

Bartłomiej ZIELIŃSKI*

TRANSMISJA BEZPRZEWODOWA W SIĘCIACH MODBUS

W niektórych przypadkach sieć przewodowa ogranicza możliwość uzyskania łączności z niektórymi stacjami sieci (np. ruchomymi). Dlatego też istnieje potrzeba integracji sieci przewodowej i bezprzewodowej. Aby zapewnić właściwą pracę przewodowego i bezprzewodowego segmentu sieci, należy dokonać konwersji na poziomie warstwy liniowej sieci.

Prawidłową współpracę różnych segmentów sieci może zapewnić konwerter protokołów. Jest to urządzenie mikroprocesorowe, wyposażone m. in. w pamięć programu i danych oraz interfejsy łączy przewodowego i bezprzewodowego. Układ taki ma możliwość dobrego dopasowania parametrów obu łączy. Niestety odbywa się to kosztem pogorszenia parametrów czasowych sieci, co jest spowodowane koniecznością buforowania przesyłanej informacji.

Istnieje możliwość oszacowania parametrów czasowych sieci Modbus zawierającej konwertery. Wpływ konwertera na ogólną przepustowość sieci zależy m. in. od stosowanych protokołów, a także od wielkości przesyłanej informacji.

1. WPROWADZENIE

Bezprzewodowa wymiana informacji jest coraz popularniejszą alternatywą dla sieci przewodowych. Widać to m. in. na przykładzie telefonii komórkowej. Oczywiście sieci bezprzewodowe można stosować nie tylko w łączności osobistej, lecz także w systemach nadzoru i sterowania, w których dla potrzeb przekazywania komunikatów stosuje się sieci przemysłowe [4].

Istnieje szereg przypadków, kiedy sieć przewodowa w istotny sposób ogranicza możliwość uzyskania łączności [5]. Na przykład w przypadku stacji mobilnych jedynie medium bezprzewodowe, takie jak fale radiowe lub podczerwień, może zapewnić nieprzerwaną łączność między obiektami. Ponieważ jednak zdecydowana większość sieci przemysłowych wykorzystuje media przewodowe, istotnym problemem staje się integracja segmentu przewodowego i bezprzewodowego. Musi ona być dokonana w taki sposób, aby oba segmenty, o różnych właściwościach, były możliwie jak najlepiej wykorzystane.

* Instytut Informatyki Politechniki Śląskiej, ul. Akademicka 16, 44-101 Gliwice

2. INTEGRACJA SIECI PRZEWODOWEJ I BEZPRZEWODOWEJ

Najprostszy sposób połączenia sieci przewodowej i bezprzewodowej wykorzystuje przetwarzanie sygnałów elektrycznych na fale elektromagnetyczne i odwrotnie [4]. Urządzenie spełniające to zadanie dokonuje zatem konwersji na poziomie warstwy fizycznej i pełni funkcję regeneratora. W wielu przypadkach takie rozwiązanie nie może jednak zostać przyjęte. W najlepszym przypadku mogłoby bowiem spowodować nieoptymalne wykorzystanie łączy transmisyjnych (protokoły sieci przewodowych nie zawsze pracują poprawnie w środowisku bezprzewodowym), w najgorszym zaś – zdeorganizowałoby pracę całej sieci. Jedyną zaletą konwersji na poziomie warstwy fizycznej jest brak dodatkowych opóźnień wnoszonych przez konwerter.

Z tego powodu konieczna jest integracja na poziomie warstwy liniowej. Urządzenie wykonujące to zadanie zapamiętuje przesyłane informacje i dokonuje zmiany ich formatu zgodnie z wymogami protokołów stosowanych na obu łączach. Dzięki temu możliwe jest dobre dopasowanie segmentu przewodowego i bezprzewodowego. Urządzenie takie pełni funkcję mostu. Jego wadą jest wprowadzanie dodatkowych opóźnień w procesie przesyłania danych – jest to spowodowane koniecznością buforowania informacji.

3. KONSTRUKCJA KONWERTERÓW PROTOKOŁÓW

W konstrukcji konwertera protokołów można wyróżnić [4]:

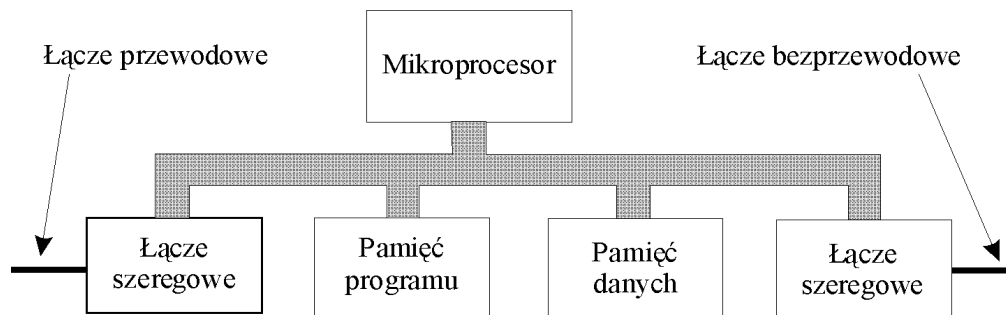
- część sprzętową,
- część programową.

3.1. KONSTRUKCJA CZĘŚCI SPRZĘTOWEJ

W sprzętowej strukturze konwertera protokołów można wyróżnić następujące elementy (rys. 1):

- mikroprocesor,
- pamięć programu,
- pamięć danych,
- interfejs łącza przewodowego,
- interfejs łącza bezprzewodowego.

Poprawną współpracę tych elementów może zapewnić odpowiednio skonstruowane oprogramowanie.



Rys. 1. Sprzętowa struktura konwertera protokołów
Fig. 1. Hardware structure of protocol converter

3.2. STRUKTURA PROGRAMU

Program sterujący konwerterem można podzielić na następujące elementy:

- procedurę inicjalizacji konwertera,
- obsługę łącza przewodowego,
- obsługę łącza bezprzewodowego,
- procedurę konwersji protokołów.

Strukturę oprogramowania (z pominięciem procedury inicjalizacji) można przedstawić jako trzy współbieżnie i cyklicznie wykonywane procesy, komunikujące się za pośrednictwem czterech buforów:

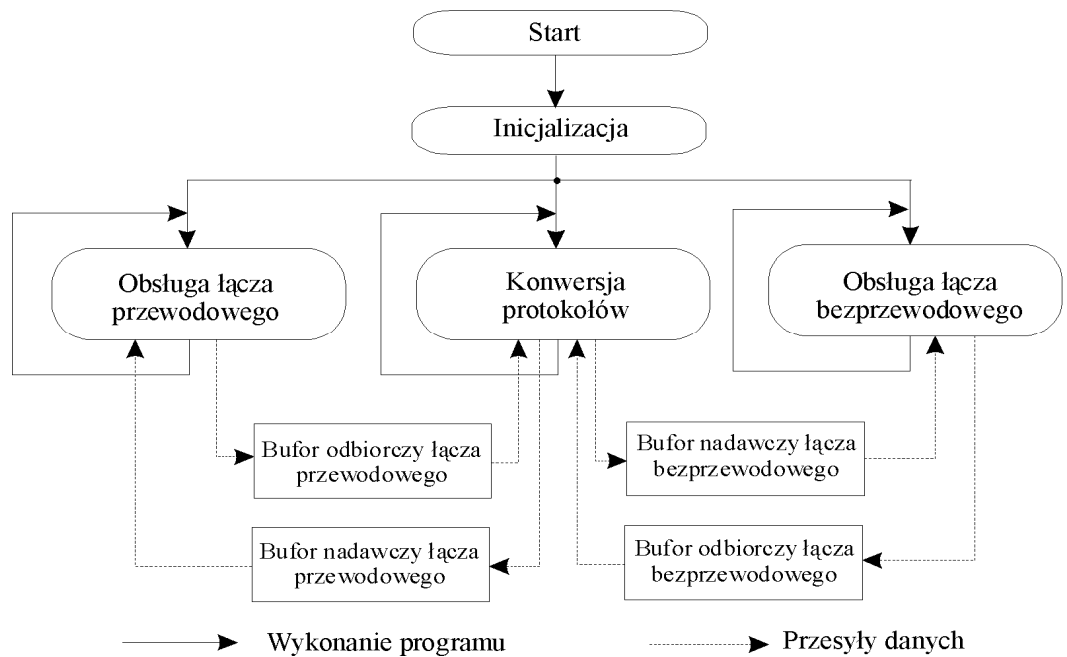
- bufora nadawczego łącza przewodowego,
- bufora odbiorczego łącza przewodowego,
- bufora nadawczego łącza bezprzewodowego,
- bufora odbiorczego łącza bezprzewodowego.

Procesy obsługi łączy komunikacyjnych (przewodowego i bezprzewodowego) mają wyższy priorytet, uzyskany dzięki mechanizmowi przerwań. Proces konwersji protokołów, jakkolwiek kluczowy z punktu widzenia całości oprogramowania, ma priorytet niższy. Strukturę oprogramowania ilustruje rys. 2.

4. PRZYKŁADOWE KONWERTERY PROTOKOŁÓW

Wpływ konwertera protokołów na pracę sieci zależy m. in. od stosowanego protokołu łącza bezprzewodowego oraz od zasad konwersji protokołów, a w szczególności od sposobu rozpoznawania końca ramki łącza przewodowego. Istnieje kilka sposobów określenia końca ramki [5]:

- wykrycie określonej sekwencji bitów (np. protokoły HDLC, Modbus ASCII),
- jawne podanie długości ramki (np. protokół Z-Modem),
- analiza typu ramki (np. sieć Profibus),
- wystąpienie na łączy ciszy o określonym czasie trwania (np. Modbus RTU).



Rys. 2. Struktura oprogramowania konwertera protokołów

Fig. 2. Structure of protocol converter software

4.1. KONWERTER DLA SIECI PRZEMYSŁOWYCH

Konwerter dla sieci przemysłowych [3] może współpracować m. in. z siecią Modbus i umożliwia dołączenie do tej sieci segmentu bezprzewodowego, pracującego zarówno w trybie ASCII, jak i RTU. Specyficzne wymagania czasowe dla drugiego z wymienionych trybów zostały uwzględnione w oprogramowaniu konwertera. Sieć Modbus może pracować w zakresie prędkości 150–19200 b/s.

Jeżeli na obszarze działania sieci bezprzewodowej znajduje się tylko jedna sieć Modbus, to ramki segmentu przewodowego zawierają całą informację, jaka jest potrzebna w części bezprzewodowej. Zastosowany w konwerterze układ nadajnika-odbiornika radiowego ma jednak specyficzne wymagania – mogą one być spełnione po przekształceniu formatu danych przez konwerter. Wszystkie potrzebne elementy są zawarte w ramce protokołu łącza radiowego, pokazanej na rys. 3.

Preambuła	Separator	Początek danych	Długość danych	Dane	Suma LRC
20 B	2 B	2 B	2 B	≤32 B	2 B

Rys. 3. Format ramki konwertera dla sieci przemysłowych

Fig. 3. Frame format of converter for industrial networks

Prędkość transmisji łącza radiowego wynosi 37500 b/s, a format znaku jest asynchroniczny (10 bitów na znak). Czas transmisji ramki, w zależności od długości pola danych ramki L_D , wynosi zatem:

$$T(L_D)[s] = 5 \cdot 10^{-3} + \frac{10[b]}{37500[b/s]} \cdot (8 + 2 \cdot L_D[B]).$$

Przesłanie najkrótszej ramki zajmuje więc 7.67 ms (włącznie z preambułą), najdłuższej zaś – 15.68 ms [2]. Czas transmisji jednego znaku łączem przewodowym zajmuje od 0,573 do 220 ms, zależnie od prędkości transmisji tego łącza. Dla prędkości 150–1200 b/s jest on dłuższy niż czas przesłania najkrótszej ramki, a więc transmisję można rozpocząć, gdy jest co najmniej jeden znak do wysłania.

Dla prędkości wyższych takie podejście jest nieopłacalne. Wysłanie ramki następuje zatem, gdy:

- z łącza przewodowego odebrano co najmniej 16 znaków, lub
- od chwili odebrania ostatniego znaku upłynął zadany czas, nieco przekraczający czas transmisji znaku przy zadanej prędkości.

Podobne zasady obowiązują po stronie odbiorczej – transmisję następuje, gdy:

- zgromadzono odpowiednią liczbę znaków; w czasie potrzebnym na ich przesłanie można odebrać 3 kolejne ramki łącza bezprzewodowego,
- od chwili odebrania ostatniej ramki łącza upłynął czas przekraczający czas transmisji jednej ramki tego łącza (15,68 ms).

Dzięki tym zasadom w trybie RTU nie następuje przerwanie ramki łącza przewodowego. Jest to dość istotne, ponieważ w tym trybie cisza na łączu oznacza koniec ramki.

4.2. KONWERTER DLA WIELOSEGMENTOWEJ SIECI MODBUS

Konwerter dla wielosegmentowej sieci Modbus [1] umożliwia pracę kilku niezależnych sieci na wspólnym obszarze i przy wykorzystaniu wspólnego łącza radiowego. Aby zapewnić niezależność segmentów przewodowych, w ramce łącza radiowego należy umieścić numer segmentu przewodowego. Konwerter, który odbierze ramkę adresowaną do innego segmentu, ignoruje informację i nie przesyła jej do sieci przewodowej. Format ramki łącza radiowego ilustruje rys. 4.

Preambuła	Znacznik początku	Długość	Numer segmentu	Dane sieci Modbus	Suma CRC
10 B	1 B	1 B	1 B	1–27 B	1 B

Rys. 4. Format ramki konwertera dla wielosegmentowej sieci Modbus

Fig. 4. Frame format of converter for multisegment Modbus network

Prędkość transmisji łącza radiowego wynosi 40 kb/s, a 1 znak jest kodowany na 12 bitach. Zależnie od długości ramki sieci Modbus L_D , czas przesyłu ramki łącza radiowego wynosi zatem:

$$T(L_D)[s] = \frac{208 + 12 \cdot (L_D + 3)[b]}{40000[b/s]}.$$

Transmisja najkrótszej i najdłuższej ramki zajmuje odpowiednio 6.4 i 13.9 ms.

Ponieważ segmenty przewodowe pracują niezależnie, możliwe jest, że w łączy radiowym nastąpi kolizja ramek pochodzących z różnych segmentów. Aby tego uniknąć, konwerter może prowadzić nasłuch łączy przed rozpoczęciem transmisji w łączy. Mechanizm ten zawarty jest w module radiowym i obejmuje następujące protokoły:

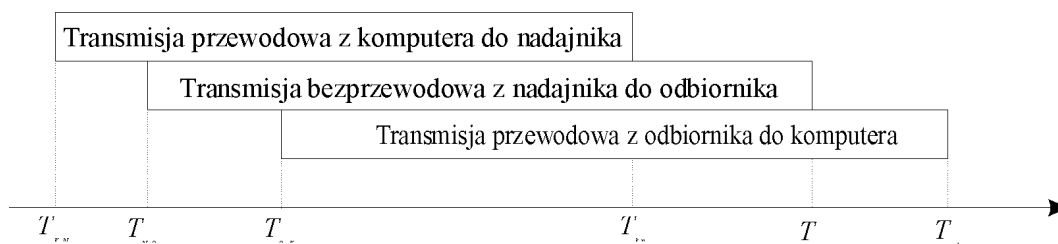
- Aloha (brak nasłuchu, natychmiastowe rozpoczęcie nadawania),
- nietrwały CSMA z możliwością ustalenia odstępu między kolejnymi próbami,
- 1-trwały CSMA.

Ponieważ konwerter może współpracować wyłącznie z siecią Modbus pracującą w trybie RTU, przyjęto założenie, że jedna ramka łączy przewodowego jest przesyłana zawsze w jednej ramce łączy bezprzewodowego. Ponadto przyjęto możliwość rozpoznawania końca ramki na podstawie innych przesłanek, niż opisane w specyfikacji sieci Modbus. Zazwyczaj przyjmuje się, że koniec ramki to cisza na łączy o czasie trwania $3.5 \times t_c$ (t_c – czas transmisji znaku). Ponieważ jednak odstęp między znakami jednej ramki nie może przekroczyć $1.5 \times t_c$, można przyjąć, że taki właśnie czas jest potrzebny na wykrycie końca ramki. Istnieje jeszcze jedna metoda – w sieci Modbus typ ramki jednoznacznie określa jej długość.

5. ANALIZA CZASOWA SIECI MODBUS ZAWIERAJĄCEJ KONWERTERY

Ponieważ konwerter protokołów buforuje przesyłane dane, transmisja w sieci zawierającej konwertery składa się z trzech etapów (rys. 5) [4]:

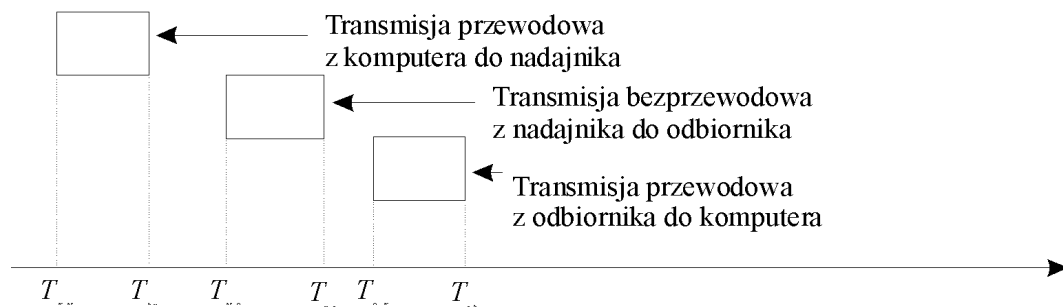
- transmisja łączy przewodowym z komputera do nadajnika ($T_{KN} - T_{kn}$),
- transmisja łączy bezprzewodowym z nadajnika do odbiornika ($T_{NO} - T_{no}$),
- transmisja łączy przewodowym z odbiornika do komputera ($T_{OK} - T_{ok}$).



Rys. 5. Transmisja dużej ilości danych w obecności konwerterów

Fig. 5. Large quantity data transmission in presence of protocol converter

Różnice w czasie rozpoczęcia i zakończenia poszczególnych etapów wynikają z konwersji protokołów. Przy odpowiednio dużym rozmiarze danych (rys. 5) etapy te przebiegają w dużym stopniu równolegle, a opóźnienie wnoszone przez konwerter jest znacznie mniejsze od całkowitego czasu transmisji i może pozostać niezauważone. Natomiast w sieci przemysłowej dominują krótkie informacje, tak więc opóźnienie może kilkakrotnie przekraczać czas transmisji w sieci bez konwerterów (rys 6).



Rys. 6. Transmisja małej ilości danych w obecności konwerterów
 Fig. 6. Small quantity of data transmission in presence of protocol converter

Parametrem charakteryzującym sieci przemysłowe jest czas trwania cyklu sieci. W sieci Modbus jest on równy sumie czasów trwania poszczególnych transakcji. Transakcja w tej sieci składa się z pytania (polecenia) wysłanego ze stacji nadrzędnej oraz odpowiedzi stacji podrzędnej. Z uwzględnieniem czasu potrzebnego na realizację polecenia czas wykonania transakcji można określić wzorem:

$$T[s] = \frac{L_b}{V} \cdot (F_M + F_S) + T_{wyk},$$

gdzie L_b – długość znaku [b], V – prędkość transmisji [b/s], F_M i F_S – odpowiednio długość ramki stacji nadrzędnej i podrzędnej [B], a T_{wyk} – czas potrzebny na realizację polecenia w stacji podrzędnej [s].

Po dołączeniu konwerterów czas transakcji można określić wzorem

$$T[s] = \frac{L_b}{V} \cdot (F_M + F_S) + T_{wyk} + (T_{kM} + T_{kS}),$$

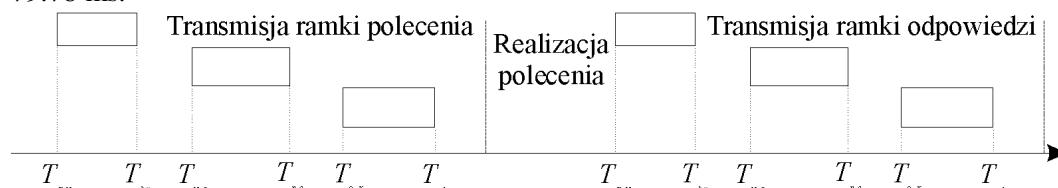
gdzie T_{kM} i T_{kS} są opóźnieniami [s] wnoszonymi przez konwertery w procesy transmisji ramki, odpowiednio stacji nadrzędnej i podrzędnej.

5.1. KONWERTER DLA SIECI PRZEMYSŁOWYCH

Przykładowe oszacowanie wpływu konwertera dotyczy sieci Modbus pracującej w trybie RTU [5]. Przyjęto następujące parametry: długość znaku $L_b=11$ bitów, prędkość transmisji $V=4800$ b/s. Realizowane jest polecenie zapisu jednego słowa w sterowniku, a więc długości ramek wynoszą $F_M=F_S=8$ znaków.

Stacja nadrzędna wysyła ramkę polecenia (rys.). Czas transmisji ramki ($T_{kn}-T_{KN}$) wynosi 18.33 ms. Ponieważ liczba znaków ramki jest zbyt mała, aby rozpocząć transmisję, konwerter czeka jeszcze 8.02 ms. Czas transmisji ramki łączem radiowym wynosi 11.40 ms. Po stronie odbiornika liczba znaków także jest zbyt mała do rozpoczęcia transmisji, tak więc konwerter czeka jeszcze 15.68 ms, po czym rozpoczyna transmisję łączem przewodowym, co zajmuje 18.33 ms. Stacja podrzędna odczeka 8.02 ms w celu stwierdzenia końca ramki. Sumaryczny czas transmisji wynosi 79.78 ms, a opóźnienie $T_{kM}=T_{ok}-T_{kn}$ wynosi 53.54 ms.

Po otrzymaniu ramki stacja podrzędna realizuje polecenie. Czas realizacji polecenia nie ulega wpływowi konwertera. Po zrealizowaniu polecenia stacja odsyła odpowiedź stacji nadrzędnej. W rozpatrywanym przypadku czasy trwania poszczególnych etapów są identyczne. Przy założeniu, że czas realizacji polecenia wynosi 27 ms, czas transakcji z użyciem konwerterów wynosi 186.56 ms, natomiast w sieci bez konwerterów – tylko 79.78 ms.



Rys. 7. Transakcja w sieci Modbus zawierającej konwertery

Fig. 7. Transaction in Modbus network containing converters

5.2. KONWERTER DLA SIECI WIELOSEGMENTOWEJ

Przebieg transmisji w konwerterze dla sieci wielosegmentowej jest identyczny [1]. Różnice dotyczą jedynie czasów trwania poszczególnych etapów transmisji. W przypadku konwertera dla sieci wielosegmentowej dokonano obliczeń przy następujących sposobach rozpoznawania końca ramki:

- na podstawie ciszy w łączu o czasie trwania $3.5 \times t_c$,
- na podstawie ciszy w łączu o czasie trwania $1.5 \times t_c$,
- na podstawie zawartości (typu) ramki.

Tabela 1. Czas trwania etapów transmisji (19.2 kb/s)

Etap	Konwerter dla sieci przemysłowych	Konwerter dla sieci wielosegmentowej			Bez konwerterów
		$3.5 \times t_c$	$1.5 \times t_c$	typ ramki	
$T_{KN} - T_{kn}$	4,58	4,58	4,58	4,58	4,58
$T_{kn} - T_{NO}$	0,57	2,01	0,86	0,00	
$T_{NO} - T_{no}$	11,40	8,50	8,50	8,50	
$T_{no} - T_{ok}$	15,86	0,00	0,00	0,00	
$T_{OK} - T_{ok}$	4,58	4,58	4,58	4,58	
$T_{ok} - T_{kr}$	2,01	2,01	2,01	2,01	2,01
Suma	39,00	21,68	20,53	19,67	6,59

Analizę przeprowadzono dla następujących danych: długość znaku $L_b=11$ bitów, prędkość transmisji $V=2400$ lub 19200 b/s, długości ramek $F_M=F_S=8$ znaków. Wyliczenia dla obu typów konwerterów oraz dla sieci bez konwerterów zebrano w tabelach 1 i 2.

Tabela 2. Czas trwania etapów transmisji (2.4 kb/s)

Etap	Konwerter dla sieci przemysłowych	Konwerter dla sieci wielosegmentowej			Bez konwerterów
		$3.5 \times t_c$	$1.5 \times t_c$	typ ramki	
$T_{KN} - T_{kn}$	36,67	36,67	36,67	36,67	36,67
$T_{kr} - T_{NO}$	4,58	16,04	6,88	0,00	
$T_{NO} - T_{no}$	11,40	8,50	8,50	8,50	
$T_{no} - T_{ok.}$	15,86	0,00	0,00	0,00	
$T_{OK.} - T_{ok.}$	36,67	36,67	36,67	36,67	
$T_{ok.} - T_{kr}$	16,04	16,04	16,04	16,04	16,04
Suma	121,22	113,92	104,76	97,88	52,71

Z danych zebranych w tabelach wynika, że:

- konwerter dla sieci wielosegmentowej powoduje znacznie mniejsze opóźnienia; jest to spowodowane zastosowaniem innego protokołu łącza radiowego oraz lepszego dopasowania konwertera do właściwości sieci Modbus;
- przy zastosowaniu konwertera dla sieci przemysłowych czas transmisji ramki wzrasta 2.5-krotnie przy prędkości 2.4 kb/s i aż 6-krotnie przy 19.2 kb/s; analogiczne wartości dla drugiego konwertera wynoszą około 2 i 3;
- rozpoznawanie końca ramki na podstawie jej typu powoduje nieznaczne zmniejszenie opóźnień; zalety tej metody są najbardziej widoczne przy małych prędkościach transmisji.

Przedstawiona analiza dotyczy pojedynczego segmentu sieci Modbus. Oszacowanie opóźnień dla większej liczby segmentów nie jest możliwe ze względu na rywalizację, występującą w łączu radiowym

6. PODSUMOWANIE

Konwertery protokołów umożliwiają wprowadzenie do sieci komputerowej łączy bezprzewodowych w taki sposób, że posiadany już sprzęt i oprogramowanie sieciowe może być dalej używane, a ponadto spełnione są wymagania charakterystyczne dla mediów bezprzewodowych. Niestety, jest to okupione znacznym pogorszeniem parametrów czasowych sieci.

LITERATURA

- [1] CABAN D., Protokoły komunikacyjne sieci komputerowych wykorzystujących wielopunktowe łącza bezprzewodowe pracujące w jednym pasmie częstotliwości. Rozprawa doktorska, Instytut Informatyki Politechniki Śląskiej, Gliwice 1999
- [2] CABAN D., FOJCIK M., MAŁYSIAK H., ZIELIŃSKI B., System transmisji radiowej dla sieci przemysłowych. ZN Pol. Śl. s. Informatyka z. 32, Gliwice 1997
- [3] MAŁYSIAK H., CABAN D., FOJCIK M., ZIELIŃSKI B., Bezprzewodowe media komunikacyjne. Realizacja i badanie współpracy segmentów przewodowych i bezprzewodowych sieci CIM. PBZ-31-05, IITiS PAN, Gliwice 1996
- [4] ZIELIŃSKI B., Bezprzewodowe sieci komputerowe wykorzystujące konwersję protokołów. Rozprawa doktorska, Instytut Informatyki Politechniki Śląskiej, Gliwice 1997
- [5] ZIELIŃSKI B., Bezprzewodowe sieci komputerowe. Helion, Gliwice 2000

WIRELESS TRANSMISSION IN MODBUS NETWORKS

In some cases wired network limits connecting possibilities with some network stations (for example, mobile stations). Therefore, it is necessary to integrate wired and wireless segments. Protocol conversion on data link layer level ensures proper cooperation between these segments.

Protocol converter is a microprocessor-based device, which also contains program and data memories as well as wired and wireless link interfaces. Such a device can properly adjust both links parameters. Unfortunately it has some negative influence upon network time parameters, because the information sent through the converter must be buffered.

It is possible to calculate time parameters of a Modbus network containing converters. The converter influence depends, among others, on used protocols and frame sizes.