedurę. W przypadku wykrycia poprawnego pakietu zawarte w nim dane są kopiowane do bufora nadawczego łącza przewodowego. W przeciwnym przypadku pakiet jest odrzucany. Potwierdzanie - pozytywne bądź negatywne - odbioru nie jest stosowane.

### *3.2.4. Konwersja protokołów*

Jeśli warunek rozpoczęcia transmisji po łączu bezprzewodowym jest spełniony (rozdział 3.2.2), konwerter formuje pakiety o następującej strukturze:

- preambuła - 20 znaków o wartości AAh; przy prędkości 37500 b/s i 10-bitowej reprezentacji znaku daje to preambułę o czasie trwania ok. 5 ms;
- znacznik końca preambuły - 2 znaki FFh;
- znacznik początku danych - znaki 01h i FDh;
- długość pola danych + dopełnienie;
- pole danych + dopełnienie każdego ze znaków z tego pola;
- suma kontrolna LRC + dopełnienie.

Dopełnienia w polach 4÷6 stosuje się dla zapewnienia równowagi stanów 0 i 1 w tej części pakietu. Dopełnienie znaku tworzy się przez zanegowanie wszystkich jego bitów (wyznaczenie uzupełnienia jedynkowego znaku). Suma kontrolna LRC jest wyznaczana dla znaków w postaci prostej z pól 4÷5.

Jeśli pakiet odebrany z łącza bezprzewodowego jest poprawny, czyli gdy występuje zgodność pomiędzy sumami kontrolnymi: odebraną przez konwerter i przezeń obliczoną dla pól 4÷5 pakietu, dane z pola 4 są przekopiowywane do bufora nadawczego łącza przewodowego.

## 4. Współpraca segmentu łączności bezprzewodowej z siecią przemysłową Modbus

Skonstruowany konwerter protokołów został zastosowany do realizacji doświadczalnego segmentu sieci Modbus. Badania te wykonano w oparciu o sterowniki przemysłowe C50, C170 oraz ALSPA 8000 firmy Cegellec, stanowiące jednostki podrzędne (ang. *slave*), oraz komputer IBM PC z oprogramowaniem diagnostycznym Kronos 2.0 firmy Proloc, stanowiący jednostkę nadrzędną (ang. *master*).

Celem badań było sprawdzenie, czy wprowadzenie zmian w warstwie fizycznej sieci MODBUS pozostanie niewidoczny dla warstwy liniowej tej sieci, tzn. nie wymusi zmian w realizacji technicznej tej warstwy, oraz określenie wpływu tej zmiany na wydajność sieci. Stąd testy przeprowadzone podczas badań konwerterów można podzielić na dwie grupy:

- testy ogólne,
- testy porównawcze.

W ramach testów ogólnych sprawdzono:

- przezroczystość konwertera dla kodów stosowanych w sieci MODBUS w binarnym trybie transmisji RTU (znaki o wartościach z zakresu 00h ÷ FFh),
- zachowanie odpowiednich, charakterystycznych dla sieci MODBUS, parametrów czasowych,
- zachowanie sieci w sytuacji, gdy brak jednej z jednostek podrzędnych,
- reakcję sieci na błędy transmisji,
- pracę sieci przy próbie stworzenia zakłóceń elektrycznych,
- pracę sieci w sytuacji, gdy konwerter sprzężony z jedną z jednostek podrzędnych zostaje umieszczony w skrzyni metalowej pełniącej funkcję ekranu.

Przeprowadzone testy porównawcze miały na celu:

- porównanie szybkości transmisji dla łącza kablowego i po zmianie na łącze bezprzewodowe,

– porównanie wpływu ilości wysyłanych danych na poprawność i szybkość działania,
– sprawdzenie zasięgu układów radiowych.

### 4.1. Testy ogólne

Zaprojektowany konwerter RS-232/łącze radiowe realizuje funkcje warstwy fizycznej sieci. Podstawową usługą udostępnianą przez tę warstwę jest przesłanie pomiędzy węzłami sieci ciągu bitów z zachowaniem ich kolejności, bez wnikania w ich strukturę i zawartość przesyłanego ciągu [12]. Spełnienie założeń modelu OSI/ISO powinno zagwarantować przezroczystość konwertera dla kodów stosowanych w sieci MODBUS przy binarnym trybie transmisji - są to znaki o wartościach z zakresu 00h ÷ FFh. Badania prowadzone podczas testowania układu, po jego uruchomieniu, wykazały przezroczystość konwertera dla znaków z kodu ASCII (zakres wartości 00h ÷ 7Fh). Testy przeprowadzone w doświadczalnym segmencie sieci MODBUS wykazały, że dla znaków o wartościach powyżej 80h konwerter pozostaje przezroczysty.

Przy binarnym trybie transmisji w sieci MODBUS jako ograniczniki (ang. *delimiters*) ramek stosowane są okresy ciszy w łączu o długości zależnej od prędkości transmisji - wynosi ona 3.5 x czas transmisji znaku. Przekroczenie tego czasu powoduje zerwanie odbioru ramki. Taki wybór postaci ogranicznika ramek w sieci MODBUS wymusił odpowiednią konstrukcję oprogramowania konwertera (rozdz. 3.3.3). Ponieważ komunikacja drogą bezprzewodową pomiędzy jednostką nadrzędną a jednostkami podrzędnymi odbywała się w sposób prawidłowy, wskazuje to jednoznacznie na to, że wprowadzenie konwertera nie naruszyło wspomnianych zależności czasowych.

Sytuacja, w której na zapytanie jednostki nadrzędnej nie nadchodzi żadna odpowiedź, może wynikać z dwóch przyczyn:
– jednostka nadrzędna wysłała zapytanie do nie istniejącej jednostki podrzędnej,
– wystąpiły błędy transmisji.

Wystąpienie takiej sytuacji jest w jednostce nadrzędnej sygnalizowane upływem czasu oczekiwania na odpowiedź. Przeprowadzone badania segmentu bezprzewodowego sieci MODBUS wykazały, że zachowanie tej sieci w taki przypadkach pozostało nie zmienione. Ta część badań współpracy konwerterów RS-232/łącze radiowe z węzłami sieci MODBUS dała odpowiedź pozytywną – zastąpienie łącza kablowego łączem bezprzewodowym dla warstwy liniowej tej sieci pozostało niewidoczne. Zatem jedno z założeń siedmiowarstwowego modelu OSI/ISO zostało spełnione.

Podczas badań podjęto próbę wygenerowania zakłóceń elektrycznych. Możliwości w tym zakresie były jednak ograniczone – w wyposażeniu laboratorium brak jest obciążeń indukcyjnych dużej mocy. Jedynym źródłem zakłóceń była lutownica transformatorowa,

którą załączano blisko anteny jednego z konwerterów. Objawów błędnego działania sieci nie stwierdzono.

Przetestowano również komunikację pomiędzy jednostkami sieci w sytuacji, kiedy jedną z jednostek podrzędnych zamknięto w metalowej skrzyni. Sieć w dalszym ciągu działała poprawnie. Odległość pomiędzy komunikującymi się węzłami była jednak niewielka – rzędu kilku metrów.

### 4.2. Testy porównawcze

Dla zbadania wpływu zmiany w sieci MODBUS łącza kablowego na łącze bezprzewodowe na wydajność sieci dokonywano pomiarów czasów trwania wybranych transakcji w sieci (transakcją w sieci MODBUS nazywany jest cykl *wysłanie zapytania do jednostki podrzędnej - odbiór odpowiedzi*). W trakcie tych badań przeprowadzano następujące transakcje:

- zapis jednego słowa w sterowniku,
- odczyt jednego słowa ze sterownika,
- odczyt bloku: 16, 32, 48, 64, 80 oraz 96 słów ze sterownika.

Uzyskane wyniki pomiarów zgromadzono w tabelach 1 ÷ 6. Pomiarów czasu dokonywano z rozdzielczością 60, 20 oraz 10 ms. Zapis *Z1* oznacza zapis jednego słowa do sterownika, natomiast *Ox* - odczyt x słów.

Tabela 1

Czasy wykonania transakcji ze sterownikiem C50 na łączu kablowym

| prędkość | Z1 | O1 | O16 | O32 | O48 | O64 | O80 | 096 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 4800 b/s | 80 | 100 | 180 | 260 | 340 | 440 | 520 | 600 |
| 9600 b/s | 60 | 80 | 140 | 180 | 240 | 280 | 340 | 400 |
| 19200 b/s | 60 | 80 | 120 | 140 | 180 | 220 | 240 | 280 |

Tabela 2

Czasy wykonania transakcji ze sterownikiem C50 na łączu bezprzewodowym

| prędkość | Z1 | O1 | O16 | O32 | O48 | O64 | O80 | 096 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 4800 b/s | 180 | 220 | 300 | 400 | 480 | 560 | 620 | 700 |
| 9600 b/s | 140 | 180 | 240 | 300 | 320 | 400 | 420 | 480 |
| 19200 b/s | 120 | 140 | 220 | 280 | 320 | 360 | 380 | 440 |

Z danych zawartych w zamieszczonych tabelach wynika, że:

- różnice czasów występujące dla prędkości 4800 b/s są prawie jednakowe i niezależne od długości ramek,
- również dla prędkości 9600 b/s różnice te są słabo zależne od długości ramek,

Tabela 3

Różnice czasów wykonania transakcji ze sterownikiem C50 na obu typach łączy

| prędkość | Z1 | O1 | O16 | O32 | O48 | O64 | O80 | 096 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 4800 b/s | 100 | 120 | 120 | 140 | 140 | 120 | 100 | 100 |
| 9600 b/s | 80 | 100 | 100 | 120 | 80 | 120 | 80 | 80 |
| 19200 b/s | 60 | 60 | 100 | 140 | 140 | 140 | 160 | 160 |

Tabela 4

Czasy wykonania transakcji ze sterownikiem C50 na łączu kablowym

| prędkość | Z1 | O1 | O16 | O32 | O48 | O64 | O80 | 096 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 4800 b/s | 80 | 110 | 180 | 260 | 350 | 420 | 500 | 580 |
| 9600 b/s | 50 | 80 | 130 | 180 | 230 | 280 | 340 | 390 |
| 19200 b/s | 40 | 70 | 110 | 140 | 180 | 210 | 230 | 280 |

Tabela 5

Czasy wykonania transakcji ze sterownikiem C50 na łączu bezprzewodowym

| prędkość | Z1 | O1 | O16 | O32 | O48 | O64 | O80 | 096 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 4800 b/s | 180 | 210 | 300 | 390 | 470 | 540 | 620 | 700 |
| 9600 b/s | 140 | 170 | 230 | 290 | 320 | 380 | 430 | 470 |
| 19200 b/s | 120 | 150 | 210 | 280 | 310 | 360 | 380 | 440 |

Tabela 6

Różnice czasów wykonania transakcji ze sterownikiem C50 na obu typach łączy

| prędkość | Z1 | O1 | O16 | O32 | O48 | O64 | O80 | 096 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 4800 b/s | 100 | 110 | 120 | 130 | 130 | 140 | 120 | 120 |
| 9600 b/s | 90 | 90 | 100 | 110 | 90 | 100 | 90 | 80 |
| 19200 b/s | 80 | 80 | 100 | 140 | 130 | 140 | 150 | 160 |

- dla prędkości 19200 b/s różnice czasów wykonania poszczególnych transakcji są wyraźnie uzależnione od rozmiaru przesyłanych danych,
- najbardziej efektywna prędkość komunikacji pomiędzy jednostkami sieci Modbus poprzez łącze bezprzewodowe to 9600 b/s.

Pomiar czasu z większą rozdzielczością również wykazał, że sieć pracuje najefektywniej przy prędkości transmisji równej 9600 b/s. Również zależności pomiędzy prędkościami a rozmiarem przesyłanych danych są takie same jak poprzednio.

Użyte do konstrukcji konwerterów układy nadajników/odbiorników radiowych są urządzeniami małej mocy (ok. 10 mW), pracującymi na częstotliwości 433.92 MHz. Takie parametry techniczne umożliwiły przeprowadzenie prac badawczych bez konieczności występowania do Państwowej Agencji Radiokomunikacyjnej o przydział pasma częstotliwości oraz ponoszenie opłat za jego użytkowanie. Jednak przy takiej mocy zasięg transmisji jest

niewielki. Gdy wszystkie węzły sieci znajdowały się w jednym pomieszczeniu (odległość pomiędzy nimi wynosiła kilka metrów), komunikacja odbywała się bez zarzutu. Pogorszenie jakości transmisji wystąpiło w przypadku, gdy jeden ze sterowników został przeniesiony do innego pomieszczenia. Przy odległości bliskiej 30 m łączności nie można było w ogóle nawiązać.

## 5. Podsumowanie

Przeprowadzone badania wykazały, że transmisja radiowa może być alternatywą dla łączy przewodowych. Wykonany konwerter protokołów może stanowić prototyp urządzeń do transmisji bezprzewodowej w sieciach przemysłowych, w których stosowane są niskie prędkości transmisji. Analogicznie można wykonać urządzenie pracujące z większymi prędkościami, jednak w ramach niniejszego tematu badawczego, ze względu na koszty zakupu odpowiednich urządzeń oraz uwarunkowania prawne obowiązujące w Polsce, nie było to możliwe.

Konwerter spełnia podstawowy z przyjętych warunków – zastosowanie bezprzewodowego medium transmisyjnego nie jest widoczne dla urządzeń sieciowych i nie zmienia ich sposobu pracy. Pewnej zmianie na gorsze ulegają natomiast parametry czasowe sieci, jest to jednak cena konwersji protokołów oraz uniwersalności przyjętego rozwiązania. Konwerter realizujący tylko jeden, ściśle określony protokół łącza przewodowego z pewnością charakteryzowałby się większą efektywnością pracy. Spostrzeżenie to może stanowić podstawę dalszych modyfikacji konwertera, w szczególności zaś części oprogramowania odpowiedzialnej za ustalanie parametrów transmisji.

Wykonany konwerter protokołów, ze względu na swoje parametry użytkowe, nadaje się bardzo dobrze do eksperymentów laboratoryjnych. Jego zastosowanie w przemyśle ograniczone jest głównie niewielkim zasięgiem transmisji, który powoduje, iż przyjęte rozwiązanie nie jest konkurencyjne wobec parametrów sieci przewodowych. Zasięg ten można nieznacznie powiększyć przez zmianę układu antenowego, np. zastosowanie anteny o większych gabarytach lub anteny kierunkowej.

Oczywiście, możliwa jest modyfikacja konwerterów zapewniająca współpracę z urządzeniami radiowymi większej mocy, posiadającymi odpowiednio większy zasięg. Należy jednak zwrócić uwagę, iż cena takich urządzeń jest znacznie wyższa, a ponadto należy uzyskać zgodę PAR na używanie określonej częstotliwości oraz płacić za wykorzystanie pasma. Wydaje się zatem, iż rozwiązanie takie ma sens w przypadku tworzenia systemu transmisji bezprzewodowej dla konkretnego zamawiającego, a nie w przypadku prac naukowo-badawczych.

## LITERATURA

[1] Zieliński B.: Wybrane zagadnienia bezprzewodowej transmisji danych. ZN Pol. Śl. s. Informatyka z. 31, Gliwice 1996, s. 55-79.

[2] Zieliński B.: Bezprzewodowa transmisja danych poprzez łącze RS-232C. ZN Pol. Śl. s. Informatyka z. 32, Gliwice 1997.

[3] Mielczarek W.: Szeregowe interfejsy cyfrowe. Helion, Gliwice 1993.

[4] Modicon Modbus Protocol Reference Guide. PI-MBUS-300 rev. D, Modicon.

[5] Pimentel J. R.: Communication Architectures for Fieldbus Networks. Control Engineering, October 1989.

[6] Moduł μM-31, Instrukcja użytkownika. Micromax, Wrocław 1993.

[7] Moduł μM-UNI, Instrukcja użytkownika. Micromax, Wrocław 1993.

[8] DS80C320 High Speed Microcontroller. Dallas Semiconductor, 1996.

[9] KA-485, Konwerter interfejsu RS-232/RS-485, Dokumentacja techniczna. Yuko, Gliwice 1995.

[10] BiM-433-F Low Power UHF Transceiver. Radiometrix 1995.

[11] High-speed CMOS Logic Data. Motorola, 1989.

[12] Wolisz A.: Podstawy lokalnych sieci komputerowych. WNT, Warszawa 1992.

Recenzent: Dr hab.inż. Adam Mrózek
Prof.nadzw. Politechniki Śląskiej

Wpłynęło do Redakcji 28 listopada 1996 r.

**Abstract**

Industrial networks usually use wires to connect the controllers. In some cases it is better to use wireless connections.

Introduction of wireless transmission media should be invisible neither for users nor for the network. This condition is satisfied when transmission protocol converter is applied. An idea of protocol converter is shown on figure 1.

The protocol converter has been created to be used in industrial networks like Modbus, Profibus and N-10. The block diagram of the converter is shown on figure 3. It uses radio

transceiver that has special requirements for transmitted data format. These requirements are satisfied by radio frame format shown on figure 2.

The converter has been applied to create an experimental Modbus segment. It was tested for its transparency to the transmitted characters. It was also tested for its influence upon time parameters of the network. The results of this tests are shown in tables 1 ÷ 6.