

**Bartłomiej ZIELIŃSKI**POLITECHNIKA ŚLĄSKA, INSTYTUT INFORMATYKI,  
ul. Akademicka 16, 44-100 Gliwice**Wpływ kontrolera TNC na opóźnienia transmisji w sieci Packet Radio**

Dr inż. Bartłomiej ZIELIŃSKI

Dr inż. Bartłomiej Zieliński pracuje w Instytucie Informatyki Politechniki Śląskiej od 1993 roku, obecnie na stanowisku adiunkta. W 1997 roku uzyskał stopień doktora nauk technicznych. Główne obszary jego badań to bezprzewodowe sieci komputerowe i systemy mikroprocesorowe.



e-mail: Bartlomiej.Zielinski@polsl.pl

**Streszczenie**

Kontrolery TNC są układami mikroprocesorowymi, służącymi do przesyłu informacji w sieci Packet Radio. W pracy przedstawiono wyniki badań opóźnień rozpoczęcia i zakończenia transmisji w doświadczalnej sieci Packet Radio, uzyskane przy użyciu różnych typów kontrolerów TNC. Wyniki te skonfrontowano z wynikami obliczeń z wykorzystaniem wprowadzonego wcześniej analitycznego modelu kontrolera TNC. Przedstawione rozważania mogą posłużyć do oceny możliwości zastosowania kontrolerów TNC w określonych aplikacjach uwarunkowanych czasowo.

**Słowa kluczowe:** sieć Packet Radio, kontroler TNC, opóźnienia transmisji.

**TNC Controller Influence on Transmission Delays in Packet Radio Network****Abstract**

TNC controllers are microprocessor-based circuits used as network adapters for amateur Packet Radio network. They can, however, be used in other applications, e.g., remote control or telemetry. In such applications, it is often necessary to estimate transmission delays. This paper briefly presents the previously developed analytical model that allows estimating delays of transmission start and end. Calculation results obtained with this model are used as a reference point for results obtained in an experimental Packet Radio network using various types of TNC controllers. These results clearly show that the processing power of the TNC controller microprocessor has great influence on the aforementioned transmission delays. However, detailed analysis of the results shows that software-dependent protocol implementation issues also influence network achievements. Thus, it requires further research using a common hardware platform with various types and versions of the software. The presented considerations can help in analysis of TNC controller application possibilities in certain time-bounded applications.

**Keywords:** Packet Radio network, TNC controller, transmission delays.

**1. Wprowadzenie**

Sieć Packet Radio [3] można rozpatrywać jako przykład prostej bezprzewodowej sieci rozległej. Sieć ta powstała w początku lat 80-tych XX wieku, a więc w czasach, gdy inne popularne obecnie środki łączności, takie jak sieć Internet i telefonia komórkowa, nie były jeszcze szeroko dostępne. Niestety, jako dzieło radioamatorów, sieć Packet Radio nigdy nie była rozwiązaniem popularnym, o czym może świadczyć niewielka ilość literatury poruszającej ten temat. Obecnie, ze względu na powszechność Internetu i telefonii komórkowej, zmienia się jej zastosowanie – istniejąca infrastruktura jest używana jako medium dla transmisji informacji w amatorskich systemach telemetrycznych i pomiarowo-kontrolnych, pracujących zgodnie z wymogami protokołu APRS (ang. *Automatic Position Reporting System*) [4].

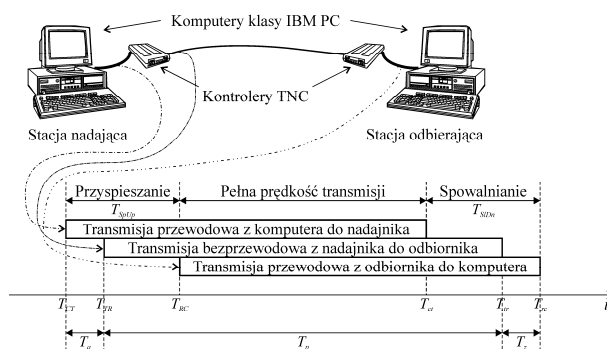
Kompletna stacja sieci Packet Radio zawiera komputer (lub inne urządzenie DTE) oraz nadajnik-odbiorcę radiowy [2]. Ze względu na odmienne sposoby przesyłania informacji urządzenia te na ogół nie mogą współpracować ze sobą bezpośrednio. Ko-

nieczne jest zatem zastosowanie określonych 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*).

W poprzednich pracach przedstawiono analityczny model protokołu AX.25 [5], stosowanego jako warstwa liniowa w sieci Packet Radio [1]. Model ten pozwala oszacować wpływ poszczególnych parametrów protokołu na jego wydajność i, co za tym idzie, efektywną prędkość transmisji widzianą przez użytkownika. Przedstawiono również model analityczny kontrolera TNC [6]. Model ten pozwala oszacować wpływ obecności kontrolera na parametry użytkowe sieci, jak np. efektywna prędkość czy opóźnienia transmisji, a także oszacować rozmiar bufora kontrolera, niezbędny dla spełnienia wymagań niektórych aplikacji w określonych warunkach. Przeprowadzono także dokładniejszą analizę opóźnień transmisyjnych wynikających z użycia kontrolerów TNC. W niniejszej pracy przedstawiono wyniki pomiarów opóźnień rozpoczęcia i zakończenia transmisji w doświadczalnej sieci Packet Radio, zbudowanej z wykorzystaniem dostępnych w handlu kontrolerów. Celem tych badań jest określenie wpływu cech użytego kontrolera na osiągi sieci. Wyniki te można potraktować jako próbę praktycznej weryfikacji analitycznego modelu pracy kontrolera TNC.

**2. Opóźnienia transmisji**

Rozważmy przypadek przesyłania informacji między dwoma komputerami (lub innymi urządzeniami), połączonymi ze sobą za pośrednictwem dwóch kontrolerów TNC. W takim przypadku – ze względu na buforowanie przesyłanych danych i przetwarzanie ich formatu – transmisja przebiega w kilku etapach. Konfigurację sieci wraz z etapami transmisji wyjaśniono na rys. 1.

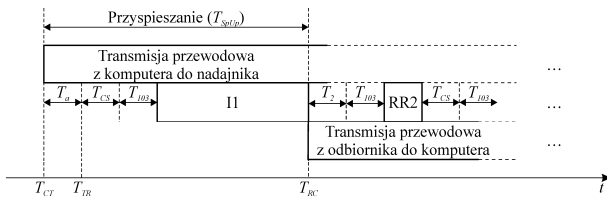


Rys. 1. Konfiguracja rozważanej sieci i etapy transmisji  
Fig. 1. Network configuration and transmission stages

W pewnych zastosowaniach istotna może być nie tylko efektywna prędkość transmisji, lecz także opóźnienia wynikające z buforowania przesyłanych danych i przetwarzania ich formatu. Szczególnie istotne wydaje się opóźnienie od momentu rozpoczęcia transmisji przez nadawcę do momentu rozpoczęcia odbioru przez adresata oraz od momentu zakończenia transmisji przez nadawcę do momentu zakończenia odbioru przez adresata. W dalszej części rozdziału są one określane, odpowiednio, jako opóźnienie rozpoczęcia i zakończenia transmisji.

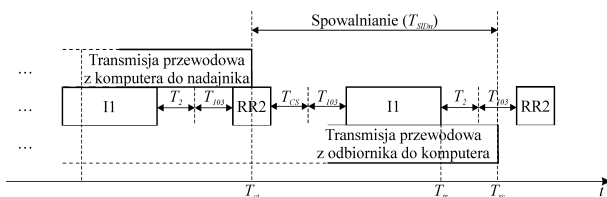
**Opóźnienie rozpoczęcia transmisji**, odpowiadające fazie „przyspieszania” na rys. 1, jest równe sumie czasu transmisji znaków łączem szeregowym do kontrolera TNC oraz czasu transmisji jednej ramki łączem radiowym. zilustrowano to na rys. 2. Opóźnienie rozpoczęcia transmisji nie zależy od relacji między efektywną przepustowością łącza przewodowego i bezprzewodowego.

**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 przesłana może zostać przesłana po stronie nadawczej w sposób ciągły, bez przerw spowodowanych wypełnieniem bufora. W tym czasie część danych jest już jednak przesyłana łączem radiowym. Ze względu na mniejszą prędkość efektywną 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 oraz czas transmisji znaków łączem szeregowym. Transmisja bezprzewodowa jest opóźniona w stosunku do przesyłu po stronie nadawczej także o czas transmisji znaków łączem szeregowym. Jeśli przesył ten odbywa się w sposób ciągły, można łatwo wyznaczyć moment jego zakończenia.



Rys. 2. Wyjaśnienie obliczenia czasu przyspieszania ( $T_{SptUp}$ )  
Fig. 2. Explanation of “speed-up” time ( $T_{SptUp}$ ) calculation

Wyjaśnienie opóźnienia zakończenia transmisji pokazano na rys. 3. Warto zauważyć, że transmisja bezprzewodowa może się zakończyć się już po upłynięciu czasu  $T_{SIDn}$ . Jest to szczególnie prawdopodobne w przypadku łącza dwukierunkowego naprzemiennego, jeśli jego prędkość transmisji jest znacznie mniejsza niż prędkość łącza przewodowego. Jeśli ostatnia ramka danych jest odpowiednio krótka, odpowiadająca jej ramka potwierdzenia (RR) może zostać wysłana zaraz po zakończeniu transmisji poprzedniego potwierdzenia. Opisane zjawisko nie jest jednak istotne z punktu widzenia transmisji pomiędzy komputerami.



Rys. 3. Wyjaśnienie obliczenia czasu spowalniania ( $T_{SIDn}$ )  
Fig. 3. Explanation of “slow-down” time ( $T_{SIDn}$ ) calculation

### 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. Jedyne bowiem czynniki obniżające 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 [8]. Konfigurację sieci i etapy transmisji przedstawiono na rys. 1.

Opóźnienie rozpoczęcia transmisji mierzono, przysyłając plik o rozmiarze 256 B przy maksymalnej wielkości okna ( $k=7$ ) dla różnych maksymalnych pojemności pola informacyjnego ramki ( $N_1$ ). W każdym teście oba badane kontrolery TNC były tego samego typu i działały pod kontrolą tego samego typu opro-

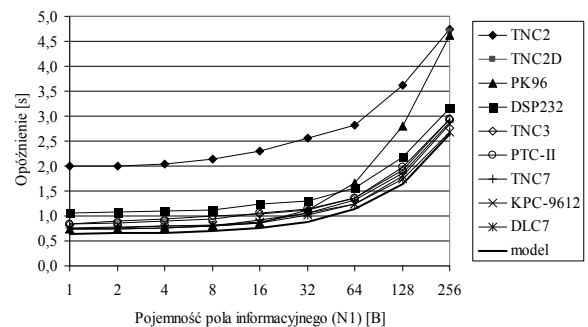
gramowania. Prędkości transmisji wynosiły:  $R_w=9,6$  kb/s,  $R_w=1,2$  kb/s. Prędkości te wybrano ze względu na większą dokładność pomiarów przy małej prędkości transmisji. Zmierzony czas przyspieszania odpowiada opóźnieniu, wpływającemu od chwili rozpoczęcia transmisji w stacji nadawczej do chwili otrzymania pierwszego znaku w stacji odbierającej. Wyniki pomiarów przedstawiono na rys. 4.

Na przedstawionym wykresie widać, że wraz ze zwiększającą się pojemnością pola informacyjnego ramki rośnie mierzone opóźnienie. Jest to zgodne z oczekiwaniami, gdyż przesyła się wówczas większą ilość informacji, dłuższy jest także czas przygotowania ramki do wysłania. Drugi z wymienionych czynników jest szczególnie istotny w przypadku kontrolerów TNC starszych typów, zbudowanych z wykorzystaniem mikroprocesorów 8-bitowych, szczególnie Zilog Z-80 (np. TNC2). Różnice między kontrolerami, zawierającymi mikroprocesory 16- i 32-bitowe, są znacznie mniejsze, a ich osiągi tylko nieznacznie odbiegają od wartości wyznaczonych według modelu analitycznego. Nieco zaskakująco zachowuje się kontroler PK96 z mikroprocesorem Zilog Z180, który przy mniejszych wartościach  $N_1$  zachowuje się jak kontrolery szybsze, jednak gdy wartość ta przekracza 32, widać znaczny wzrost opóźnienia. Osiąga ono nawet wartości zmierzone dla najwolniejszego kontrolera TNC2.

Tab. 1. Wybrane parametry konstrukcyjne kontrolerów TNC  
Tab. 1. Selected construction parameters of TNC controllers

Typ	Producent	Procesor	$f_{clk}$ [MHz]
TNC2	?	Z80	2,4576
TNC2D	Muel	Z80	4,9152
TNC2H	Symek	Z80	9,8304
Spirit-2 Std.	Paccomm	Z80	9,8304
Spirit-2 HS	Paccomm	Z80	19,6608
KPC-9612+	Kantronics	68HC11	16,0000
PK-96	Timewave	Z180	12,2880
KAM-XL	Kantronics	68HC902	9,8304
DSP-232	Timewave	68340	3,6864
PTC-II	SCS	68360	25,0000
TNC3S	Symek	68302	14,7456
TNC31S	Symek	68302	14,7456
TNC4e	HBTron	68EN302	19,6608
TNC7multi	NtG	LPC2106	58,9824
DLC7	NtG	S3C4530	49,1520

Podczas testów udało się także wykazać, zgodnie z oczekiwaniami, niezależność czasu przyspieszania od maksymalnej wielkości okna. Jest to oczywiste, biorąc pod uwagę, iż transmisja bezprzewodowa może się zacząć, gdy kontroler zbierze w buforze  $N_1$  znaków do wysłania. Nie musi on zatem czekać na  $k \cdot N_1$  znaków, a zatem  $k$  nie ma wpływu na opóźnienie rozpoczęcia transmisji. Podczas transmisji pierwszej ramki kontroler może zebrać kolejne  $N_1$  znaków, które będą wysłane w kolejnej ramce. Proces ten będzie trwał do chwili, gdy albo skończy się pojemność bufora, albo przesłana zostanie cała informacja.

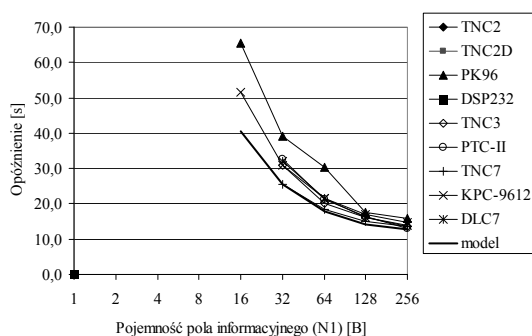


Rys. 4. Zmierzony czas przyspieszania ( $T_{SptUp}$ ) dla różnych kontrolerów TNC  
Fig. 4. Measured “speed-up” time ( $T_{SptUp}$ ) for various TNC controllers

Opóźnienie zakończenia transmisji mierzono, przesyłając plik o rozmiarze 1792 B przy maksymalnej wielkości okna ( $k=7$ ) dla różnych maksymalnych pojemności pola informacyjnego ramki ( $N_1$ ). Wybrany rozmiar pliku jest iloczynem największych możliwych wartości  $k$  oraz  $N_1$ , zapewnia zatem najwyższą teoretyczną efektywność protokołu, a zatem i najwyższą efektywną prędkość transmisji. Od prędkości tej zależy opóźnienie zakończenia transmisji. W każdym teście oba badane kontrolery TNC były tego samego typu i działały pod kontrolą tego samego typu oprogramowania. Prędkości transmisji wynosiły:  $R_w=9,6$  kb/s,  $R_w=1,2$  kb/s. Prędkości te wybrano ze względu na większą dokładność pomiarów przy małej prędkości transmisji. Zmierzony czas spowalniania odpowiada opóźnieniu, wpływającemu do chwili zakończenia transmisji w stacji nadającej do chwili otrzymania ostatniego znaku w stacji odbierającej. Wyniki pomiarów przedstawiono na rys. 5. Pominięto na nim wyniki uzyskane dla  $N_1 < 16$  ze względu na to, że wartości opóźnień były wówczas bardzo duże.

Podczas badań okazało się, że niektóre kontrolery TNC wstrzymują transmisję na łączu przewodowym po stronie nadającej, zapewne po to, aby zapobiec przepelnieniu bufora. Są to kontrolery: TNC2, TNC2D oraz DSP-232. W przypadku dwóch pierwszych kontrolerów zachowanie to można uzasadnić małą pojemnością pamięci RAM (16+32 KB). Trzeci kontroler jest jednak wyposażony w pamięć o większej pojemności (256 KB), tak więc za przyczynę opisanego zachowania kontrolera można uznać celowe ograniczenia wprowadzone w oprogramowaniu sterującym jego pracą. Ponieważ w przyjętym modelu analitycznym założono, iż transmisja po stronie nadającej powinna być ciągła, wyniki uzyskane dla tych kontrolerów odrzucono jako niemiarodajne.

Podobne ograniczenia występują także w innych typach kontrolerów – zwiększanie pojemności pamięci RAM nie wpływa na zmianę zachowania kontrolera. Tym niemniej, pojemność bufora okazała się wystarczająca dla pomieszczenia 1792 B, co pozwoliło na zachowanie ciągłości transmisji po stronie nadawcy.



Rys. 5. Zmierzony czas spowalniania ( $T_{SDN}$ ) dla różnych kontrolerów TNC  
Fig. 5. Measured "slow-down" time ( $T_{SDN}$ ) for various TNC controllers

Jak widać na przedstawionym wykresie, zmierzone wartości opóźnień zależą od parametrów kontrolera TNC. Warto zauważyć, że pomiędzy kontrolerem KPC-9612, wyposażonym w mikroprocesor 8-bitowy, a TNC3, DLC7 i TNC7, zawierającymi mikroprocesory 16- i 32-bitowe, różnice nie są znaczne. Jedynie układ PK96 jest zauważalnie wolniejszy. Może to wynikać nie tylko z różnic w mocy obliczeniowej, lecz także drobnych różnic w implementacji protokołu. Mała moc obliczeniowa kontrolera, podobnie jak i niewystarczająca optymalizacja oprogramowania, wydłużają czas przygotowania ramek do transmisji.

Wiele różnic w implementacji protokołu można zaobserwować, gdy odbierający kontroler pracuje w trybie monitorowania sieci. Przykładowo, kontroler KPC-9612, rozpoczynając transmisję, stopniowo zwiększa rzeczywistą wielkość okna od 1 do ustawionej wartości  $k$  w kilku krokach (np. 1, 4, 7). Z kolei kontrolery TNC3, TNC7 i DLC7 stosują maksymalną ustawioną wielkość okna od samego początku.

Kolejnym czynnikiem, który może mieć wpływ na opóźnienie zakończenia transmisji, jest czas  $T_2$  (patrz rys. 3) oraz reakcja na

bit P/F (ang. *Poll/Final*), występujący w polu sterującym ramki informacyjnej. Gdy bit P/F jest ustawiony, odbierający kontroler wysyła w odpowiedzi ramkę RR natychmiast. W przeciwnym przypadku czeka przez czas  $T_2$  na ewentualne kolejne ramki informacyjne i dopiero w przypadku braku takowych wysyła potwierdzenie (ramkę RR). W czasie  $T_2$  nie zachodzi zatem wymiana informacji, co zmniejsza efektywną prędkość transmisji i zwiększa opóźnienie jej zakończenia. Obecnie obowiązująca definicja protokołu [1] ani nie wymusza, ani nie zabrania oznaczania ostatniej ramki okna ustawionym bitem P/F, co pozostawia pewną dowolność interpretacji. Można zatem przyjąć, iż jest to czynnik zależny wyłącznie od oprogramowania sterującego pracą kontrolera TNC, a mający dość istotne znaczenie zarówno dla efektywnej prędkości transmisji, jak i dla opóźnienia jej zakończenia.

## 4. Podsumowanie

Przedstawione wyniki doświadczalne wykazują wystarczającą dokładność analitycznego modelu opisującego zachowanie kontrolera TNC. Wyniki uzyskane dla poszczególnych kontrolerów odbiegają w różnym stopniu od rezultatów obliczonych za pomocą modelu. Może to świadczyć o dużej zależności opóźnień transmisji – szczególnie opóźnień zakończenia transmisji – zarówno od mocy obliczeniowej kontrolera, jak i od szczegółów implementacji protokołu, zależnych od oprogramowania sterującego jego pracą. Opisane badania mogą zatem 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 pamiętać też o tym, że wyniki uzyskano w warunkach idealnych, a zatem można je traktować jako minimalne wartości opóźnień.

Bardziej szczegółowe porównanie właściwości programów sterujących pracą TNC można uzyskać wówczas, gdy istnieje platforma sprzętowa, dla której dostępnych jest wiele rodzajów i wersji oprogramowania. Platformę taką tworzy rodzina kontrolerów zawierających mikroprocesor Z80. Niektóre wyniki [7] pokazują, że oprogramowanie sterujące pracą kontrolera TNC może mieć podobny wpływ na wydajność sieci, jak moc obliczeniowa kontrolera. Można zatem oczekiwać, iż opóźnienia transmisji mogą się różnić, zależnie od właściwości oprogramowania, pod kontrolą którego pracują użyte w testach kontrolery. Badania, które mogą wykazać tę zależność, będą wykonane w niedalekiej przyszłości.

## 5. Literatura

- [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. Warszawa. PWN. 1994.
- [3] Karm P., Price H., Diersing R.: Packet Radio in the Amateur Service. IEEE Journal on Selected Areas in Communications. Vol. 3, No. 3, May 1985, pp. 431-439.
- [4] Wade I. (ed.): Automatic Position Reporting System. APRS Protocol Reference. Protocol Version 1.0. Tucson Amateur Packet Radio Corporation. Tucson 2000.
- [5] Zieliński B.: Efficiency estimation of AX.25 protocol. Theoretical and Applied Informatics, Vol. 20, No. 3, 2008, pp. 199-214.
- [6] Zieliński B.: An analytical model of TNC controller. Theoretical and Applied Informatics, Vol. 21 (2009), No. 1, pp. 7-22.
- [7] Zieliński B.: Performance Evaluation of Various Implementations of AX.25 Protocol. Theoretical and Applied Informatics, Vol. 21 (2009), No. 3-4, pp. 225-237.
- [8] Zieliński B.: A Comparison of Various Types of TNC Controllers. Theoretical and Applied Informatics, Vol. 22 (2010), in press.