

Bartłomiej ZIELIŃSKI
Politechnika Śląska, Instytut Informatyki

OPÓŹNIENIA TRANSMISJI W RÓŻNYCH IMPLEMENTACJACH PROTOKOŁU AX.25

Streszczenie. Omówiono wpływ implementacji protokołu AX.25 na opóźnienia transmisji w sieci Packet Radio. Przedstawiono wyniki teoretyczne, uzyskane za pomocą modelu analitycznego, i doświadczalne, które uzyskano z wykorzystaniem różnych implementacji protokołu AX.25 dla wybranych typów kontrolerów TNC. Przedstawione rozważania mogą posłużyć do oceny możliwości zastosowania kontrolerów TNC w określonych aplikacjach, uwarunkowanych czasowo.

Słowa kluczowe: opóźnienia transmisji, protokół AX.25, kontroler TNC

TRANSMISSION DELAYS IN VARIOUS IMPLEMENTATIONS OF AX.25 PROTOCOL

Summary. We discuss the influence of AX.25 protocol implementation on transmission delays in Packet Radio network. We present theoretical results, achieved using analytical model, and experimental results, obtained using various implementations of AX.25 protocol for selected types of TNC controllers. Presented considerations can be used for analysis of TNC controller application in time-bounded systems.

Keywords: transmission delays, AX.25 protocol, TNC controller

1. Wprowadzenie

Protokół AX.25 [1] jest stosowany jako warstwa liniowa w radioamatorskiej sieci Packet Radio. Protokół ten należy do rodziny protokołów HDLC [3]. Można go uznać za modyfikację odmiany LAPB (ang. *Link Access Protocol Balanced*) [4], ponieważ wykorzystuje te same typy ramek i rodzaje połączeń. Różnice obejmują elementy charakterystyczne dla łączności radioamatorskiej.

Mimo iż protokół jest używany od ponad 30 lat, w literaturze naukowej można znaleźć co najwyżej kilka prac na jego temat (np. [5]). W pracach tych brakuje jednak analizy wpływu parametrów protokołu na wydajność sieci, nie ma także dogłębnych porównań różnych implementacji protokołu.

Kompletna stacja sieci Packet Radio zawiera komputer (lub inne urządzenie DTE) oraz nadajnik-odbiornik radiowy [2]. Ze względu na odmienne sposoby przesyłania informacji, urządzenia te nie mogą współpracować ze sobą bezpośrednio. Konieczne jest zatem zastosowanie odpowiednich technik przetwarzania postaci danych. Przetwarzanie takie można zrealizować całkowicie w komputerze lub przez dołączenie układów zewnętrznych. Przykładem takiego układu jest kontroler TNC (ang. *Terminal Node Controller*) – autonomiczny układ mikroprocesorowy, którego pracą steruje dedykowane oprogramowanie. Do zadań oprogramowania należy m.in. obsługa protokołu AX.25 oraz komunikacja z komputerem i jego użytkownikiem. Kontroler można zatem uznać za sprzętowo-programową implementację protokołu AX.25. Ponieważ jednak dostępne kontrolery TNC są zbudowane z wykorzystaniem różnych mikroprocesorów i działają pod kontrolą różnych typów i wersji oprogramowania, poszczególne implementacje mogą mieć różny wpływ na osiągi sieci. Celem niniejszego artykułu jest porównanie opóźnień transmisji, wprowadzanych przez różne typy i wersje oprogramowania dla kontrolerów TNC, zbudowanych z wykorzystaniem mikroprocesora Zilog Z-80.

2. Przesył danych z użyciem kontrolerów TNC

Kontroler TNC jest autonomicznym układem, zawierającym – prócz mikroprocesora – także pamięci programu i danych oraz interfejsy komunikacyjne. Zadaniem kontrolera jest zbieranie informacji przychodzącej np. od komputera i przetworzenie jej zgodnie z wymogami protokołu AX.25. Ze względu na buforowanie i przetwarzanie przesyłanej informacji, transmisja przebiega w trzech etapach, pokazanych na rys. 1. Jak widać na rysunku, transmisja z wykorzystaniem kontrolerów TNC powoduje opóźnienia w stosunku do bezpośredniego przesyłu między komputerami.

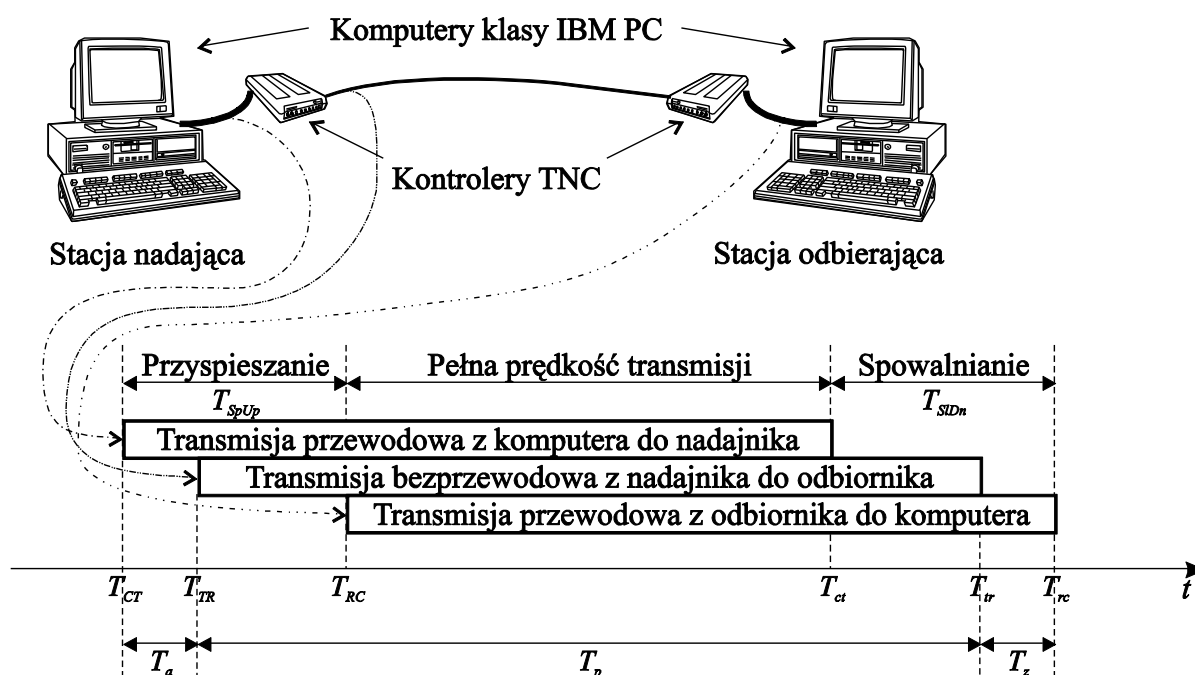
Dla potrzeb analizy założymy, iż transmisja przebiega w warunkach idealnych, tzn:

- sieć składa się z dwóch stacji, komunikujących się między sobą łączem bezprzewodowym dwukierunkowym naprzemiennym (ang. *half-duplex*),
- transmisja jest wolna od kolizji i błędów transmisji, nie występują zatem retransmisje,
- czas przetwarzania ramek w kontrolerze TNC jest pomijalny.

Dzięki takim założeniom wszelkie różnice między wynikami analitycznymi i doświadczalnymi są efektem cech implementacji protokołu, nie zaś np. zakłóceń zewnętrznych.

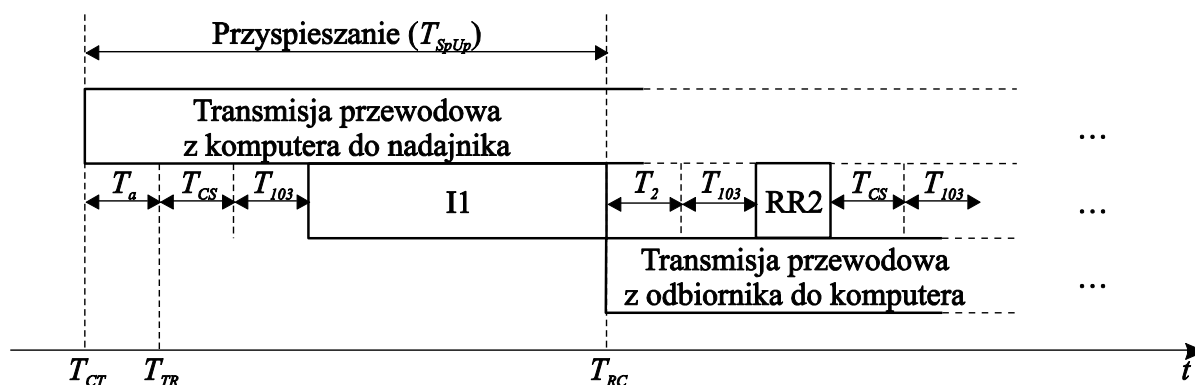
2.1. Opóźnienie rozpoczęcia transmisji

Opóźnienie rozpoczęcia transmisji, odpowiadające fazie „przyspieszania” na rys. 1, jest równe sumie czasu transmisji N_1 znaków łączem szeregowym oraz czasu transmisji jednej ramki (zawierającej także N_1 bajtów danych) łączem radiowym. Właściwą transmisję ramki poprzedza jeszcze rywalizacja i włączanie nadajnika radiowego, co przedstawia rys. 2. Opóźnienie rozpoczęcia transmisji nie zależy od relacji między efektywną przepustowością łącza przewodowego i bezprzewodowego.



Rys. 1. Konfiguracja rozważanej sieci i etapy transmisji

Fig. 1. Considered network configuration and transmission stages

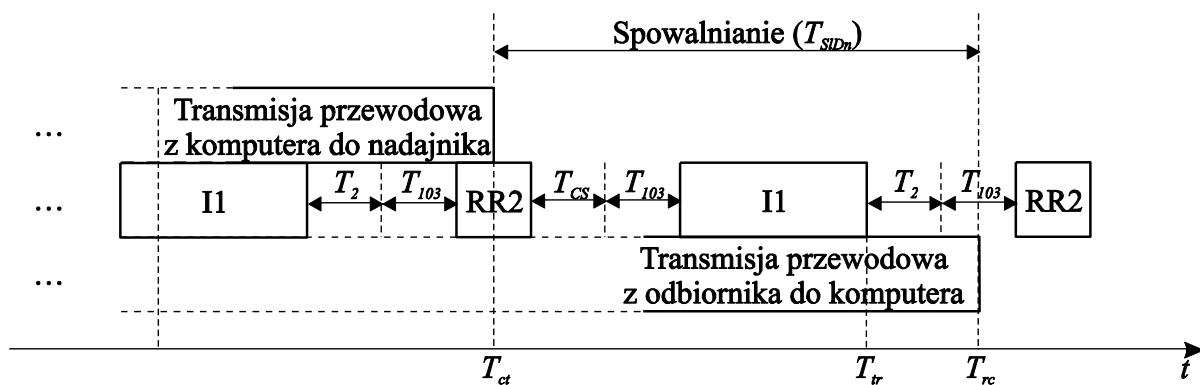


Rys. 2. Wyjaśnienie sposobu obliczenia czasu przyspieszania (T_{SpUp})

Fig. 2. Explanation of “speed-up” time (T_{SpUp}) calculation method

2.2. Opóźnienie zakończenia transmisji

Opóźnienie zakończenia transmisji, odpowiadające fazie „spowalniania” na rys. 1, jest znacznie trudniejsze do oszacowania. Wynika to z faktu buforowania informacji w pamięci kontrolera TNC. Przy odpowiednio pojemnym buforze cała informacja może zostać przesłana po stronie nadającej w sposób ciągły, bez przerw spowodowanych wypełnieniem bufora. W tym czasie część danych jest już jednak przesyłana łączem radiowym. Ze względu na mniejszą efektywną prędkość tego łącza, transmisja przewodowa po stronie odbiorczej odbywa się w sposób nieciągły. Aby zatem obliczyć moment zakończenia transmisji po stronie odbiorczej, należy uwzględnić moment ukończenia transmisji bezprzewodowej (T_{tr} na rys. 1) oraz czas transmisji nie więcej niż N_1 znaków łączem przewodowym. Transmisja bezprzewodowa jest opóźniona w stosunku do przesyłu po stronie nadawczej także o czas transmisji N_1 znaków łączem przewodowym. Jeśli przesył ten odbywa się w sposób ciągły, można łatwo wyznaczyć moment jego zakończenia ($T_{tr} = T_{TR} + T_p$). Przedstawiono to na rys. 3.



Rys. 3. Wyjaśnienie sposobu obliczenia czasu spowalniania (T_{SIDn})

Fig. 3. Explanation of “slow-down” time (T_{SIDn}) calculation method

Warto zauważyć, że transmisja bezprzewodowa może się zakończyć już po upływie czasu T_{SIDn} . Jest to szczególnie prawdopodobne w przypadku łącza dwukierunkowego naprzemiennego, jeśli jego prędkość transmisji jest znacznie mniejsza niż prędkość łącza przewodowego. W przypadku łącza dwukierunkowego jednoczesnego nie występuje czas T_2 . Jeśli ostatnia ramka danych jest odpowiednio krótka, odpowiadająca jej ramka potwierdzenia (RR) może zostać wysłana zaraz po zakończeniu transmisji poprzedniego potwierdzenia; w takim przypadku nie wystąpi także czas T_{103} . Opisane zjawisko nie jest jednak istotne z punktu widzenia transmisji pomiędzy komputerami.

3. Wyniki doświadczalne

Pomiary rzeczywistych opóźnień transmisji w sieci Packet Radio prowadzono w doświadczalnej sieci, złożonej z dwóch kontrolerów TNC, podłączonych do komputera osobistego klasy IBM PC za pomocą łącza szeregowego RS-232 lub USB. Transmisja między kontrolerami TNC także odbywała się przewodowo w celu uniknięcia możliwego wpływu zakłóceń elektromagnetycznych na transmisję radiową, a co za tym idzie – na uzyskane wyniki. Można zatem przyjąć, iż badania prowadzone były w warunkach możliwie jak najbardziej zbliżonych do idealnych. Jedynym bowiem czynnikiem obniżającym wydajność transmisji są wówczas właściwości kontrolerów TNC, a w szczególności ich moc obliczeniowa i szczegóły implementacji protokołu. Wybrane parametry użytych kontrolerów zestawiono w tabeli 1 [11]. Konfigurację sieci i etapy transmisji przedstawiono na rys. 1.

Tabela 1

Wybrane parametry niektórych kontrolerów TNC [11]

| Typ | Producent | Procesor | f_{clk} [MHz] | ROM [KB] | RAM [KB] | R_w [kb/s] | R_{wl} [kb/s] |
|---------------------|-----------|----------|--------------------|-------------|-------------|-----------------|--------------------|
| TNC [2] | ? | Z-80 | 2,4576 | 32 | 16-32 | 9,6 | 1,2 |
| TNC2D [6] | Muel | Z-80 | 4,9152 | 2×32 | 32 | 19,2 | 1,2 |
| TNC2H [8] | Symek | Z-80 | 9,8304 | 2×32 | 32 | 38,4 | 9,6 |
| Spirit-2 Std. [7] | Paccomm | Z-80 | 9,8304 | 2×32 | 32 | 57,6 | 57,6 |
| Spirit-2 High Speed | Paccomm | Z-80 | 19,6608 | 2×32 | 32 | 57,6 | 57,6 |

Podczas badań w kontrolerach wykorzystano następujące oprogramowanie sterujące:

- MFJ (od inicjałów autora, Martina F. Jue) w wersjach 1.1.4, 1.1.9 oraz 1.2.6,
- TF (ang. *The Firmware, Turbo Firmware*) w wersjach 2.1d, 2.3b oraz 2.7b,
- Spirit-2 w wersji 5.0, dostarczone wraz z kontrolerami Spirit-2.

3.1. Opóźnienie rozpoczęcia transmisji

Badania prowadzono, przesyłając plik o długości 1792 B z kontrolera badanego do pomocniczego. Funkcję kontrolera pomocniczego pełnił układ TNC7 o mocy obliczeniowej znacznie wyższej, niż w przypadku kontrolerów wykorzystujących mikroprocesor Z-80. Badania prowadzono dla dwóch konfiguracji. Pierwsza z nich, „wolniejsza”, zawierała kontrolery TNC2 i TNC2D, pracujące z częstotliwościami zegara około 2,5 i 5 MHz, a prędkości transmisji wynosiły $R_w=9,6$ kb/s oraz $R_{wl}=1,2$ kb/s. Konfiguracja „szybsza” natomiast zawierała kontrolery Spirit-2 w wersji Standard oraz High Speed, pracujące z częstotliwościami zegara około 10 i 20 MHz, a prędkości transmisji wynosiły $R_w=9,6$ kb/s oraz $R_{wl}=9,6$ kb/s.

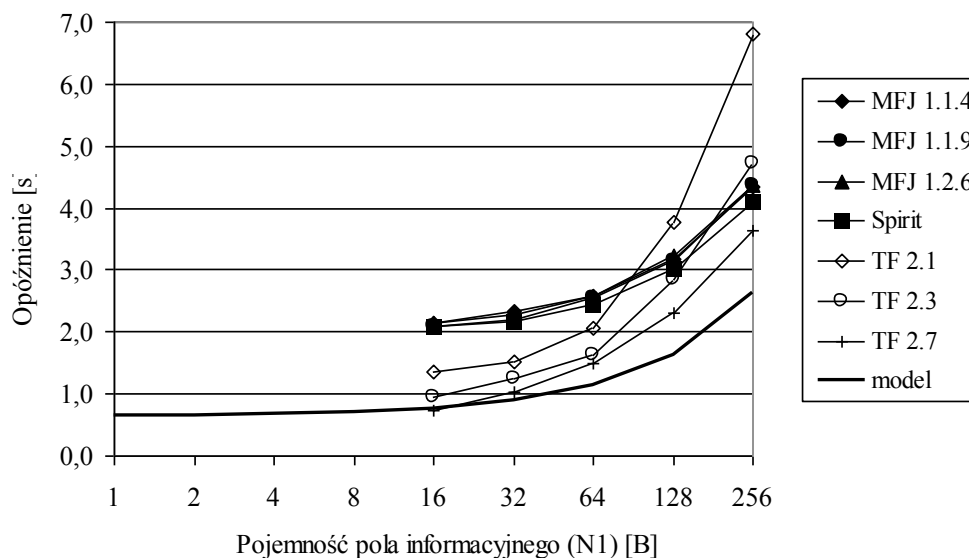
Prędkości takie dobrano celowo, aby zmniejszyć niedokładność pomiarów, spowodowaną zbyt krótkimi czasami transmisji.

Opóźnienie rozpoczęcia transmisji mierzono, prowadząc transmisję przy maksymalnej wielkości okna ($k=7$) dla maksymalnych długości pola informacyjnego ramki (N_1) z zakresu $16 \div 256$. Uznano, że w praktyce rzadko są spotykane ramki zawierające mniej niż 16 B danych. Zmierzony czas przyspieszania odpowiada opóźnieniu, upływającemu od chwili rozpoczęcia transmisji w stacji nadającej do chwili otrzymania pierwszego znaku w stacji odbierającej.

Przedstawione dalej wyniki pomiarów skonfrontowano z obliczeniami, dokonanyimi za pomocą opracowanego wcześniej modelu analitycznego. Model ten przedstawiono w pracach [9, 10, 11].

3.1.1. Konfiguracja „wolniejsza”

Wyniki pomiarów dla konfiguracji „wolniejszej”, dla częstotliwości taktowania mikroprocesora równej około 2,5 i 5 MHz, przedstawiono odpowiednio na rys. 4 i 5.

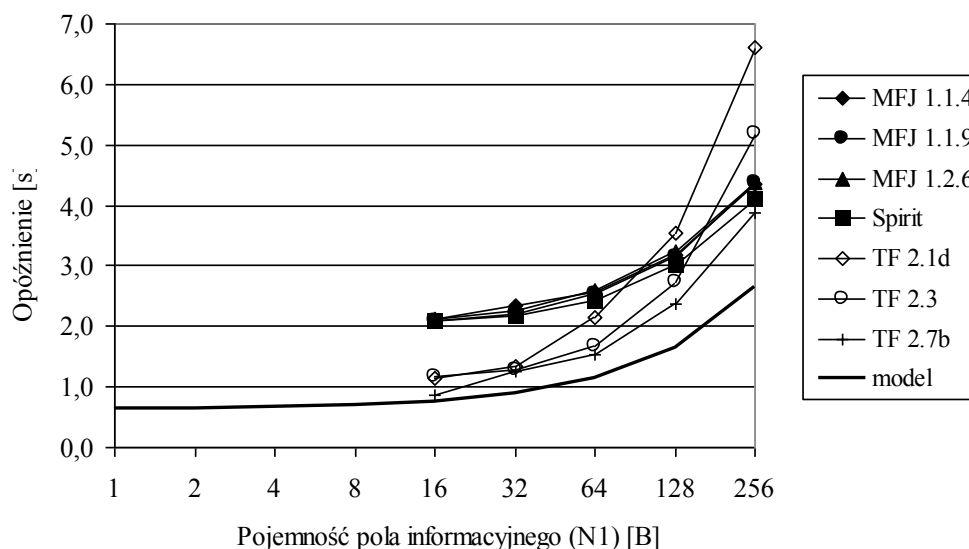


Rys. 4. Zmierzone opóźnienia – konfiguracja „wolniejsza”, $f_{clk}=2,5$ MHz

Fig. 4. Measured delays – “slower” configuration, $f_{clk}=2,5$ MHz

Na przedstawionych wykresach widać wyraźnie, że uzyskane wyniki silnie zależą od oprogramowania sterującego pracą kontrolera TNC. Wyniki dla oprogramowania MFJ (we wszystkich wersjach) i Spirit są niemal identyczne. Oprogramowanie Spirit wykazuje przy tym najmniejsze opóźnienia, tym niemniej są one i tak zauważalnie większe, niż wynikałoby to z analizy teoretycznej dla warunków idealnych. Nieco odmiennie zachowuje się oprogramowanie TF – w tym przypadku wyniki bardzo zależą od wersji oprogramowania i długości ramek. Przy ramkach względnie krótkich ($N_1=16$ lub 32) uzyskane wyniki są dość zbliżone i jednocześnie bliskie wynikom teoretycznym. Wraz ze wzrostem długości ramek następuje

szybki wzrost opóźnienia, zaobserwowany już przy $N_1=64$. Uwidacznia się też wówczas zależność opóźnienia od wersji oprogramowania – najstarsza wersja, 2.1, powoduje opóźnienia największe, podczas gdy najnowsza, 2.7 – najmniejsze. Mimo to, opóźnienia dla wersji 2.7 przy najdłuższych ramkach są niewiele mniejsze niż dla oprogramowania MFJ i Spirit.



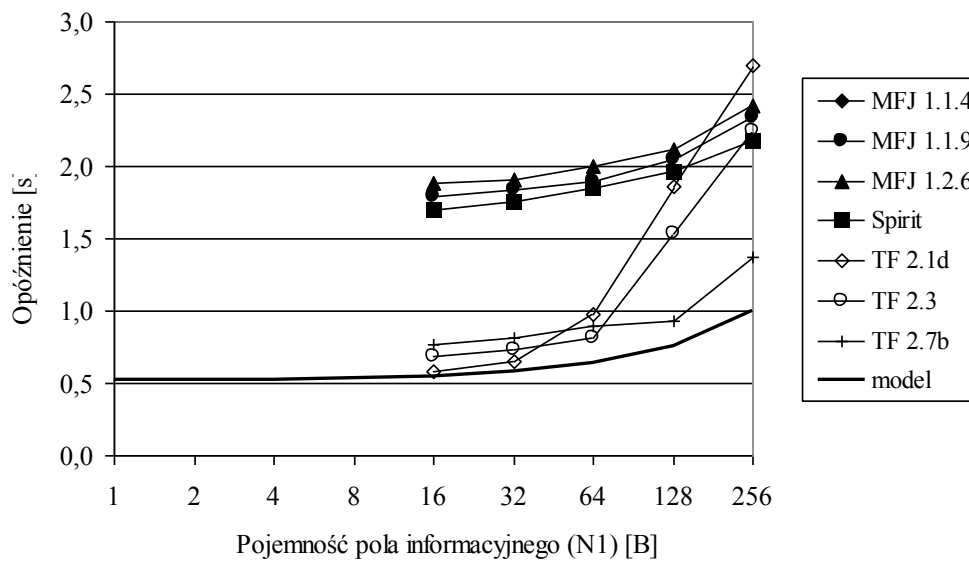
Rys. 5. Zmierzone opóźnienia – konfiguracja „wolniejsza”, $f_{clk}=5$ MHz
 Fig. 5. Measured delays – “slower” configuration, $f_{clk}=5$ MHz

Znaczny wzrost opóźnień przy przesyłaniu długich ramek w oprogramowaniu TF jest zapewne spowodowany niewystarczającą optymalizacją procedur odpowiedzialnych za przygotowywanie ramek do transmisji.

3.1.2. Konfiguracja „szybsza”

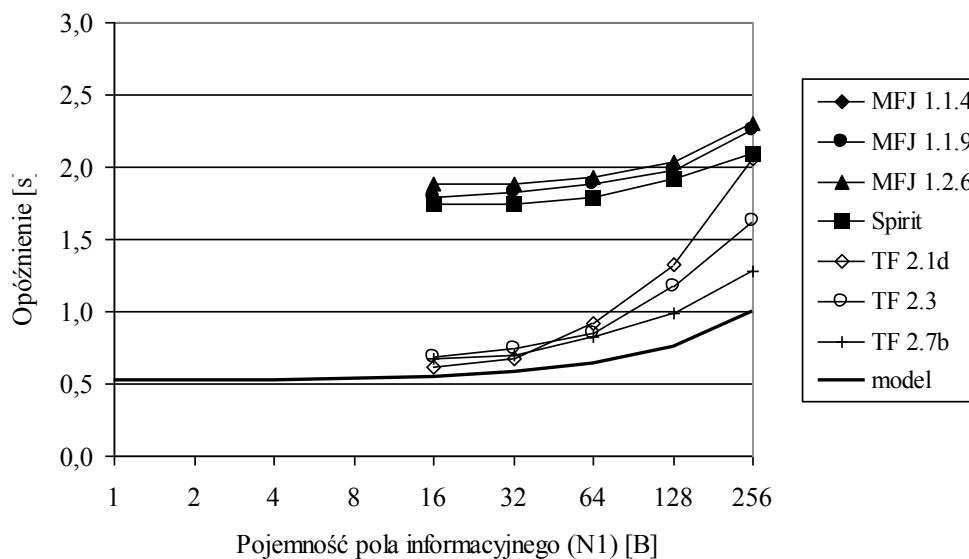
Wyniki pomiarów dla konfiguracji „szybszej”, dla częstotliwości taktowania mikroprocesora równej około 10 i 20 MHz, przedstawiono odpowiednio na rys. 6 i 7.

Również dla tej konfiguracji można zauważyć znaczne różnice między wynikami uzyskanymi dla oprogramowania MFJ i Spirit a TF. Podobnie jak w konfiguracji „wolniejszej”, różnice między wynikami otrzymanymi dla różnych wersji oprogramowania MFJ i Spirit nie są znaczne, a ich zależność od długości ramki jest także zbliżona. Tym niemniej można stwierdzić, że oprogramowanie Spirit pozwala na osiągnięcie najmniejszych opóźnień w tej grupie. Charakterystyka uzyskana dla poszczególnych wersji oprogramowania TF jest także zbliżona do otrzymanej dla konfiguracji „wolniejszej”. Można jednak zauważyć, że dla ramek o średniej długości ($N_1=16$ lub 32) wersja 2.7 powoduje większe opóźnienia niż pozostałe wersje, niemniej jednak różnice nie są duże. Dla ramek najdłuższych natomiast wersja ta jest źródłem najmniejszych opóźnień.



Rys. 6. Zmierzone opóźnienia – konfiguracja „szybsza”, $f_{clk}=10$ MHz

Fig. 6. Measured delays – “faster” configuration, $f_{clk}=10$ MHz



Rys. 7. Zmierzone opóźnienia – konfiguracja „szybsza”, $f_{clk}=20$ MHz

Fig. 7. Measured delays – “faster” configuration, $f_{clk}=20$ MHz

Wyniki pozwalają także stwierdzić, że oprogramowanie TF jest dość czułe na moc obliczeniową kontrolera, wynikającą z częstotliwości taktowania mikroprocesora. Wraz ze wzrostem tej częstotliwości coraz bardziej uwidacznia się wyższość tego oprogramowania nad oprogramowaniem MFJ oraz Spirit. W szczególności, przy częstotliwości taktowania mikroprocesora około 20 MHz najwolniejsza wersja oprogramowania TF jest szybsza od każdego innego typu oprogramowania, nawet przy najdłuższych ramkach. Oprogramowanie MFJ i Spirit nie wykazuje prawie żadnej zależności od częstotliwości taktowania mikroprocesora. Można zatem przypuszczać, że źródłem tak wysokich opóźnień mogą być celowe ograniczenia wprowadzone do tego oprogramowania.

3.2. Opóźnienie zakończenia transmisji

Opóźnienie zakończenia transmisji zamierzano mierzyć podobnie, jak opóźnienie rozpoczęcia transmisji. W trakcie badań okazało się jednak, że wszystkie badane typy i wersje oprogramowania sterującego pracą kontrolera TNC okresowo wstrzymują transmisję ze strony nadającego komputera, zapewne aby zapobiec przepełnieniu buforów kontrolera. Transmisja po stronie nadawczej nie jest zatem ciągła, a więc uzyskane wyniki byłyby trudne do porównania z wynikami teoretycznymi. Badania takie można oczywiście powtórzyć, ale dobierając odpowiednią długość przesyłanego pliku tak, aby wstrzymywanie transmisji nie następowало lub używając zmodyfikowanego modelu analitycznego.

4. Podsumowanie

Opisane badania mogą posłużyć jako pomoc przy doborze odpowiedniego kontrolera TNC dla danej aplikacji. Pozwalają także określić, czy zastosowanie kontrolera TNC jest w ogóle możliwe, ze względu na wymagania czasowe sieci oraz możliwość ich niedotrzymania po wprowadzeniu kontrolerów. Należy jednak pamiętać o tym, że wyniki uzyskano w warunkach idealnych, a zatem można je traktować jako minimalne wartości opóźnień.

BIBLIOGRAFIA

1. Beech W.A., Nielsen D.E., Taylor J.: AX.25 Link Access Protocol for Amateur Packet Radio. Tucson Amateur Packet Radio Corporation, 1997.
2. Dąbrowski A.: Amatorska komunikacja cyfrowa. PWN, Warszawa 1994.
3. Information technology – Telecommunications and information exchange between systems – High-level data link control (HDLC) procedures. ISO/IEC 13239:2002, ISO, Genewa 22.08.2002.
4. Information technology – Telecommunications and information exchange between systems – High-level data link control procedures – Description of the X.25 LAPB-compatible DTE data link procedures. ISO/IEC 7776:1995, ISO, Genewa 22.06.1995.
5. Karn P.R., Price H.E., Diersing J.: Packet Radio in the Amateur Service. IEEE Journal on Selected Areas of Communications, vol. 3, no. 3, May 1985, pp. 431-439.
6. Muel – Radiowe systemy transmisji danych. <http://www.muel.internet.pl/>.
7. PacComm Packet Radio Systems. <http://www.paccomm.com/>.
8. Symek Packet-Radio. <http://www.symek.de/>.

9. Zieliński B.: Analiza opóźnień w sieci Packet Radio zawierającej kontrolery TNC, [w:] Zieliński Z. (red.): Systemy czasu rzeczywistego. Postępy badań i zastosowania. WKŁ, Warszawa 2009, ss. 333-342.
10. Zieliński B.: Wpływ kontrolera TNC na opóźnienia w sieci Packet Radio, [w:] Trybus L., Samolej S. (red.): Metody wytwarzania i zastosowania systemów czasu rzeczywistego. WKŁ, Warszawa 2010, ss. 255-266.
11. Zieliński B.: Protokoły warstwy liniowej w bezprzewodowych sieciach komputerowych. Studia Informatica, vol. 32, no. 4D (103), Gliwice 2011.

Wpłynęło do Redakcji 13 marca 2013 r.

Abstract

The paper discusses AX.25 protocol implementation influence over transmission delays in an experimental Packet Radio network. We explain transmission run when using TNC controllers (fig. 1) and then we define “speed-up” and “slow-down” times (fig. 2 and 3, respectively). Experimental results were obtained using few various types of TNC controllers (table 1), running under control of few various types and versions of software.

Results are divided into “slower” and “faster” configurations, depending on TNC controller construction parameters. The results are shown on fig. 4÷7. In both configurations, there is a visible difference between individual types and versions of TNC control software. Some of them show high dependency on TNC microprocessor computing power (transmission delays decrease with increasing clock frequency), while others are practically constant.

The results can help choose a proper TNC controller for a given application. We should remember, however, that the measurements were done under perfect conditions. Thus, they should be treated as lower bound of delay.

Adres

Bartłomiej ZIELIŃSKI: Politechnika Śląska, Instytut Informatyki, ul. Akademicka 16, 44-100 Gliwice, Polska, Bartłomiej.Zielinski@polsl.pl