

Dariusz CABAN

Instytut Informatyki Teoretycznej i Stosowanej, PAN

## ŁĄCZE BEZPRZEWODOWE DLA ROZPROSZONEGO WĘZŁA HIERARCHICZNEJ SIECI POŁOWEJ STEROWANEJ ROZKAZAMI JĘZYKA SCPI<sup>1</sup>

**Streszczenie.** W artykule rozpatrzono możliwości realizacji łączy bezprzewodowego dla węzłów hierarchicznej sieci polowej, w której sterowanie operacjami odbywa się za pośrednictwem rozkazów języka SCPI. Dokonano podziału dostępnych urządzeń transmisyjnych bezprzewodowych oraz zamieszczono ich charakterystyki.

## WIRELESS LINK FOR DISTRIBUTED NODE OF HIERARCHICAL FIELDBUS CONTROLLED BY SCPI COMMANDS

**Summary.** In this article possibilities of implementation of wireless link for nodes of hierarchical fieldbus, controlled by SCPI commands, are considered. Classification of available devices and their characteristics are given.

### 1. Wstęp

Klasyczne rozwiązania systemów pomiarowo-kontrolnych posiadały architekturę multiplexerową [5]. Cechą charakterystyczną tej architektury było istnienie komputera centralnego, do którego przekazywano informację pomiarową najczęściej w postaci sygnałów analogowych. W komputerze tym, po przekształceniu sygnałów analogowych na postać cyfrową, było dokonywane przetwarzanie zebranej informacji dla realizacji zadań kontrolnych systemu. Wśród wad takiego rozwiązania wymieniano: dużą podatność na uszkodzenia - uszkodzenie komputera centralnego unieruchamiało cały system, małe sprzężenie operatora z pro-

---

<sup>1</sup> Praca finansowana przez KBN w ramach projektu badawczego 302/T11/97/12

cesem, wysoki koszt okablowania, instalacji i uruchamiania systemu. Natomiast jego zaletą było stosowanie jednego standardu komunikacyjnego.

W miarę tanienia mikroprocesorów, przy jednocześnie rosnącej ich mocy obliczeniowej, oraz postępu w konstrukcji szeregowych łączy komunikacyjnych architektura multiplexerowa zaczęła tracić znaczenie na rzecz architektury sieciowej. Obecnie systemy pomiarowo-kontrolne o architekturze multiplexerowej nie są praktycznie szerzej stosowane. Wyposażenie urządzeń pomiarowo-kontrolnych w „inteligencję” pozwoliło rozproszyć przetwarzanie informacji. Zastosowanie łączy komunikacyjnych umożliwiających transmisję w obu kierunkach i łączących wiele urządzeń zwiększyło stopień sprzężenia operatora z procesem, a zarazem zmniejszyło koszty okablowania. Natomiast wadą architektury sieciowej jest duża różnorodność rozwiązań komunikacji, większość producentów aparatury pomiarowo-kontrolnej opracowała bowiem własne standardy komunikacyjne. Niektóre z nich zyskały dużą popularność i z biegiem czasu stały się bądź standardami krajowymi, bądź międzynarodowymi standardami *de facto*. Brak jednolitego standardu komunikacyjnego utrudnia sprzęganie w sieć urządzeń pochodzących od różnych producentów. Prowadzone są prace nad takim standardem (IEC Fieldbus, norma DIS 1158), trudno jednak określić moment jego wejścia do powszechnego użytku.

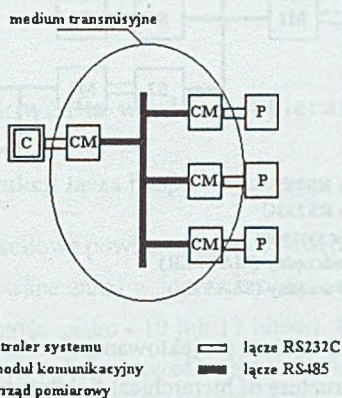
Charakterystyki szeregowych łączy komunikacyjnych dla zastosowań w systemach pomiarowo-kontrolnych, zwanych sieciami polowymi, można znaleźć w wielu pozycjach literaturowych (np. [2, 6, 9]), wiele informacji na ich temat można również napotkać w Internecie. W większości są to rozwiązania wykorzystujące przewodowe nośniki transmisyjne. W pewnych przypadkach ułożenie połączeń przewodowych albo nastęrcza zbyt wiele trudności, albo jest niemożliwe. Jeśli system zawiera elementy ruchome, nośniki bezprzewodowe stanowią jedyne rozwiązanie komunikacji. W niniejszym artykule zostaną przedstawione środki transmisji bezprzewodowej oraz wskazane możliwości ich zastosowań w realizowanej w ramach projektu badawczego 302/T11/97/12 hierarchicznej sieci polowej sterowanej rozkazami języka SCPI.

## **2. Koncepcja hierarchicznej sieci polowej sterowanej rozkazami języka SCPI**

### **2.1. Cechy charakterystyczne sieci**

Koncepcja rozważanej sieci, będącej w stadium projektowania, została przedstawiona w pracy [7]. Sieć ta ma stanowić medium transmisyjne dla rozproszonego systemu pomiarowo-kontrolnego, przeznaczonego do zastosowań w środowisku laboratoryjnym lub przemysło-

wym, opartego na urządzeniach wyposażonych w interfejs standardu RS232C (rys. 1). Założono, że przesyłane bloki danych będą niedużych rozmiarów, czasy odpowiedzi nie będą krytyczne. Jak widać na rysunku 1, łącze fizyczne tej sieci jest łączem wielopunktowym. Taka architektura narzuca rozwiązanie elektryczne tego łącza. Spośród dostępnych, a zarazem stosunkowo tanich, interfejsów szeregowych dla realizacji łącza wielopunktowych wybrano interfejs standardu RS485. Umożliwia on przyłączenie do wspólnej magistrali, o maksymalnej długości 1200 m, do 32 węzłów. Z przyjętej architektury łącza fizycznego oraz faktu, że w sieć mają być sprzęgane urządzenia z interfejsem RS232C, wynika konieczność istnienia układów pośredniczących (na rysunku 1 oznaczonych jako CM) pomiędzy tymi urządzeniami a magistralą. Układy te realizują więcej funkcji niż prosta zamiana sygnałów elektrycznych stosowanych w obu wymienionych interfejsach.

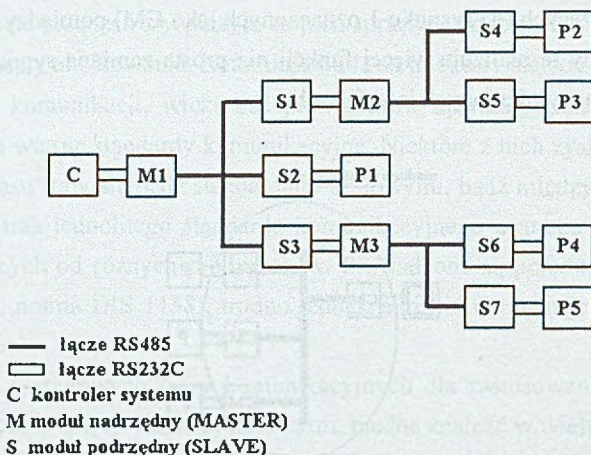


Rys. 1. Projektowana sieć polowa jako medium transmisyjne dla przyrządów pomiarowych wyposażonych w interfejs RS232C

Fig. 1. Fieldbus being designed as a transmission medium for measurement instruments equipped with RS232C interface

Przyjęto również sterowanie operacjami w sieci za pomocą rozkazów języka SCPI (ang. *Standard Commands for Programmable Instruments*). Ten wprowadzony w roku 1990 język programowania aparatury pomiarowo-kontrolnej został powszechnie przyjęty przez producentów takiej aparatury (m.in. National Instruments, Philips, Siemens, Hewlett Packard). Stanowi on uwięcenie programowego rozwoju normy IEEE-488.2. Język ten posiada strukturę hierarchiczną. Ta właśnie cecha języka SCPI nasunęła autorom pracy [7] pomysł realizacji sieci hierarchicznej sprzęgającej urządzenia pomiarowo-kontrolne programowane w tym języku i w którym byłby on dodatkowo stosowany do sterowania przepływem danych. Sieci polowe są z reguły sieciami jednopoziomowymi, gdyż są one przeznaczone do łączenia urządzeń obsługujących jeden proces technologiczny. W niektórych przypadkach celowe jest jed-

nak wydzielenie pewnych fragmentów procesu i ich niezależna obsługa. Wówczas urządzenia obsługujące owe fragmenty sprzęga się siecią polową, tworząc podsieci, które łączy się następnie poprzez sieci LAN. Z uwagi na to, że w sieciach polowych i sieciach LAN stosowane są różne protokoły komunikacyjne, konieczne jest stosowanie konwerterów protokołów. Zapropionowana koncepcja sieci hierarchicznej zakłada jednakowe sterowanie przepływem na wszystkich poziomach hierarchii, eliminując konieczność konwersji protokołów. Strukturę tej sieci przedstawia rysunek 2. Z punktu widzenia operatora cały system jest rozproszonym, wielofunkcyjnym urządzeniem pomiarowo-kontrolnym.



Rys. 2. Struktura projektowanej sieci hierarchicznej

Fig. 2. Structure of hierarchical fieldbus being designed

## 2.2. Założenia projektowe sieci

Jak widać na rysunku 2, projektowana sieć polowa ma strukturę wielopoziomową, reprezentowaną przez drzewo sieci. W każdej podsieci wyróżnia się węzeł nadrzędny (MASTER) oraz węzły podrzędne (SLAVE). Węzły w ramach podsieci komunikują się wg protokołu MODBUS w trybie ASCII [6]. Zgodnie z przyjętym protokołem komunikacyjnym węzeł MASTER zarządza dostępem węzłów SLAVE do wspólnej magistrali. Wysyła on do poszczególnych węzłów podrzędnych polecenia, na które otrzymuje odpowiedzi. Możliwe jest również wysyłanie poleceń w trybie tzw. rozgłaszania, tj. kierowanych jednocześnie do wszystkich węzłów podrzędnych; w tym przypadku odpowiedzi nie są udzielane. Węzły SLAVE nie mogą zatem podejmować transmisji samodzielnie. Przejście pomiędzy kolejnymi poziomami odbywa się za pośrednictwem pary *węzeł podrzędny poziomu wyższego*  $\Leftrightarrow$  *węzeł nadrzędny poziomu niższego*. Węzły te mogą znajdować się obok siebie lub mogą być urządzeniami odległymi - w tym przypadku sprzęgające je łącze musi gwarantować komunikację

na odległość do 1200 m. Podsieci mogą pracować autonomicznie. Oznacza to, że węzeł MASTER podsieci może realizować własny cykl zbierania danych z podległych mu węzłów podrzędnych. Zebrane dane są udostępniane poziomowi wyższemu na jego żądanie.

Sterowanie pracą sieci, jak wyżej wspomniano, odbywa się za pomocą rozkazów języka SCPI. Węzły można podzielić również na komunikacyjne - są to węzły stanowiące przejście między poziomami sieci - oraz wykonawcze, bezpośrednio obsługujące urządzenia pomiarowo-kontrolne. W przypadku węzłów komunikacyjnych rozkazy języka SCPI służą do adresowania, w przypadku węzłów wykonawczych określają one operację do wykonania. Rozkazy są przesyłane jako argumenty rozkazów protokołu MODBUS.

Założono również, że wszystkie węzły będą jednolite od strony sprzętowej. Przewidziano ich konstrukcję w oparciu o mikrokomputery jednoukładowe serii 8051, a więc układy popularne i stosunkowo tanie.

### 3. Łącze bezprzewodowe dla węzła sieci hierarchicznej

#### 3.1. Założenia dla konstrukcji łącza bezprzewodowego

Przyjęto, że łącze bezprzewodowe powinno spełniać następujące założenia:

- będą przez nie przekazywane znaki w formacie określonym przez tryb asynchroniczny standardu RS232C (długość znaku - 10 lub 11 bitów). Łącze ma być dwukierunkowe, przy czym transmisja nie będzie prowadzona w obu kierunkach równocześnie (ang. *half duplex*),
- prędkość będzie ustawiana w zakresie 1.2 ÷ 19.2 kb/s,
- wykorzystywane nośniki transmisyjne - fale radiowe i podczerwone.

#### 3.2. Bezprzewodowe nośniki komunikacyjne

Do realizacji transmisji danych w sieciach komputerowych wykorzystuje się następujące nośniki bezprzewodowe:

- fale radiowe,
- fale podczerwone,
- promieniowanie laserowe.

##### 3.2.1. Fale radiowe

Fale radiowe używane w łączności stanowią wycinek widma elektromagnetycznego o szerokości od 30 kHz do 300 GHz. Z tego przedziału do realizacji transmisji danych wykorzystu-

je się niemal wyłącznie zakresy VHF (30 MHz ÷ 300 MHz), UHF (300 MHz ÷ 3 GHz) oraz SHF (3 GHz ÷ 30 GHz) [1, 4].

Prędkość transmisji zależy od szerokości kanału. W systemach wąskopasmowych typowa szerokość kanału, w myśl obowiązujących w wielu krajach przepisów, wynosi 12.5 lub 25 kHz. Przepisy te określają również maksymalną prędkość transmisji przy tych szerokościach kanałów - wynosi ona odpowiednio 9.6 lub 19.2 kb/s. Obok systemów wąskopasmowych istnieją systemy z widmem rozproszonym, lepsze od tych pierwszych pod względem odporności na zakłócenia i podsłuch. Technologia rozproszonego widma wymaga kanałów o dużej szerokości, znacznie większej niż wymagana dla zadanej prędkości transmisji. Jednak stosowanie w Polsce urządzeń tego typu jest w tej chwili zabronione, dlatego też nie będą one brane pod uwagę. Prędkości stosowane w systemach wąskopasmowych odpowiadają zakresowi prędkości przyjętemu w założeniach do konstrukcji łącza bezprzewodowego dla węzła sieci hierarchicznej, stąd w dalszej części artykułu będą uwzględniane środki transmisji bezprzewodowej dla realizacji tych właśnie systemów.

Za gospodarkę widmem elektromagnetycznym są odpowiedzialne odpowiednie agencje rządowe, w Polsce - Państwowa Agencja Radiokomunikacyjna (PAR). Planując użytkowanie urządzeń transmisji bezprzewodowej, należy najpierw zwrócić się do PAR z wnioskiem o przydział kanału (kanałów), dopiero po uzyskaniu zgody przystąpić do zakupu urządzeń. Według zapewnień jednego z krajowych producentów sprzętu radiokomunikacyjnego ostatnio najczęściej przydziela się kanały z zakresu 400 ÷ 500 MHz (a więc UHF). Bez zgody PAR można użytkować urządzenia pracujące na częstotliwościach do 800 MHz przy mocy nadawania nie przekraczającej 20 mW. Przy zakupie urządzeń należy również pamiętać, że powinno ono posiadać homologację polskiego Ministertwa Łączności. Obowiązek uzyskania homologacji spoczywa na producencie lub dystrybutorze urządzeń. Jeżeli użytkownik chce zakupić urządzenie takiej homologacji nie posiadające, może wystąpić do Ministerstwa Łączności z wnioskiem o jej wydanie. Będzie on jednak w tym przypadku pokrywał koszty badań technicznych urządzenia.

Zasięg transmisji zależy od mocy nadajnika, parametrów układów antenowych: nadajnika i odbiornika oraz właściwości terenu. Teoretyczne obliczenia zasięgu służą jedynie do jego orientacyjnego oszacowania. Zależność zasięgu od właściwości terenu sprawia, że trudno przewidzieć, jaka będzie słyszalność nadajnika w różnych kierunkach. Dlatego też stosuje się próbne uruchomienie nadajnika w celu zbadania, czy w pożądanym miejscach uzyskuje się zadowalającą jakość odbioru. Zebrane dane doświadczalne umożliwiają dokonanie poprawek mocy nadajnika [10].

### 3.2.2. Fale podczerwone

Do transmisji danych cyfrowych przy użyciu tego nośnika wykorzystuje się fale z zakresu bliskiej podczerwieni, tj. o długościach  $780 \div 1500$  nm, najczęściej  $850 \div 950$  nm. Eksploatacja urządzeń tego typu nie wymaga zgody agencji odpowiedzialnych za gospodarkę widmem elektromagnetycznym. Możliwe są trzy sposoby wykorzystania fal podczerwonych jako nośnika transmisyjnego [4]:

- podczerwień skupiona - dla realizacji łączy typu punkt-punkt. Stosowana jest bardzo wąska wiązka promieniowania, wymagana jest bezpośrednia widzialność komunikujących się węzłów;
- podczerwień rozproszona - dla realizacji łączy wielopunktowych, przy czym jest to możliwe tylko w obszarze zamkniętym. Efekt rozproszenia uzyskuje się poprzez odbicia, np. od ścian czy sufitu;
- podczerwień pseudorozproszona - dla realizacji łączy typu punkt-wielopunkt lub wielopunktowych, również w obszarze zamkniętym. Wymaga zainstalowania węzła centralnego, który rozsiewa sygnał do pozostałych węzłów. Węzły te komunikują się z węzłem centralnym za pomocą podczerwieni skupionej.

W systemach transmisyjnych wykorzystujących fale podczerwone uzyskiwane są wyższe, niż w systemach radiowych, prędkości transmisji, znacznemu ograniczeniu podlega jednak zasięg.

### 3.2.3. Światło laserowe

Promieniowanie laserowe znalazło zastosowanie przy realizacji łączy typu punkt-punkt, co wynika z własności tego promieniowania. Wymagana jest wzajemna widzialność obu węzłów. Użytkowanie takich urządzeń, tak samo jak systemów wykorzystujących promieniowanie podczerwone, nie wymaga zgody agencji odpowiedzialnych za gospodarkę widmem elektromagnetycznym. Podobnie jak w przypadku promieniowania podczerwonego możliwe jest uzyskanie dużych prędkości transmisji, lecz na stosunkowo małe odległości.

## 3.3. Urządzenia transmisji bezprzewodowej

### 3.3.1. Podział urządzeń

Najprostszym kryterium podziału urządzeń transmisji bezprzewodowej jest rodzaj wykorzystywanego nośnika. Charakterystyki stosowanych nośników bezprzewodowych zawiera poprzedni rozdział. Innym kryterium może być ich przeznaczenie, według którego wyróżniamy urządzenia:

- służące do realizacji węzłów sieci bezprzewodowej - urządzenia transmisji danych DCE współpracujące z urządzeniami końcowymi dla danych DTE,
- służące do organizacji współpracy segmentów: przewodowych i bezprzewodowych sieci - tzw. punkty dostępu,
- służące do łączenia odległych segmentów sieci przewodowych - tzw. mosty.

Oferowane na rynku punkty dostępu oraz mosty są urządzeniami specjalizowanymi, dostosowanymi do współpracy z sieciami lokalnymi, najczęściej typu Ethernet, rzadziej Token Ring. Kiedy zachodzi potrzeba realizacji punktu dostępu czy mostu w sieciach innych typów, zestawienia tych urządzeń może dokonać sam użytkownik, korzystając z urządzeń DCE, odpowiedniego oprogramowania oraz układów antenowych. Z uwagi na cechy projektowanej sieci hierarchicznej (rozdz. 2.1.) w dalszej części artykułu zostaną omówione urządzenia DCE.

Za kryterium podziału urządzeń transmisji danych DCE można przyjąć:

- typ interfejsu pomiędzy DCE a DTE,
- zakres usług transmisyjnych realizowanych przez DCE na rzecz DTE, czyli liczbę zaimplementowanych w urządzeniu warstw modelu odniesienia OSI/ISO.

Bezprzewodowe urządzenie DCE może komunikować się z urządzeniem DTE poprzez:

- łącze szeregowe,
- łącze równoległe,
- wewnętrzną magistralę systemową urządzenia DTE.

Według drugiego z wyżej wymienionych kryteriów urządzenia DCE można podzielić na realizujące:

- protokół warstwy fizycznej,
- protokół warstwy fizycznej i, pełny lub niepełny, protokół warstwy liniowej - DCE przesyła dane w formie pakietów, których zestawienia przed rozpoczęciem transmisji dokonuje albo DCE, albo DTE.

Do pierwszej grupy zaliczamy modemy, w drugiej można wyróżnić dwie podgrupy urządzeń. DCE zestawiające pakiet z danych napływających z DTE nazywane jest kontrolerem pakietowym. Należące do drugiej podgrupy karty sieciowe LAN, które w niniejszym artykule zostaną pominięte, transmitują pakiety już przez DTE przygotowane.

### 3.3.2. *Modemy*

Modem jest urządzeniem służącym do zamiany napływających z DTE danych cyfrowych na postać dostawaną do własności nośnika transmisyjnego i odwrotnie. Zakres funkcji odpowiada więc warstwie fizycznej modelu odniesienia OSI/ISO; realizacja protokołów wyższych warstw należy do zadań DTE.



Istnieje cała gama modemów, najliczniej reprezentowane są modemy radiowe, ich parametry zostały zestawione w tabeli 1. Pracują one najczęściej w paśmie  $100 \pm 200$  MHz oraz  $400 \pm 500$  MHz, przy mocy nadawania od kilkudziesięciu miliwatów do kilkunastu watów. W praktyce przy takich mocach nadawania uzyskuje się zasięgi od kilkuset metrów do kilkudziesięciu kilometrów. Komunikacja modemów radiowych z urządzeniem DTE odbywa się z reguły przez interfejs standardu RS232C w trybie transmisji dwukierunkowej niejednoczesnej, najczęściej z prędkością do 9.6 kb/s. Spełnia to w części przyjęte założenia (rozdz. 3.1.). Informacje na temat prędkości w eterze są w kartach katalogowych modemów radiowych podawane bardzo rzadko.

Możliwe są następujące typy łączy realizowanych z użyciem modemów radiowych:

- wielopunkt,
- punkt-punkt.

W pierwszym przypadku informacja wysyłana przez jeden z węzłów sieci dociera do wszystkich pozostałych, znajdujących się w zasięgu nadawcy. Ten rozsiewczy charakter transmisji uzyskuje się poprzez zastosowanie anten dookólnych. Łącza typu punkt-punkt można realizować przy użyciu anten kierunkowych lub modemów z wbudowanym trybem pracy punkt-punkt (np. modem X7200), który eliminuje konieczność stosowania takich anten. Oba modemom nadaje się ten sam adres, przy czym jest on niezbędny tylko dla ich wzajemnego skomunikowania się. Węzeł sieci nie musi umieszczać tego adresu w wysyłanych przez siebie pakietach.

Modemy radiowe mają z reguły stałą moc nadawania. Spośród modemów zestawionych w tabeli 1 wyjątek stanowi modem typu X7200, w którym moc ustawia się na zewnętrznych przełącznikach.

Tabela 1

Parametry wybranych modemów radiowych

Producent	Typ	Pasma [MHz]	Prędkość [kb/s]	Moc [W]	Interfejs DTE - DCE
Radmor SA	7052	420 - 470	4.8/9.6	1 - 4	RS232C
	7053		1.2/2.4		
AEG	Telecar 9D	146 - 174 455 - 470	0.3 - 2.4	1.5 - 15	RS232C
UDS Motorola	DR96	450 - 470	9.6	2	RS232C
Teledesign System Inc.	TS19600	30 - 50 136 - 174 403 - 430 450 - 470	0.3 - 9.6	2	RS232C
RF Solutions	X7200	458.5 -	0.15 - 19.2	do 0.5	RS232C

		485.95	(w eterze - 4.8/9.6)		
Young Design Inc.	RM96U	403-512	1.2 - 9.6	2	RS232C
	RM96T	146-512			

Modemy wykorzystujące w części bezprzewodowej fale podczerwone, podobnie jak modemy radiowe, komunikują się z DTE przez interfejs szeregowy RS232C z prędkością nawet do 115.2 kb/s. Zasięg transmisji nie przekracza kilkudziesięciu metrów. Mają one nad modemami radiowymi tę przewagę, że ich stosowanie w sieciach nie wymaga zezwoleń od agencji odpowiedzialnej za gospodarkę widmem elektromagnetycznym. Natomiast ich wadą jest wyższa cena.

Tabela 2

Parametry wybranych modemów optycznych

Producent	Typ	Długość fali [nm]	Prędkość [kb/s]	Zasięg [m]	Interfejs DTE - DCE
LASE	ELM		9.6	40 (możliwość zwiększenia zasięgu do 80 m przez zastosowanie powtarzaczy)	RS232C
Oplink Commu- nications Ltd.	OPM192	850	0.3 - 19.2	30 przy podczerwieni skupionej, 10 przy rozproszonej	RS232C
	OPM115		2.4 - 115.2		

### 3.3.3. Kontrolery pakietowe

Kontroler pakietowy odbiera z DTE dane i grupuje je w pakiety przed rozpoczęciem transmisji po łączu beprzewodowym. W zależności od typu kontrolera pakiet jest uzupełniany albo tylko sumą kontrolną albo pełną informacją adresowo-sterującą podwarstwy łącza logicznego. Kontrolery pakietowe z reguły realizują protokół podwarstwy dostępu. Zakres funkcji odpowiada więc warstwie fizycznej oraz liniowej, przy czym protokół warstwy liniowej może być pełny lub okrojony.

Oferowane na rynku kontrolery pakietowe to urządzenia radiowe, pracujące najczęściej w paśmie 400 ÷ 500 MHz, przy mocy nadawania od ułamków miliwata do kilku watów. Komunikacja z DTE odbywa się zwykle przez łącze szeregowe RS232C w trybie transmisji dwukierunkowej niejednoczesnej, najczęściej z prędkością do 9.6 kb/s, co w części spełnia przyjęte założenia do konstrukcji łącza bezprzewodowego dla węzła sieci hierarchicznej. W podwarstwie dostępu stosowany jest najczęściej protokół CSMA (ang. *Carrier Sense Multiple Access*) w wersji z unikaniem kolizji.

Kontroler FM-MDM1 jest przeznaczony do pracy tylko w łączach typu punkt-punkt.

Tabela 3

Parametry wybranych kontrolerów pakietowych

Producent	Typ	Pasma [MHz]	Prędkość [kb/s]	Moc [W]	Protokół warstwy liniowej		Interfejs DTE - DCE
					LLC	MAC	
MUEL	TNC-12	295 - 350	0.3/1.2	2, 5	AX.25	CSMA/CA	RS232C
	TNC-24	430 - 480	0.6/2.4				
	TNC12 + PM96		0.3/1.2/ 9.6				
Electronic System Technology	96C	450 - 470	0.11 - 9.6	2, 4	SDLC	CSMA	RS232C
	96F	400 - 420	0.11 - 9.6	4			RS422
	192C	450 - 470	0.6 - 19.2	2, 4			RS485
	192F	400 - 420	0.6 - 19.2	4			
RF Solutions	FM-MDM1	418	2.4	$25 \cdot 10^{-3}$	CRC + ACK	CSMA/CA	RS232C
		433		$10^{-2}$			

### 3.3.4. Zastosowanie urządzeń transmisji bezprzewodowej w projektowanej sieci hierarchicznej

Sieci komputerowe w pełni bezprzewodowe, choć ich budowa jest technicznie możliwa, stanowią raczej wyjątek niż normę [8]. Najczęściej spotyka się sieci zawierające fragmenty bezprzewodowe. Jeżeli ułożenie kabli w pewnych częściach sieci nastęrcza zbyt wiele trudności, jest niemożliwe, zbyt kosztowne czy też sieć ta zawiera w tej części węzły ruchome, realizuje się je jako segmenty bezprzewodowe. Dostęp węzłów bezprzewodowych do zasobów sieci przewodowej odbywa się poprzez punkty dostępu. Innym obszarem zastosowań urządzeń transmisji bezprzewodowej jest łączenie odległych segmentów sieci przewodowych. Trzeba jednak pamiętać, że technologia bezprzewodowa jest droższa od przewodowej, w dużej części przypadków oferuje gorsze parametry. Stąd należy ją stosować jedynie w uzasadnionych potrzebach.

W projektowanej sieci hierarchicznej założono przesyłanie danych ze stosunkowo niedużymi prędkościami. Modem czy kontroler pakietowy stanowi, co prawda niewidoczny dla węzła sieci hierarchicznej, stopień pośredniczący dla danych wysyłanych/odbieranych przez węzeł. Daje to w rezultacie pogorszenie parametrów czasowych sieci tym większe, im prędkość bitowa w eterze jest mniejsza od prędkości w łączu RS232C. Założono jednak, że czasy odpowiedzi w projektowanej sieci nie są wielkościami krytycznymi. Wyjąwszy przypadki, w których nośniki bezprzewodowe są niezastąpione przy podejmowaniu decyzji, gdzie w sieci

hierarchicznej można wykorzystać urządzenia transmisji bezprzewodowej, decydującą rolę będą odgrywać czynniki ekonomiczne. Potencjalne obszary ich zastosowań w tej sieci to bezprzewodowa realizacja podsieci (podsieć jest równoważna z segmentem) oraz łączy komunikacyjnych stopni pośredniczących między poziomami. Węzeł MASTER w podsieci bezprzewodowej będzie zatem punktem dostępu, natomiast dwupunktowe łącze *węzeł podrzędny poziomu wyższego*  $\Leftrightarrow$  *węzeł nadrzędny poziomu niższego* - mostem. W obu przypadkach będą wykorzystywane urządzenia DCE z odpowiednio dobranym typem układu antenowego.

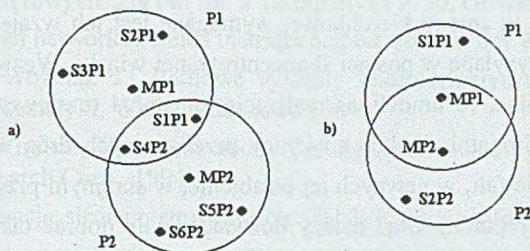
Jak wyżej wspomniano, potencjalne zastosowanie w projektowanej sieci modemów oraz kontrolerów pakietowych nie wymusi żadnych zmian w konstrukcji i oprogramowaniu węzłów sieci. Jedynie współpraca węzłów podsieci, a więc komunikujących się przez łącze RS485, z urządzeniami transmisji bezprzewodowej wyposażonych w interfejs RS232C wymaga pośrednictwa konwertera napięć stosowanych w obu standardach.

W pierwszej kolejności zostanie rozważone zastosowanie urządzeń radiowych.

Według założeń projektowych dla sieci hierarchicznej podsieci mogą pracować autonomicznie. Autonomia ta polega na tym, że węzeł nadrzędny podsieci realizuje własny cykl zbierania danych od węzłów podrzędnych; dane te są udostępniane na żądanie poziomowi wyższemu. Zatem w dowolnej chwili  $t$  w całej sieci może być prowadzona więcej niż jedna transmisja. Jeżeli w sieci występuje  $n$  bezprzewodowych części (podsieci i mostów), niezależną ich pracę zapewniłoby wydzielenie dla każdej z nich osobnego kanału częstotliwościowego. W charakterze DCE można wówczas wykorzystać modemy. Ze względu na tłok panujący w eterze - koszty przydziału kanału wąskopasmowego nie są aż tak duże - uzyskanie zgody na użytkowanie  $n$  kanałów może być niemożliwe, Gdyby udało się dostać zgodę na  $x$  kanałów, gdzie  $1 < x < n$ , można wtedy zastosować technikę wielokrotnego wykorzystywania tej samej częstotliwości, taką jak w systemach komórkowych. Należy przy tym zadbać, aby obszary, na których pracują urządzenia na tej samej częstotliwości, ze sobą nie sąsiadowały. W drugim skrajnym przypadku możemy mieć do dyspozycji tylko jeden kanał częstotliwościowy. Jeżeli niemożliwe jest przestrzenne rozdzielenie obszarów działania części bezprzewodowych, wówczas trzeba sięgnąć po te kontrolery pakietowe, które mają wbudowane mechanizmy umożliwiające współużytkowanie wspólnego kanału radiowego przez wielu użytkowników.

Kontrolery pakietowe realizują protokół dostępu z grupy protokołów CSMA. W protokole tym moment rozpoczęcia transmisji jest uzależniony od stanu łącza. Jeżeli łącze jest zajęte, zostaje on przesunięty w czasie, co umożliwi bezkonfliktowe dokończenie aktualnie prowadzonej transmisji. Prowadzenie nasłuchu łącza przed nadawaniem nie eliminuje jednak całkowicie konfliktów przy dostępie do wspólnego kanału. Może bowiem wystąpić sytuacja, że kilka kontrolerów jednocześnie rozpocznie transmisję po wykryciu stanu bezczynności łącza.

Podstawowym warunkiem poprawnego działania protokołów grupy CSMA jest wzajemna słyszalność wszystkich użytkowników łącza [3]. Jeżeli warunek ten nie jest spełniony, co może mieć miejsce w sieciach bezprzewodowych, występują wówczas zjawiska tzw. węzłów ukrytych i wystawionych. Dla wyjaśnienia istoty tych zjawisk posłużymy się rysunkiem 3. Zapis MPx oznacza węzeł MASTER podsieci x, zapis SyPx - węzeł SLAVE o adresie y w podsieci x. Okręgami zaznaczono zasięgi węzłów MASTER podsieci. Załóżmy, że węzeł MP1 wysyła informację do węzła S3P1, a węzeł MP2 chce rozpocząć nadawanie do węzła S4P2. Ponieważ MP2 nie jest w stanie wykryć już prowadzonej przez MP1 transmisji, rozpoczyna własną, wskutek czego następuje kolizja obu pakietów przy węźle S4P2<sup>2</sup>. Węzeł MP1 jest dla węzła MP2 węzłem ukrytym. W systemach bezprzewodowych kolizja niekoniecznie musi oznaczać zniszczenie wszystkich biorących w niej udział pakietów. Dzieje się tak dzięki tzw. efektowi przechwytywania, polegającemu na tym, że z kilku nałożonych na siebie pakietów odbiornik może poprawnie odebrać ten reprezentowany przez najsilniejszy sygnał. Na rysunku 3.b przedstawiono zjawisko węzła wystawionego. Węzeł MP1 prowadzi transmisję do węzła S1P1. Węzeł MP2 wykrywa stan zajętości łącza. Nie rozpoczyna więc transmisji do węzła S2P2, chociaż nadawany przez niego pakiet nie skolidowałby z pakietem odbieranym przez węzeł S1P1. Opóźnianie transmisji przez wystawiony węzeł MP2 jest zatem zbędne.



Rys. 3. Zjawisko węzłów ukrytych (a) i wystawionych (b)

Fig. 3. Phenomenon of hidden (a) and exposed (b) nodes

Prawidłowa praca bezprzewodowych fragmentów sieci hierarchicznej przy dostępnym jednym kanale częstotliwościowym i zastosowaniu kontrolerów pakietowych wymaga spełnienia pewnych warunków. Według założeń w sieci tej dopuszczalne jest istnienie w różnych podsieciach węzłów o tym samym adresie. We fragmentach bezprzewodowych musi być jednak zachowana zasada niepowtarzalności adresów. Należy ponadto zrezygnować ze stosowania w nich transmisji w trybie rozgłaszania. W najlepszym bowiem razie wszystkie bez-

<sup>2</sup> co prawda pakiet od MP1 nie jest przeznaczony dla węzła S4P2, ale jest on przez ten węzeł odbierany do czasu jego skompletowania

przewodowe węzły słyszą się nawzajem, co jest warunkiem poprawnej pracy protokołów z grupy CSMA, w gorszym warunek ten jest spełniony tylko częściowo. Przy dublowaniu się adresów w różnych częściach bezprzewodowych pakiet kierowany do węzła o adresie  $S_n$  w jednej może zostać odebrany przez węzeł o tym samym adresie w innej. Rozgłoszenie kierowane do węzłów podrzędnych jednej podsieci może zostać odebrane przez węzły z innej. Dalej, realizacja mostów, z uwagi na charakter łącza *węzeł podrzędny poziomu wyższego*  $\leftrightarrow$  *węzeł nadrzędny poziomu niższego*, nie pozwala na używanie urządzeń dowolnego typu. Jest to łącze typu punkt-punkt, a więc w przesyłanych pakietach nie występuje informacja adresowa. Istnieją dwa sposoby rozwiązania problemu braku adresowania:

- zastosowanie urządzeń pracujących z mocą poniżej 20 mW na częstotliwości poniżej 800 MHz, co w myśl polskich przepisów nie wymaga zgody PAR. Przy tej wielkości mocy można uzyskać wymaganą maksymalną odległość mostu;
- zastosowanie urządzeń pracujących na zadanym kanale i posiadających możliwość ustawienia trybu transmisji punkt-punkt. Urządzeniom stanowiącym łącze dwupunktowe przypisuje się wówczas ten sam adres (zadawany na zewnętrznym przełączniku), potrzebny jednak tylko do ich wzajemnego skomunikowania się. Dla węzła sieci ta właściwość jest niewidoczna.

Instalując urządzenie należy zwrócić uwagę na ustawienie anten. W przypadku mostów, w których stosowane są anteny kierunkowe, wymagane jest ich wzajemne nakierowanie na siebie, gdyż fale są wysyłane w postaci skoncentrowanej wiązki. Węzły podsieci są wyposażone w anteny dookólne, co umożliwia realizację transmisji rozsiewczej. Fale docierają do odbiorców różnymi drogami. Wskutek różnicy przebywanych dróg w pewnych miejscach następuje wzmocnienie fali, w pewnych jej osłabienie, w skrajnym przypadku całkowite wygaszenie (tzw. martwy punkt). Stąd należy doświadczalnie dobrać takie ustawienie anteny, które zapewni zadowalającą jakość odbioru.

Użytkowanie urządzeń wykorzystujących podczerwień nie wymaga co prawda żadnych zezwoleń, ale ich wysoka cena oraz małe zasięgi (tabela 2) sprawiają, że stanowią one raczej mało zachęcającą alternatywę dla urządzeń radiowych. Poza tym realizacja łączy wielopunktowych przy ich użyciu jest ograniczone do pomieszczeń zamkniętych i to o stosunkowo małych wymiarach.

#### 4. Podsumowanie

Technologię bezprzewodową należy traktować nie jako rozwiązanie eliminujące komunikację przewodową, ale jako jej uzupełnienie; sieci w pełni bezprzewodowe należą raczej do

wyjątków. Jest ona kosztowniejsza niż technologia przewodowa, często oferuje też gorsze parametry techniczne. Z wyjątkiem sytuacji, w których transmisja bezprzewodowa jest jedynym rozwiązaniem problemu komunikacji, należy ją stosować w uzasadnionych przypadkach, np. gdy koszt ułożenia kabli przewyższa koszty zastosowania urządzeń transmisji bezprzewodowej lub następuje zbyt wiele trudności.

W artykule przedstawiono dostępne na rynku urządzenia transmisji bezprzewodowej - modemy i kontrolery pakietowe - oraz wskazano obszary ich zastosowania w projektowanej hierarchicznej sieci polowej. Z ich użyciem możliwa jest bezprzewodowa realizacja podsieci oraz łączy komunikacyjnych między poziomowymi stopniami pośredniczącymi. Zamiana medium przewodowego na medium bezprzewodowe nie wymusi żadnych zmian w konstrukcji i oprogramowaniu węzłów sieci hierarchicznej. Pogorszą się jednak parametry czasowe sieci w częściach bezprzewodowych, gdyż na drodze danych między nadawcą a odbiorcą pojawią się dwa kolejne stopnie pośredniczące.

## LITERATURA

- [1] Caban D., Małysiak H., Zieliński B.: Możliwości realizacji bezprzewodowych segmentów sieci komputerowych. ZN Pol. Śl. s. Informatyka z. 30, Gliwice 1996.
- [2] Jordan J. R.: Serial networked fields instrumentation. John Wiley & Sons, 1995.
- [3] Kozłowski A., Woźniak J.: Radiowe systemy teleinformatyczne. w: Sobczak W.: Problemy teleinformatyki, WKiŁ, Warszawa 1984.
- [4] Llana A., Jr.: Wireless Communication. Technologies and Applications. Computer Technology Research Corp., 1994.
- [5] Michta E.: Integracja sieci przemysłowych. ZN Pol. Śl. s. Informatyka z.32, Gliwice 1997.
- [6] Mielczarek W.: Szeregowe interfejsy cyfrowe. Helion, Gliwice 1993.
- [7] Mielczarek W., Pawłowski R.: Hierarchiczna sieć polowa sterowana rozkazami języka SCPI, ZN Pol. Śl. s. Informatyka z. 33, Gliwice 1997.
- [8] Ncmzow M.: Implementing Wireless Networks. McGraw-Hill, Inc., 1995.
- [9] Pimentel J. R.: Communication Architectures for Fieldbus Networks. Control Engineering, October 1989.
- [10] Zieliński B.: Wybrane problemy bezprzewodowej transmisji danych. ZN Pol. Śl. s. Informatyka z.31, Gliwice 1996.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Andrzej Grzywak

Wpłynęło do Redakcji 9 lipca 1997 r.

## Abstract

Fieldbus being designed will connect measurement instruments, programmable in SCPI language and equipped with RS232C interface. The SCPI programming language has hierarchical structure; the fieldbus being designed also possesses hierarchical structure. Commands of this language are used not only for programming measurement instruments, they are also used for controlling of data flow in the fieldbus. Features and design assumptions of the fieldbus being designed are given in chapter 2.

In chapter 3 are examined possibilities of implementation of wireless link for nodes of the fieldbus being designed. Wireless transmission media are discussed in chapter 3.2, wireless devices: modems and packet controllers are described in chapter 3.3. Parameters of these devices are collected in tables 1 + 3. Chapter 3.4 contains description of possible applications of wireless devices in the fieldbus. Application of them will not force changes neither in hardware nor in software of fieldbus nodes.