ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1998
Seria: INFORMATYKA z. 34 Nr kol. 1381

Bartłomiej ZIELIŃSKI
Politechnika Śląska, Instytut Informatyki

KONWERTERY PROTOKOŁÓW DLA SIECI BEZPRZEWODOWYCH

Streszczenie. Przeanalizowano możliwości współpracy przewodowego i bezprzewodowego segmentu sieci. Przedyskutowano warianty realizacji konwertera protokołów, zapewniającego taką współpracę. Przeanalizowano wpływ konwertera na parametry czasowe sieci.

PROTOCOL CONVERTERS FOR WIRELESS NETWORKS

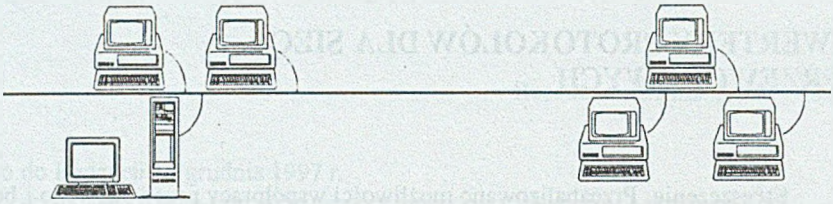
Summary. Possibilities of cooperation of wired and wireless network segments have been analyzed. Different versions of protocol converter realization have been discussed. Converter influence upon network time parameters has been analyzed.

1. Wprowadzenie

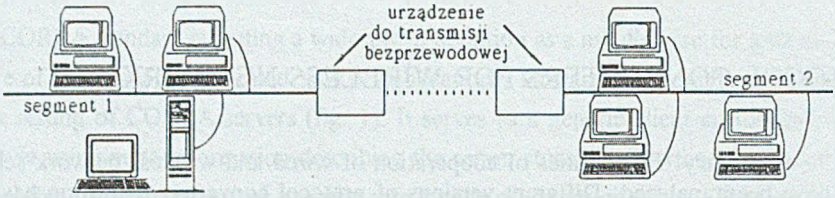
Bezprzewodowe media transmisyjne (np. fale radiowe lub optyczne) można wykorzystać w sieciach komputerowych zarówno do stworzenia sieci całkowicie bezprzewodowej, jak i do uzupełnienia sieci kablowej o segment bezprzewodowy lub wymiany segmentu przewodowego na bezprzewodowy, gdy taka potrzeba występuje [1]. Drugie z wymienionych rozwiązań wydaje się ciekawsze, ponieważ umożliwia dalsze stosowanie posiadanego już sprzętu i oprogramowania komunikacyjnego, a jednocześnie daje nowe możliwości, związane z wprowadzeniem medium bezprzewodowego. Koniecznym do spełnienia warunkiem jest, aby fakt obecności nowego medium transmisyjnego pozostał niezauważony nie tylko dla użytkowników sieci, lecz przede wszystkim dla sprzętu i oprogramowania sieciowego. Wiąże się to z koniecznością dochowania standardu logicznego i fizycznego sieci [2].

2. Idea konwersji protokołów

Wyposażenie przewodowej sieci komputerowej w możliwość transmisji bezprzewodowej wymaga dodania do sieci odpowiednich urządzeń, które z jednej strony pracują zgodnie z wymogami sieci przewodowej, z drugiej zaś – umożliwiają transmisję bezprzewodową. Schemat sieci komputerowej przed i po wprowadzeniu urządzeń bezprzewodowych przedstawiają odpowiednio rys. 1 i 2 [3].



Rys. 1. Przykładowa, przewodowa sieć komputerowa
Fig. 1. An example of wired computer network



Rys. 2. Przewodowa sieć komputerowa z urządzeniami do transmisji bezprzewodowej
Fig. 2. Wired computer network with wireless transmission devices

2.1. Dyskusja możliwych rozwiązań

Najprostszym sposobem realizacji łącza bezprzewodowego, współpracującego z siecią przewodową, jest dołączenie do istniejącej sieci urządzeń, które przetwarzają sygnały elektryczne segmentu przewodowego na fale elektromagnetyczne i odwrotnie. Urządzenie takie dokonuje zatem konwersji na poziomie warstwy fizycznej sieci, zaś zestaw składający się z co najmniej dwóch takich urządzeń, komunikujących się bezprzewodowo, pełni funkcję regeneratora (ang. *repeater*).

Zastosowanie takiego rozwiązania wymaga jednak spełnienia wielu warunków, które często są bardzo trudne lub wręcz niemożliwe do spełnienia.

Przede wszystkim łącze bezprzewodowe musi zapewniać prędkość transmisji równą prędkości transmisji łącza kablowego. Warunek ten może być trudny do spełnienia np.

w sieciach radiowych, w których prędkość transmisji, ograniczona szerokością pasma częstotliwości, jest znacznie niższa niż w sieciach przewodowych.

Kolejnym warunkiem jest, aby dane nadchodzące z segmentu przewodowego miały odpowiedni format, tzn. były zaopatrzone w adresy stacji oraz były zabezpieczone sumą kontrolną. Nie wszystkie protokoły sieci przewodowych zawierają te informacje. Przykładowo, protokoły, wykorzystujące łącze RS-232C dla potrzeb transmisji plików poprzez modemy telefoniczne (np. X-Modem, Y-Modem, Z-Modem, Kermit [4]), dostosowane są do transmisji pomiędzy dwiema stacjami na łączu wirtualnym w trybie połączeniowym i nie niosą informacji o adresach stacji uczestniczących w transmisji. W sieci radiowej transmisja pomiędzy dwiema stacjami może wówczas spowodować niepożądane włączenie się kolejnych stacji w proces wymiany danych. Odbieranie przez nie danych jest wprawdzie "nieszkodliwe", jednak wysłanie przez którąś z nich potwierdzenia poprawnego ich przyjęcia może spowodować błędy pracy sieci, wywołane np. kolizją na łączu lub powielaniem potwierdzeń. Należy zaznaczyć, że część tych potwierdzeń może być pozytywna, a część negatywna (oznaczająca np. błąd transmisji), co utrudnia pracę nadajnika, który musi podjąć decyzję, co zrobić, kiedy pewna ramka została odebrana poprawnie i niepoprawnie (nadajnik nie wie, że jest słyszany przez wiele odbiorników).

W większości sieci przewodowych informacje przesyłane są w ramkach o strukturze odpowiedniej dla łącza bezprzewodowego. Ponieważ jednak łączność bezprzewodowa jest bardziej narażona na wpływ środowiska pracy sieci, a więc charakteryzuje się wyższą stopą błędu, korzystne może być przesyłanie jednej ramki sieci przewodowej w kilku ramkach sieci bezprzewodowej [5].

Niektóre urządzenia radiowe wymagają odczekania pewnego czasu od chwili włączenia nadajnika do momentu rozpoczęcia właściwej transmisji danych [6, 7]. Jest to czas potrzebny na ustabilizowanie się parametrów pracy nadajnika. W niektórych przypadkach nadajnik radiowy wymaga, aby dane poprzedzone zostały odpowiednią preambułą w celu uzyskania synchronizacji z ciągiem bitów danych [8]. Na ogół protokoły sieci przewodowych nie są w stanie spełnić tych wymagań.

W sieciach bezprzewodowych niektóre stacje mogą być tak rozmieszczone, że nie posiadają wzajemnej łączności. Zastosowanie rywalizacyjnego protokołu dostępu do łącza może zatem prowadzić do powstania niewykrytych kolizji. Ponadto, realizacja wykrywania kolizji (CSMA/CD), łatwa do wykonania w sieciach przewodowych, jest często niewykonalna w sieciach radiowych, które najczęściej oparte są na łączach półdupleksowych [9]. Gdyby nawet mieć układ radiowy z możliwością nasłuchu w czasie nadawania, to w odbiorniku mógłby wystąpić, znany w sieciach radiowych, efekt przechwytywania (ang. *capture effect*) [10], powodując niewykrycie kolizji. Dlatego też w sieciach tych stosowane są protokoły z unikaniem kolizji (CSMA/CA) i potwierdzaniem poprawnego odbioru [11]. Ponieważ

jednak kolizja powoduje błędny odbiór ramki, brak potwierdzenia pozytywnego, lub potwierdzenie negatywne, można uznać za sygnalizację kolizji; być może dlatego w literaturze (np. [6, 12]) można znaleźć informację, że w sieciach bezprzewodowych wykorzystywany jest mechanizm CSMA/CD, podobnie jak w sieci Ethernet. Mechanizm wykrywania kolizji możliwy jest natomiast do stosowania w sieciach, w których medium transmisyjnym jest podczerwień rozproszona [13].

W sieciach radiowych z rywalizacyjnymi protokołami dostępu znane są zagadnienia *ukrytej stacji* (ang. *hidden terminal*) i *odkrytej stacji* (ang. *exposed terminal*), które mogą wystąpić, jeżeli nie wszystkie stacje mają bezpośrednią łączność [14, 15]. Oba zjawiska powodują zmniejszenie ogólnej przepustowości sieci odpowiednio wskutek kolizji, a więc i konieczności retransmisji, lub niepotrzebnego wstrzymywania transmisji. Nie oznacza to jednak niemożności efektywnego stosowania rywalizacyjnych protokołów dostępu w sieciach bezprzewodowych, niezbędne są jednak pewne ich modyfikacje. Przykłady takich modyfikacji można znaleźć w publikacjach [15, 16, 17].

Ponieważ w sieciach bezprzewodowych propagacja sygnałów nie jest ograniczona do linii transmisyjnej [18], przekazywane w ten sposób informacje są bardziej, niż w sieciach przewodowych, narażone na podsłuch. Problem ten występuje najczęściej w transmisji radiowej. Dlatego też, w pewnych przypadkach, konieczne może się okazać szyfrowanie danych w celu zabezpieczenia ich przed niepowołanym dostępem.

Podsumowując, protokoły sieci przewodowych bądź nie nadają się bezpośrednio do stosowania w sieciach bezprzewodowych, bądź też ich stosowanie powoduje nieoptymalne wykorzystanie medium transmisyjnego. Połączenie przewodowego i bezprzewodowego segmentu sieci wymaga zatem innego, bardziej inteligentnego, rozwiązania, zapewniającego lepsze wzajemne dopasowanie współpracujących segmentów sieci. Takim rozwiązaniem może być konwerter protokołów.

2.2. Zadania konwertera protokołów

Skoro proste przetworzenie sygnałów elektrycznych na fale elektromagnetyczne (konwersja warstwy fizycznej sieci) jest niewystarczające, należy dokonać konwersji protokołów na poziomie warstwy liniowej [2]. Aby tego dokonać, należy zastosować inteligentne rozwiązanie sprzętowo-programowe, czyli układ mikroprocesorowy, wyposażony w pamięć programu, dwa łącza transmisyjne oraz pamięć do zapamiętywania (buforowania) przesyłanych i konwertowanych danych. Takie rozwiązanie zapewni poprawną współpracę przewodowego i bezprzewodowego segmentu sieci, ponieważ dochowany zostaje standard logiczny i fizyczny sieci przewodowej, a przy tym jest przezroczyste dla protokołów wyższych warstw sieci. Według terminologii modelu OSI/ISO urządzenie takie pełni funkcję mostu.

W porównaniu z rozwiązaniem ograniczonym do konwersji jedynie warstwy fizycznej konwerter warstwy liniowej może posiadać następujące zalety:

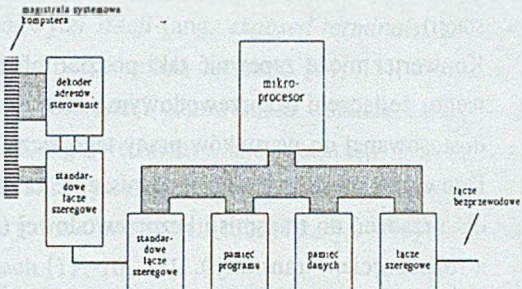
1. Konwerter może zapewnić współpracę łączy o różnych prędkościach transmisji.
2. W przypadku braku w przesyłanym ciągu danych odpowiednich informacji organizacyjnych (adresy, suma kontrolna itp.) konwerter może dodać potrzebne informacje, przetwarzając dane (np. w celu wyliczenia sumy kontrolnej, zabezpieczającej przed błędami transmisji) lub parametry konfiguracyjne (np. w celu dodania adresów stacji).
3. Konwerter może zapewnić taki podział informacji nadchodzącej z łącza przewodowego, że łączem bezprzewodowym przesyłane będą ramki o odpowiedniej długości, dostosowanej do warunków pracy tego łącza (w szczególności stopy błędów).
4. Konwerter może zadbać o nienaruszenie zależności czasowych, charakterystycznych dla urządzeń do transmisji bezprzewodowej (np. czas między włączeniem nadajnika a rozpoczęciem transmisji).
5. Konwerter może poprzedzić dane preambułą, umożliwiającą uzyskanie synchronizacji nadajnika z przesyłanym ciągiem bitów.
6. Konwerter może spełnić dodatkowe wymagania urządzeń do transmisji bezprzewodowych odnośnie do formatu danych (np. równowaga zer i jedynek, odpowiednie kodowanie itp.).
7. Konwerter może zapewnić protokół dostępu stacji do łącza, odpowiedni dla wybranego łącza bezprzewodowego i środowiska pracy sieci.
8. Konwerter może wprowadzić dodatkowe zabezpieczenie przesyłanych danych przed niepowołanym dostępem.
9. Konwerter może zmieniać pewne parametry w czasie pracy, istnieje także możliwość dopasowania go do używanych protokołów komunikacyjnych.

Wymienione warunki można spełnić w sposób niewidoczny dla standardowych urządzeń do transmisji przewodowej [3], co jest ogromną zaletą w porównaniu z konwersją jedynie warstwy fizycznej, ponieważ umożliwia to dalsze stosowanie posiadanych już urządzeń i programów do transmisji przewodowej bez konieczności ich modyfikacji, a ponadto zapewnia lepsze wykorzystanie wybranego łącza bezprzewodowego. Wadą natomiast tego rozwiązania jest wprowadzenie dodatkowych, nieraz znacznych opóźnień w proces transmisji danych. Opóźnienia te wynikają z konieczności buforowania przesyłanych informacji oraz dokonania konwersji protokołów. Wady tej pozbawione jest natomiast połączenie segmentów sieci na poziomie warstwy fizycznej.

2.3. Warianty realizacji konwertera protokołów

Konwerter może być zaprojektowany i wykonany na dwa sposoby:
- jako element karty sieciowej,
- jako autonomiczne urządzenie zewnętrzne.

Konwerter, będący elementem karty sieciowej (rys. 3), może komunikować się z komputerem jedynie poprzez jego magistralę systemową. Aby zapewnić działanie oprogramowania sieciowego, od strony magistrali komputera konwerter musi emulować pracę odpowiedniego portu transmisji szeregowej, którego złącze zapewnia komunikację z właściwym układem konwertera, zamiast, jak zazwyczaj, być wyprowadzone na obudowę komputera. Warunek ten stwarza dodatkowe utrudnienie konstrukcyjne, ponieważ układ konwertera musi zostać uzupełniony o układ realizujący standardowe łącze, które może cechować się większą złożonością niż sam konwerter. Ponadto, wykonany układ może być stosowany jedynie w komputerach wyposażonych w odpowiedni typ magistrali, zaś przeniesienie go do komputera innego typu wymaga ponownego zaprojektowania układu. Zaletą tego rozwiązania jest natomiast zmniejszenie ogólnej liczby układów (np. eliminacja nadajników i odbiorników linii transmisyjnej) oraz umieszczenie całego układu na jednej płytce, a więc większa jego niezawodność. Płytka ta umieszczona jest wewnątrz obudowy komputera, co eliminuje potrzebę projektowania obudowy i dołączania dodatkowego źródła zasilania.

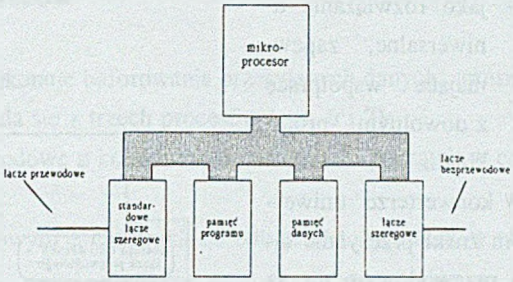


Rys. 3. Konwerter jako urządzenie wewnętrzne
Fig. 3. Converter as an internal device

Konwerter autonomiczny (rys. 4) może komunikować się z komputerem lub segmentem sieci jedynie poprzez złącza, znajdujące się na obudowach konwertera. Dzięki temu nie ma potrzeby uzupełniać konwertera o układ interfejsu szeregowego komputera. Kolejną zaletą tego rozwiązania jest możliwość współpracy konwertera z dowolnym sprzętem, wyposażonym w odpowiedni interfejs. Jest to znacznie słabsze ograniczenie niż typ magistrali, ponieważ standardowe interfejsy są implementowane na wielu różnych platformach sprzętowych[1]. Pewnym utrudnieniem jest w tym przypadku potrzeba zapewnienia dodatkowego

[1]Np. karty sieci Ethernet dla komputerów IBM PC współpracują z magistralami ISA, EISA lub PCI; istnieją także wersje dla komputerów, nie wyposażonych w te magistrale.

źródła zasilania i zaprojektowania odpowiedniej obudowy urządzenia. Zewnętrzne zasilanie, niezależne od zasilania komputera, daje konwerterowi autonomicznemu jeszcze jedną zaletę: informacje przychodzące łączem bezprzewodowym mogą być magazynowane w pamięci konwertera w czasie, kiedy komputer jest wyłączony. Wysłanie tych danych do komputera nastąpi po włączeniu jego zasilania i uruchomieniu odpowiedniego oprogramowania.



Rys. 4. Konwerter jako urządzenie zewnętrzne
Fig. 4. Converter as an external device

Niezależnie od wyboru konstrukcji układu (wariant wewnętrzny czy zewnętrzny) zasadniczy układ konwertera pozostaje bez zmian. Składa się on z następujących podzespołów:

- mikroprocesor,
- pamięć programu,
- pamięć danych,
- standardowy interfejs szeregowy, realizujący łącze przewodowe,
- interfejs szeregowy, realizujący łącze bezprzewodowe.

Poprawną współpracę tych elementów układu zapewnia odpowiednio skonstruowane oprogramowanie. Jeśli dla wybranego typu jednostki centralnej dostępny jest system operacyjny, można wykorzystać pewne jego funkcje. W przypadku jednak, kiedy konwerter projektowany i wykonywany jest od podstaw, konieczne jest zaimplementowanie niezbędnych funkcji w programie, sterującym jego pracą.

Program sterujący można podzielić na następujące elementy:

- procedurę inicjalizacji konwertera, ustalającą odpowiednie parametry pracy podzespołów, wchodzących w skład układu,
- obsługę łącza przewodowego,
- obsługę łącza bezprzewodowego,
- procedurę konwersji protokołów, dokonującą zmianę formatu przesyłanych danych.

Strukturę oprogramowania można przedstawić jako trzy współbieżnie i cyklicznie wykonywane procesy, komunikujące się za pośrednictwem buforów (rys. 5).

Zależnie od oprogramowania konwerter może pracować na dwa sposoby:

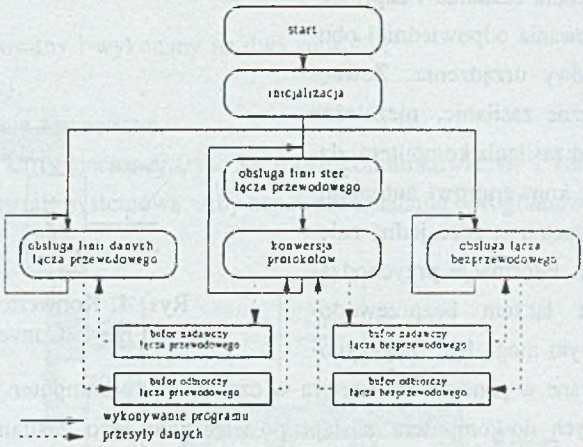
- jako rozwiązanie dedykowane, dopasowane do jednego lub kilku protokołów transmisyjnych,

– jako rozwiązanie uniwersalne, zapewniające współpracę z dowolnym protokołem.

W konwerterze uniwersalnym znaki przesyłane łączem przewodowym nie są interpretowane. Założenie to wynika z faktu, że nie można z góry określić, jaki protokół wykorzystywany jest w łączu przewodowym, tak więc struktura danych jest nieznana. Konwersja protokołów polega wówczas na umieszczaniu wszystkich znaków w ramkach łącza bezprzewodowego. Dopuszcza się zatem przesłanie pojedynczej ramki protokołu przewodowego w kilku ramkach łącza bezprzewodowego [5], możliwa jest także sytuacja odwrotna, kiedy kilka ramek łącza przewodowego zostanie umieszczonych razem w jednej ramce łącza bezprzewodowego. Wysłanie ramki łączem bezprzewodowym powinno nastąpić, jeżeli zachodzi jeden z poniższych warunków:

– zebrana została określona liczba znaków do wysłania,
– od chwili odebrania ostatniego znaku upłynął zadany czas.

W przypadku jeżeli w sieci przewodowej często pojawiają się krótkie ramki, mogą wystąpić znaczne opóźnienia w dotarciu informacji do adresata. Jest to spowodowane właśnie oczekiwaniem na zebranie określonej liczby znaków. Opóźnień tych można uniknąć, jeśli konwerter może rozpoznać koniec ramki.



Rys. 5. Schemat programu konwertera
Fig. 5. Converter program diagram

Istnieje kilka sposobów określania końca ramki [19], dlatego też rozpoznanie końca ramki różnych protokołów w konwerterze uniwersalnym wymaga daleko idącej możliwości konfigurowania parametrów konwertera. Może się więc okazać, że rozwiązaniem prostszym, a więc i tańszym w realizacji, jest konwerter dedykowany dla wybranego protokołu lub grupy protokołów. Konwerter taki może rozpoznać nie tylko koniec ramki, lecz również pola adresowe i sterujące, a także dokonać sprawdzenia poprawności danych otrzymanych danych łączem przewodowym. Jest to możliwe, ponieważ znana jest struktura przesyłanych informacji. Niestety, konwerter taki będzie błędnie interpretował dane wysłane według innych protokołów transmisyjnych, a więc posiadające inną strukturę.

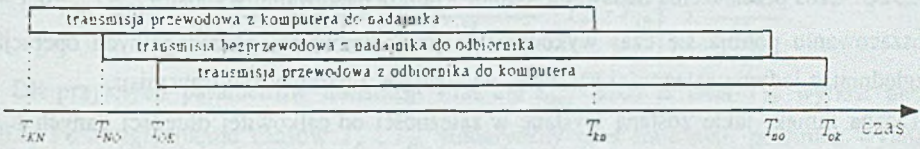
3. Analiza czasowa konwerterów

Ponieważ konwerter protokołów dokonuje buforowania przesyłanych danych, transmisja w sieci, zawierającej konwertery, składa się z trzech procesów (rys. 6 i 7):

- transmisja poprzez łącze przewodowe z komputera do nadajnika (początek w chwili T_{KN}, koniec w chwili T_{kn}),
- transmisja łączem bezprzewodowym z nadajnika do odbiornika (początek w chwili T_{NO}, koniec w chwili T_{no}),
- transmisja poprzez łącze przewodowe z odbiornika do komputera (początek w chwili T_{OK}, koniec w chwili T_{ok}).

Ze względu na buforowanie informacji w pamięci danych konwertera te trzy procesy przebiegają w dużym stopniu równolegle. Różnice w czasie ich rozpoczęcia i zakończenia wynikają właśnie z konieczności dokonania konwersji protokołów, a w szczególności przygotowywania ramek do wysłania i odzyskiwania informacji z ramek odebranych. Dodatkowe opóźnienia mogą wynikać z konieczności stosowania się konwertera do zasad protokołu transmisyjnego łącza bezprzewodowego, np. z konieczności uzyskania potwierdzenia poprawnego odbioru każdej ramki.

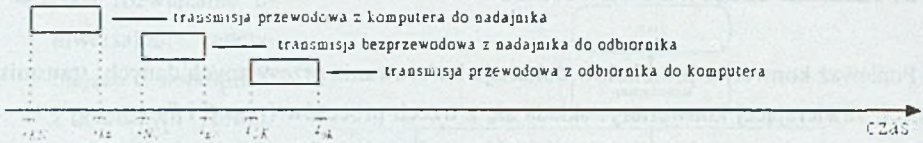
Rys. 6 ilustruje przebieg transmisji danych o relatywnie dużej objętości, np. plików. Czas przesyłania tych danych jest znacznie dłuższy niż czasy "rozpędzania" i "hamowania" transmisji, odpowiednio (T_{OK}-T_{KN}) i (T_{ok}-T_{kn}). Z tego powodu, opóźnienie, wnoszone przez konwerter, jest względnie małe i dla bardzo dużych objętości danych może pozostać niezauważone. Sytuacja taka może wystąpić w sieciach typu biurowego.



Rys. 6. Przebieg transmisji informacji o dużej objętości
Fig. 6. Transmission of large amount of data

Rys. 7 ilustruje przebieg transmisji danych o relatywnie małej objętości, np. komunikatów w sieci przemysłowej. Czas przesyłania tych danych jest porównywalny lub nawet krótszy niż czas "rozpędzania", a zatem opóźnienie, wnoszone przez konwerter, ma istotny wpływ na całkowity czas transmisji danych, który może być nawet kilkakrotnie dłuższy niż czas transmisji tych samych danych w sieci bez konwertera.

Opóźnienie transmisji danych w sieci przemysłowej może też zależeć od sposobu rozpoznawania przez konwerter końca ramki sieci przewodowej. Przykładowo, w sieci Mod-



Rys. 7. Przebieg transmisji informacji o małej objętości
Fig. 7. Transmission of short amount of data

bus, pracującej w trybie ASCII, wykrycie końca ramki może nastąpić szybciej, niż jeżeli ta sama sieć pracuje w trybie RTU. Jest to spowodowane innym sposobem oznaczania końca ramki w tych trybach.

3.1. Oszacowanie wpływu konwertera na przepustowość łącza RS-232C

Przykładowe oszacowanie dotyczy konwertera dla łącza RS-232C, opisanego w publikacji [2] oraz w pracy [20]. Przyjmuje się, że konwerter pracuje z szybkością transmisji $V_W = 9600$ b/s na łączu przewodowym i $V_{WL} = 1200$ b/s na łączu bezprzewodowym. Maksymalna długość pola danych ramki wynosi $L_D = 128$ B. Zgodnie z zasadami protokołu transmisyjnego [2] każda wysłana ramka musi zostać indywidualnie potwierdzona. Długość ramki potwierdzającej oraz nagłówka ramki danych wynosi $L_H = 8$ B, przy czym w tej ostatniej jeszcze 3 B dodawane są do przesyłanej informacji w polu danych, tak więc można założyć, że długość nagłówka ramki danych $L_{HD} = 11$ B. Przyjęto, że znak na łączu przewodowym i bezprzewodowym reprezentowany jest na $L_b = 11$ bitach, zgodnie ze standardem RS-232C. Czas przełączenia nadawanie-odbiór i odbiór-nadawanie wynosi $T_{TR} = T_{RT} = 0.1$ s. W oszacowaniu pomija się czas wykonywania przez konwerter poszczególnych operacji, uwzględniając jedynie zależności czasowe, wynikające z parametrów transmisji.

Liczba ramek, jakie zostaną wysłane w zależności od całkowitej długości danych L_{DD} [B], wynosi

$$N_F = \left\lceil \frac{L_{DD}}{L_D} \right\rceil . \tag{1}$$

Czas transmisji pojedynczej ramki wraz z potwierdzeniem jest równy

$$T_F \text{ [s]} = \frac{L_b \cdot (L_{HD} + L_D + L_H)}{V_{WL}} + T_{RT} + T_{TR}, \tag{2}$$

przy czym dla ostatniej ramki w miejsce L_D należy podstawić $L_D' = L_{DD} - (N_F - 1) \cdot L_D$, ponieważ jeżeli L_{DD} nie jest całkowitą wielokrotnością L_D, ramka ta zawiera mniej danych.

Całkowity czas transmisji danych łączem bezprzewodowym, z podziałem na N_F ramek, wynosi zatem

$$T_{NF}\ [\mathrm{s}] = \left\lceil \frac{L_{DD}}{L_D} \right\rceil \left(\frac{L_b \cdot (L_H + L_{HD})}{V_{WL}} + T_{RT} + T_{TR} \right) + \frac{L_b \cdot L_{DD}}{V_{WL}}. \tag{3}$$

Pierwszy składnik sumy, znajdującej się po prawej stronie równania (3), można zinterpretować jako narzut czasowy, wynikający z przyjętego protokołu transmisyjnego i parametrów urządzeń, użytych do realizacji transmisji bezprzewodowej.

Zgodnie z wykresem czasowym, przedstawionym na rys. 6, całkowity czas transmisji danych z wykorzystaniem konwerterów protokołów można określić następująco:

$$T\ [\mathrm{s}] = T_{ok} - T_{KN} = (T_{NO} - T_{KN}) + (T_{no} - T_{NO}) + (T_{ok} - T_{no}). \tag{4}$$

Wyliczony według równania (3) czas T_{NF} odpowiada składnikowi $(T_{no} - T_{NO})$ w równaniu (4). Czas $T_R = (T_{NO} - T_{KN})$ jest większy lub równy czasowi transmisji łączem przewodowym takiej liczby znaków, jaka odpowiada maksymalnej liczbie znaków w ramce danych łącza bezprzewodowego; czas $T_H = (T_{ok} - T_{no})$ jest większy lub równy czasowi transmisji łączem przewodowym takiej liczby znaków, jaka została przesłana w ostatniej ramce:

$$T_R\ [\mathrm{s}] \geq \frac{L_D \cdot L_b}{V_W}, \quad T_H\ [\mathrm{s}] \geq \frac{L_D' \cdot L_b}{V_W}, \tag{5}$$

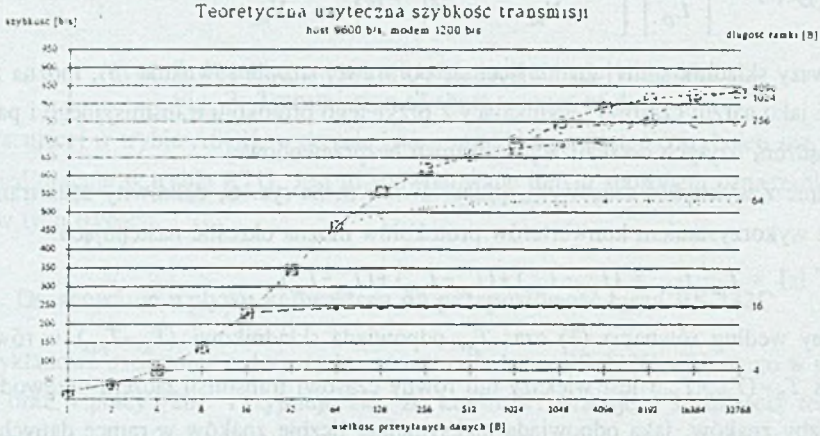
przy czym $L_D' \leq L_D$. Równanie (4) przyjmuje więc postać

$$\begin{aligned} T\ [\mathrm{s}] &= T_R + T_{NF} + T_H \geq \\ &\geq \frac{L_b \cdot (L_D + L_D')}{V_W} + \left\lceil \frac{L_{DD}}{L_D} \right\rceil \left(\frac{L_b \cdot (L_H + L_{HD})}{V_{WL}} + T_{RT} + T_{TR} \right) + \frac{L_b \cdot L_{DD}}{V_{WL}}. \end{aligned} \tag{6}$$

Dla przyjętych parametrów transmisji oraz dla $L_{DD} = 8205$ B czas T_{NF} wynosi około 100 s. Po uwzględnieniu czasów T_R i T_H, sumaryczny czas transmisji powinien wynosić około 101 s, co daje efektywną prędkość transmisji, wyliczoną według wzoru zamieszczonego w [2], równą 650 b/s. Bez użycia konwerterów czas transmisji przy $V_W = 1200$ b/s wynosi około 75 s, co daje efektywną prędkość transmisji rzędu 870 b/s.

Z powyższej analizy wynika, że przy przesyle informacji o relatywnie dużej objętości, tzn. gdy $T_{NF} \gg T_R + T_H$, czasy T_R oraz T_H mają niewielki wpływ na całkowity czas transmisji i mogą zostać pominięte. Zastosowanie konwertera protokołów powoduje wówczas, dla założonych wartości parametrów, wydłużenie tego czasu o około 32%. Jeśli natomiast czas transmisji danych łączem bezprzewodowym jest porównywalny z czasami T_R i T_H, wydłużenie czasu transmisji przez konwerter będzie znacznie większe. Zależność tę ilustruje rys. 8,

na którym pokazany jest teoretyczny (wynikający z obliczeń według wzoru (6)) wpływ długości przesyłanej informacji na efektywną szybkość transmisji dla różnych długości pola danych ramki. Interesujące jest załamanie krzywych dla bardzo dużych długości pola da-



Rys. 8. Wpływ wielkości informacji na efektywną szybkość transmisji
Fig. 8. Information size influence upon effective transmission speed

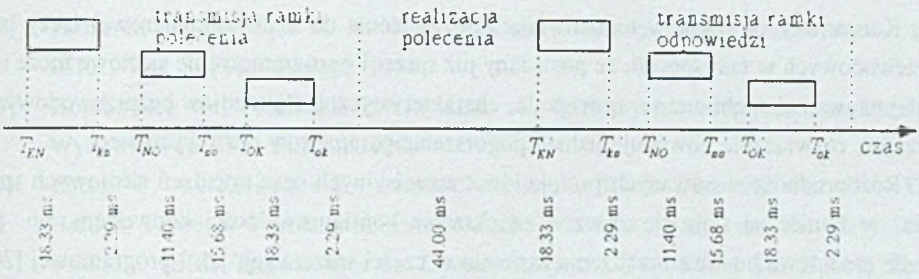
nych ramki (1024 i 4096 B). Wynika ono z tego, że transmisja łączem bezprzewodowym rozpoczyna się po zgromadzeniu w konwerterze odpowiedniej liczby znaków. W tym przypadku jest ona tak duża, że czas transmisji tych znaków łączem przewodowym do konwertera także odgrywa istotną rolę. Można zatem wyciągnąć wniosek, że stosowanie dużych długości ramki jest uzasadnione wyłącznie przy przesyłaniu informacji o bardzo dużej długości (rzędu MB). Należy także zaznaczyć, że wzrost długości stosowanych ramek pociąga za sobą wzrost zapotrzebowania na pamięć danych konwertera, a także zwiększone ryzyko błędu transmisji [2, 10].

Podobną analizę można przeprowadzić również dla innych parametrów transmisji, jak np. prędkości transmisji na obu łączach lub pojemność pola danych w ramce, a także dla innych objętości przesyłanych informacji.

3.2. Analiza czasowa konwertera dla sieci Modbus

Przykładowe oszacowanie dotyczy konwertera protokołów dla sieci Modbus, opisanego w publikacji [21] oraz w pracach [20, 22]. Sieć Modbus pracuje w trybie RTU. Przyjęto następujące dane: długość znaku $L_b = 11$ bitów, prędkość transmisji $V = 4800$ b/s. Realizowane jest polecenie zapisu jednego słowa w sterowniku, tak więc długości ramek pytania i odpowiedzi wynoszą odpowiednio $F_M = F_S = 8$ znaków [19].

Stacja nadrzędna (ang. *master*) wysyła ramkę polecenia (rys. 9). Czas transmisji tej



Rys. 9. Realizacja transakcji w sieci Modbus z użyciem konwerterów
Fig. 9. Transaction in Modbus network when using converters

ramki (T_{kn}-T_{KN}) wynosi 18.33 ms. Ponieważ liczba zebranych w konwerterze znaków jest niewystarczająca do rozpoczęcia transmisji, konwerter czeka przez czas równy czasowi transmisji 4 znaków, tj. 2.29 ms. Czas transmisji łączem radiowym ramki, zawierającej 8 bajtów łącza przewodowego, wynosi 11.40 ms. Również po stronie odbierającej liczba znaków nie wystarcza do rozpoczęcia transmisji, tak więc konwerter czeka na nadejście kolejnej ramki, czyli 15.68 ms. Po upływie tego czasu rozpoczyna transmisję łączem przewodowym, co zajmuje 18.33 ms. Stacja podrzędna odczekuje jeszcze czas równy czasowi transmisji 4 znaków (2.29 ms) w celu stwierdzenia końca ramki. Sumaryczny czas transmisji ramki wynosi więc 68.32 ms, a opóźnienie $T_{kM} = T_{ok} - T_{kn}$ jest równe 47.70 ms.

Po otrzymaniu ramki stacja podrzędna (ang. *slave*) realizuje polecenie. Czas jego realizacji nie ulega wpływowi konwertera. Zmierzony doświadczalnie czas wykonania zapisu pojedynczego słowa wynosi około 44 ms.

Po zrealizowaniu polecenia stacja podrzędna odsyła do stacji nadrzędnej ramkę odpowiedzi. Ponieważ długość tej ramki jest równa w tym przypadku długości ramki polecenia, czasy trwania poszczególnych etapów transmisji są identyczne jak dla ramki polecenia. Identyczne jest także opóźnienie, wnoszone przez konwerter, zatem $T_{kS} = T_{kM}$. Czas transmisji ramki odpowiedzi wynosi więc 68.32 ms, a sumaryczny czas trwania transakcji jest równy 180.64 ms. Bez użycia konwerterów czas ten wynosi około 85.24 ms.

Podobną analizę można przeprowadzić również dla innych prędkości transmisji, pracy sieci w trybie ASCII lub dla przypadku, kiedy przesyłana ramka łącza przewodowego ma długość większą niż 16 znaków, zatem przesyłana jest łączem bezprzewodowym w kilku ramkach (jeżeli długość ramki łącza przewodowego nie jest całkowitą wielokrotnością liczby 16, ostatnia ramka łącza bezprzewodowego będzie krótsza).

4. Podsumowanie

Konwertery protokołów umożliwiają wprowadzenie do sieci komputerowej łączy bezprzewodowych w taki sposób, że posiadany już sprzęt i oprogramowanie sieciowe może być dalej używane i spełnione są wymagania, charakterystyczne dla mediów bezprzewodowych. Przyjęte rozwiązanie powoduje jednak pogorszenie parametrów czasowych sieci.

Różnorodność stosowanych protokołów transmisyjnych oraz urządzeń sieciowych sprawia, że konieczne staje się znaczne zwiększenie konfigurowalności konwertera, np. poprzez modułową budowę urządzenia zarówno w części sprzętowej, jak i programowej [20]. Może się to jednak wiązać w pewnych przypadkach z dalszym pogorszeniem parametrów czasowych sieci. Częściowym rozwiązaniem tego problemu może być zastosowanie konwertera o dużej mocy obliczeniowej.

LITERATURA

[1] Caban D., Małysiak H., Zieliński B.: Możliwości realizacji bezprzewodowych segmentów sieci komputerowych. ZN Pol. Śl. s. Informatyka z. 30, Gliwice 1996. http://zeus.polsl.gliwice.pl/~bmw/archive/wl_segm.zip.

[2] Zieliński B.: Bezprzewodowa transmisja danych poprzez łącze RS-232C. ZN Pol. Śl. s. Informatyka z. 32, Gliwice 1997. http://zeus.polsl.gliwice.pl/~bmw/archive/-wl_rs232.zip.

[3] Freeburg T. A.: Enabling Technologies for Wireless In-Building Network Communications – Four Technical Challenges, Four Solutions. IEEE Communications Magazine, Apr. 1991.

[4] Gofton P. W.: Mastering Serial Communications. Sybex, Alameda 1994.

[5] Buchholz D., Odlyzko P., Taylor M., White R.: Wireless In-Building Networks Architecture and Protocols. IEEE Network Magazine, Nov. 1991, pp. 68-73.

[6] Dąbrowski K.: Amatorska komunikacja cyfrowa. PWN, Warszawa 1994.

[7] Weinmiller J., Schläger M., Festag A., Wolisz A.: Performance Study of Access Control in Wireless LANs – IEEE 802.11 DFWMAC and ETSI RES 10 HIPERLAN. W: Mobile Networks and Applications. Baltzer Science Publishers, July 1997.

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

[9] Kozłowski A., Woźniak J.: Radiowe systemy teleinformatyczne. W: Sobczak W. (red.): Problemy teleinformatyki. WKiŁ, Warszawa 1984.

[10] Tannenbaum A. S.: Sieci komputerowe. WNT, Warszawa 1988.

[11] Chen K.-C.: Medium Access Control of Wireless LANs for Mobile Computing. IEEE Network, Sept./Oct. 1994.

[12] Pahlavan K., Levesque A. H.: Wireless Data Communications. Proceedings of the IEEE, Vol. 82, No. 9, Sept. 1994.

[13] Hołubowicz W., Płóciennik P., Różański A.: Systemy łączności bezprzewodowej. Wydawnictwa EFP, Poznań 1996.

[14] Tobagi F. A., Kleinrock L.: Packet Switching in Radio Channels: Part II – The Hidden Terminal Problem in Carrier Sense Multiple-Access and the Busy-Tone Solution. IEEE Transactions on Communications, Vol. COM-23, No.12, Dec. 1975.

[15] Bhargavan V., Demers A., Shenker S., Zhang L.: MACAW: A Media Access Protocol for Wireless LAN's. SIGCOM '94, http://piggy.cs.nthu.edu.tw/paper/-Mobile/PS/macaw-cr.ps.gz.

[16] Karn P.: MACA – A New Channel Access Method for Packet Radio. ARRL Amateur Radio 9th Computer Networking Conference, 22.09.1990.

[17] Kutlu A., Ekiz H., Powner E. T.: Implementation of "Comb" Based Wireless Access Method for Control Area Network. 11th International Symposium on Computer and Information Sciences, Nov. 1996.

[18] Małysiak H., Caban D., Zieliński B.: Bezprzewodowe media komunikacyjne. Etap 2: Zasady stosowania transmisji bezprzewodowej w systemach CIM. PBZ-31-05. IITiS PAN, Gliwice 1996.

[19] Grzywak A. (red.): Rozproszone systemy komputerowe. PRO-net, Gliwice 1994.

[20] Zieliński B.: Bezprzewodowe sieci komputerowe wykorzystujące konwersję protokołów. Rozprawa doktorska, Instytut Informatyki Politechniki Śląskiej, Gliwice 1997. http://zeus.polsl.gliwice.pl/~bmw/archive/doct.zip.

[21] Caban D., Fojcik M., Małysiak H., Zieliński B.: System transmisji radiowej dla sieci przemysłowych. ZN Pol. Śl. s. Informatyka z. 32, Gliwice 1997. http://-zeus.polsl.gliwice.pl/~bmw/archive/wl_modb.zip.

[22] Małysiak H., Caban D., Zieliński B., Fojcik M.: Bezprzewodowe media komunikacyjne. Etap 5: Realizacja i badanie współpracy segmentów przewodowych i bezprzewodowych sieci CIM. PBZ-31-05. IITiS PAN, Gliwice 1996.

Recenzent: Dr inż. Ryszard Winiarczyk

Wpłynęło do Redakcji 5 grudnia 1997 r.

Abstract

Wireless transmission media are still more and more popular alternative to the wired ones. It is a very interesting problem how to connect wired and wireless network segments in such a way that such a connection is invisible neither for network users, nor for transmission hardware and software.

The simplest way to connect wired and wireless segments is to make a conversion on a physical layer level. There are, however, many conditions which must be satisfied; otherwise, the network may work incorrectly. Solution example of this problem is a device which does protocol conversion on a data link layer level. Such a protocol converter insures proper cooperation between wired and wireless network segments.

Protocol converter can be made as part of a network card (Fig. 3) or as a standalone device (Fig. 4). In any case, the converter itself is a microprocessor device with memory buffers and two serial interfaces. Proper cooperation between them is insured by software. The diagram of the converter program is shown on Fig. 5.

The converter buffers the data transmitted so it influences upon the time parameters of the network. The transmission process of long and short amount of data is shown on Fig. 6 and 7, respectively. The converter influence upon RS-232C link efficiency can be calculated using Equations (1) to (6). The influence upon Modbus network time parameters can be computed basing on a transmission process diagram shown on Fig. 9.