

Rozdział 13

Porównanie różnych wersji kontrolerów TNC

Bartłomiej ZIELIŃSKI
Politechnika Śląska, Instytut Informatyki
Bartłomiej.Zielinski@polsl.pl

Streszczenie

Kontrolery TNC są układami mikroprocesorowymi służącymi do przesyłu informacji w sieci Packet Radio. W niniejszym rozdziale scharakteryzowano ogólne właściwości kontrolerów TNC różnych typów oraz omówiono wyniki pomiarów, umożliwiających porównanie ich wydajności.

1. Wprowadzenie

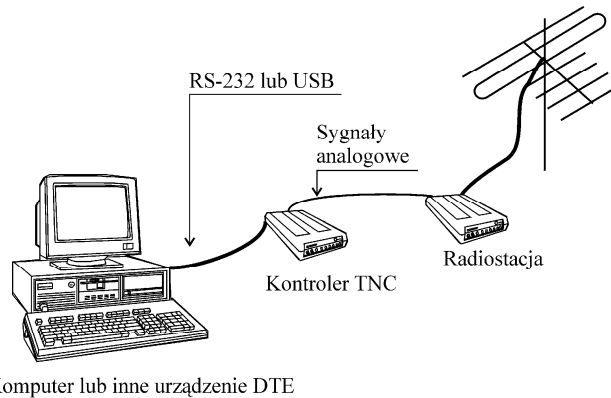
Sieć Packet Radio można rozpatrywać jako przykład prostej bezprzewodowej sieci rozległej. Wprawdzie – jako dzieło radioamatorów – nigdy nie było to rozwiązanie popularne (o czym świadczyć może niewielka ilość literatury poruszającej ten temat), a obecnie, wskutek powszechnej dostępności Internetu raczej trudno spodziewać się dalszego jej rozwoju, jednak można wykorzystać pewne jej elementy w procesie dydaktycznym, prezentując studentom wybrane aspekty projektowania sieci bezprzewodowych oraz urządzeń służących do transmisji w tych sieciach.

Kompletna stacja sieci Packet Radio zawiera komputer (lub inne urządzenie DTE) oraz nadajnik-odbiornik radiowy. Ponieważ urządzenia te na ogół nie mogą współpracować ze sobą bezpośrednio, konieczne jest zastosowanie określonych technik przetwarzania informacji; mogą one być realizowane całkowicie w komputerze lub przez dołączenie układów zewnętrznych. Przykładem takiego układu jest kontroler TNC.

Opisane w niniejszym rozdziale badania i wyniki można traktować jako kontynuację i uzupełnienie prac [12, 13, 14].

2. Kontrolery TNC

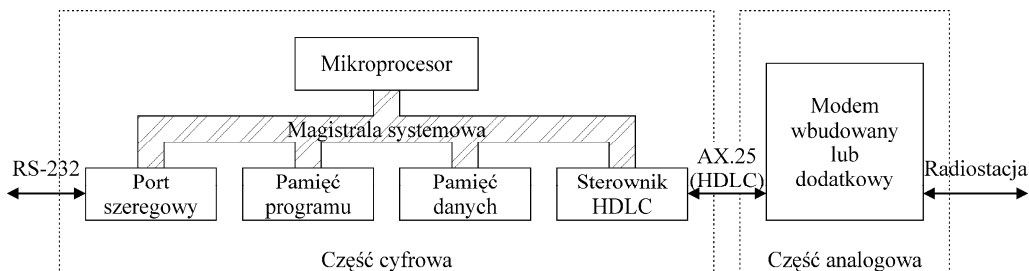
Kontroler TNC (ang. *Terminal Node Controller*) jest układem mikroprocesorowym, zapewniającym możliwość podłączenia urządzenia DTE (np. komputera) do sieci Packet Radio. Budowę typowej stacji sieci Packet Radio z wykorzystaniem TNC pokazano na rys. 1.



Rys. 1. Budowa stacji sieci Packet Radio zawierającej kontroler TNC

2.1. Budowa kontrolera TNC

Kontroler TNC [2] składa się z części cyfrowej, zapewniającej przetworzenie postaci danych napływających z komputera zgodnie z wymogami sieci i zasadami działania protokołu AX.25, oraz części analogowej, pełniącej funkcje modemu i umożliwiającej sterowanie radiostacją bezpośrednio z kontrolera. Schemat blokowy kontrolera przedstawiono na rys. 2. Może on sugerować, że każdy z wymienionych na rysunku elementów musi występować osobno; przy obecnych możliwościach technologicznych, przy zastosowaniu mikrosterowników jednoukładowych, możliwa jest jednak realizacja całej części cyfrowej w postaci pojedynczego układu (niektóre mikrosterowniki wymagają jednak dołączenia zewnętrznych układów pamięci programu i danych). Zresztą nawet w starszych konstrukcjach port szeregowy i sterownik HDLC występują często w pojedynczym układzie scalonym (najczęściej Z80-SIO lub 8530).



Rys. 2. Schemat blokowy kontrolera TNC

Dostępne obecnie kontrolery można podzielić na kilka grup. Najczęściej spotykane są konstrukcje kompatybilne ze standardem TNC2, oparte na mikroprocesorze Zilog Z80. Znacznie nowocześniejsze są układy TNC3, w których zastosowano jednoukładową wersję popularnego mikroprocesora Motorola 68000. Można także spotkać konstrukcje „pośrednie”, zawierające mikroprocesory Zilog Z180 lub (znacznie częściej) mikrosterowniki jednoukładowe rodziny 68HC11 i 68HC12. Do najnowocześniejszych układów zaliczyć należy układy zawierające 32-bitowe mikrosterowniki jednoukładowe rodziny LPC2000, zawierające jądro ARM7. Wybrane parametry konstrukcyjne niektórych kontrolerów TNC zebrano w tabeli 1.

Tabela 1. Wybrane parametry niektórych kontrolerów TNC

Typ	Producent	Procesor	F_{clk} [MHz]	ROM [KB]	RAM [KB]	R_w [kb/s]	R_{wl} [kb/s]
TNC2	?	Z80	2,4576	32	16-32	9,6	1,2 (9,6)
TNC2D [6]	Muel	Z80	4,9152	2×32	32	19,2	1,2 (9,6)
TNC2H [10]	Symek	Z80	9,8304	2×32	32	38,4	9,6
Spirit-2 Standard [8]	Paccomm	Z80	9,8304	2×32	32	57,6	57,6
Spirit-2 High Speed	Paccomm	Z80	19,6608	2×32	32	57,6	57,6
KPC-9612+ [5]	Kantronics	68HC11	16,0000	128	128- 512	38,4	38,4
PK-96 [11]	Timewave	Z180	12,2880	64	128	38,4	38,4
KAM-XL	Kantronics	68HC902	9,8304	512	512	38,4	9,6
DSP-232	Timewave	68340	3,6864	128	256	19,2	9,6
PTC-II [9]	SCS	68360	25,0000	256- 512	512- 2048	115,2	19,2
TNC3S [10]	Symek	68302	14,7456	256- 1024	64- 2048	115,2	614,4
TNC31S [10]	Symek	68302	14,7456	128- 512	128- 512	115,2	614,4
TNC4e [4]	HBTron	68EN302	19,6608	1024	4096	115,2	1228,8
TNC7multi	NtG	LPC2106	58,9824	128	64	115,2	115,2
DLC7 [7]	NtG	S3C4530	49,1520	4096	32768	115,2	1536,0

Z danych zamieszczonych w tabeli wynika, że dostępne kontrolery TNC znacznie różnią się parametrami takimi, jak typ i częstotliwość taktowania (F_{clk}) mikroprocesora. Cechy te mają pewien wpływ na możliwe do uzyskania w danym układzie maksymalne prędkości transmisji łącza przewodowego (R_w) i radiowego (R_{wl}), przede wszystkim jednak mogą mieć znaczny wpływ na moc obliczeniową kontrolera, co z kolei może rzutować na osiągnięte efektywne prędkości transmisji. Nieco mniejsze różnice występują w zakresie pojemności pamięci. Parametr ten ma wpływ na wygodę użytkownika układu – duża pojemność pamięci programu daje możliwość wyboru używanego oprogramowania bądź też wprowadzenia nowych funkcji. Z kolei wielkość pamięci RAM ma znaczenie przy stosowaniu układów jako skrzynek pocztowych lub stacji węzłowych. Wydaje się także, iż pojemność pamięci RAM poświęconej na bufor nadawczo-odbiorczy może wpływać na wydajność układu – zbyt mała jej wielkość może uniemożliwiać stosowanie odpowiednio długich pojemności ramek danych (parametr *PacLen*) i dużych wielkości okna (parametr *MaxFrame*).

W różny sposób rozwiązany jest problem wyboru prędkości transmisji łącza radiowego. Układy z procesorem Z80 umożliwiają dobór prędkości w wąskim zakresie, najczęściej od 300 b/s do 9,6 kb/s, za pomocą zworek. Często uzyskanie prędkości powyżej 1,2 kb/s wymaga instalacji dodatkowego modemu, jednak niektóre układy (np. TNC2H, Spirit-2) oferują „od razu” 9,6 kb/s i więcej; niższe prędkości można uzyskać wówczas po modyfikacji układu. W nowszych konstrukcjach wybór prędkości odbywa się programowo, za pomocą określonych poleceń operatora. Jest to rozwiązanie wygodniejsze, jednak zakres prędkości transmisji dalej ograniczony jest możliwościami modemu wbudowanego w dany kontroler. Układy te często nie umożliwiają wprowadzenia dodatkowych modemów, na szczęście jednak wbudowane modemy zapewniają większość popularnych prędkości transmisji. Największą elastyczność, uzyskaną jednak kosztem wygody użytkownika, daje wydzielenie modemu jako osobnego podzespołu, który można swobodnie wymieniać. Rozwiązanie takie zastosowano między innymi w układach TNC3, TNC4e i DLC7. Modemy dla TNC3, zapewniające prędkości transmisji w zakresie 1,2-614,4 kb/s, można stosować także w TNC4e i DLC7. Modem DM307, przeznaczony dla DLC7, pozwala na uzyskanie prędkości transmisji z zakresu 4,8-307,2 kb/s, wymaga jednak konfiguracji programowej, jego użycie w TNC3 i TNC4e jest zatem problematyczne. Wydaje się, że maksymalna prędkość transmisji wymienionych układów – szczególnie DLC7 – może być wyższa, jest jednak ograniczona dostępnością modemów.

Na uwagę zasługują kontrolery wielofunkcyjne, pozwalające na pracę nie tylko w sieci Packet Radio, ale także w innych systemach łączności radioamatorskiej. Ze względu na różnorodność sposobów modulacji, modemy tych kontrolerów zbudowane są z wykorzystaniem procesorów sygnałowych (DSP). Do grupy tej należą KAM-XL, DSP-232 oraz PTC-II. Ich wadą jest ograniczona, najczęściej do 9,6 kb/s, prędkość transmisji w trybie Packet Radio, co niekiedy uniemożliwia pełne wykorzystanie mocy obliczeniowej mikroprocesora.

Dobór prędkości łącza przewodowego może także odbywać się na drodze sprzętowej, przez przełączanie zworek, lub programowej, za pomocą odpowiednich poleceń. Spotyka się także możliwość automatycznego dostosowania parametrów transmisji w kontrolerze do ustawień portu szeregowego komputera (ang. *autobaud*). W niektórych konstrukcjach (DSP-232, TNC7, PTC-IIusb) „tradycyjny” port szeregowy zastąpiono przez USB. Niektóre kontrolery, przeznaczone do pracy jako stacje węzłowe (np. TNC4e, DLC7, PTC-IInet), mają także możliwość podłączenia do sieci Ethernet. Wraz z odpowiednim oprogramowaniem ułatwia to integrację sieci Packet Radio z Internetem.

2.2. Oprogramowanie kontrolera TNC

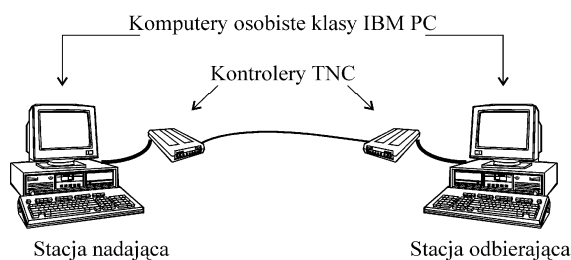
Oprogramowanie kontrolera TNC odpowiedzialne jest za prawidłową realizację protokołu AX.25, używanego w sieci Packet Radio. Dodatkowe funkcje obejmują komunikację z komputerem (a za jego pośrednictwem – z operatorem) oraz konfigurację niektórych parametrów kontrolera. Warto przy tym zauważyć, że o ile realizacja protokołu AX.25 powinna być ściśle ustandaryzowana (występują tu jednak pewne drobne różnice), o tyle w przypadku pozostałych funkcji można pozwolić sobie na pewną

dowolność. Z tego zapewne powodu można obecnie spotkać kilka sposobów komunikacji komputera z kontrolerem TNC, optymalizowanych pod kątem wykorzystania kontrolera do komunikacji zarówno między ludźmi (zbiory poleceń TAPR i TF), jak i urządzeniami (tryby KISS oraz HOST, a także zbiór poleceń Hayes AT w układach TNC3). Dostępność wymienionych trybów pracy zależy od warstwy sprzętowej kontrolera – najczęściej oprogramowania jest dla kontrolerów wykorzystujących mikroprocesor Z80. Jako ciekawostkę można podać to, że kontrolery produkcji europejskiej, głównie niemieckiej, wykorzystują najczęściej zbiór poleceń TF, amerykańskie natomiast – TAPR.

Od użytego rodzaju oprogramowania może zależeć sposób realizacji określonych funkcji, a szczególnie protokołu AX.25. Można zatem spodziewać się wpływu oprogramowania na wydajność układu.

3. Porównanie wydajności kontrolerów TNC

Badanie wydajności kontrolerów TNC wykonywano w doświadczalnej sieci, zawierającej jeden lub dwa komputery klasy IBM PC oraz dwa kontrolery. Pojedynczy komputer PC wystarcza, jeśli posiada dwa porty szeregowe lub USB, zależnie od użytych w danym teście kontrolerów. Transmisja między kontrolerami odbywała się przewodowo. Tę nieco egzotyczną – jak dla układów przeznaczonych dla sieci radiowych – konfigurację wybrano, aby uniknąć wpływu zakłóceń radiowych na jakość transmisji. Ponadto, w tak zbudowanej sieci istnieje całkowita dowolność doboru parametrów transmisji, co umożliwia testowanie dla przypadków nie występujących w praktyce. Konfigurację sieci pokazano na rys. 3.

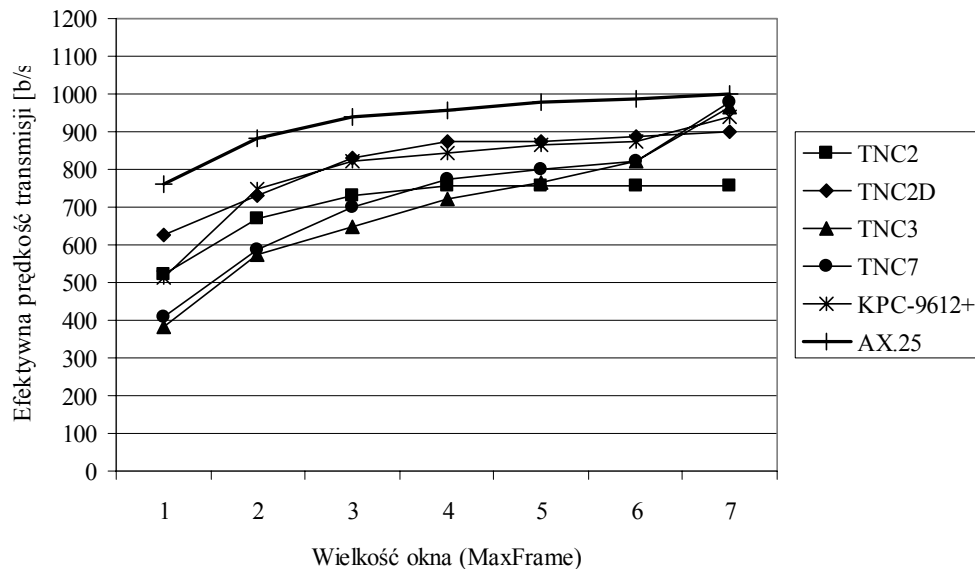


Rys. 3. Doświadczalna sieć Packet Radio

Badania wykonywano, przesyłając plik o rozmiarze 8 lub 16 KB (zależnie od prędkości transmisji) przy różnych pojemnościach pola danych ramki protokołu AX.25 (*PacLen*) i wielkościach okna (*MaxFrame*). Mniejszy plik umożliwia porównanie z wynikami uzyskanymi w poprzednich pracach [12, 13, 14], większy natomiast pozwala na zmniejszenie błędu pomiaru, wynikającego m. in. z konieczności transmisji danych między kontrolerami a komputerami PC.

Na rys. 4 pokazano wyniki pomiarów efektywnej prędkości transmisji dla kilku wybranych kontrolerów TNC przy różnych wielkościach okna i długości pola danych w ramce równej 256 bajtów; prędkość łącza szeregowego wynosiła 19,2 kb/s, a radiowego – 1,2 kb/s. Na wykresie zamieszczono także, dla porównania, krzywą określającą teoretyczne możliwości protokołu AX.25 [15]. Z wykresu wynika, że osiągi

kontrolerów nie różnią się znacznie. Paradoksalnie, szybsze kontrolery TNC3 i TNC7 wypadają gorzej od pozostałych przy rozmiarze okna mniejszym niż 7. Dokładniejsza analiza wykonana w trybie monitorowania łącza wykazała, iż kontrolery te, w przeciwieństwie do pozostałych, nie wymuszają przesłania potwierdzenia (bit Poll/Final w polu sterującym ramki). Dlatego też odbiorca czeka przez czas *AckTime* na nadejście kolejnej ramki i dopiero potem przesyła potwierdzenie. W przypadku maksymalnej wielkości okna zarówno TNC3 jak i TNC7 osiągają prędkości bliskie wartości teoretycznej, a jednocześnie wyższe niż pozostałe kontrolery. Jest to możliwe dlatego, że wówczas potwierdzenie przesyłane jest bez odliczania czasu *AckTime*, gdyż protokół nie dopuszcza przesłania większej liczby ramek w oknie.



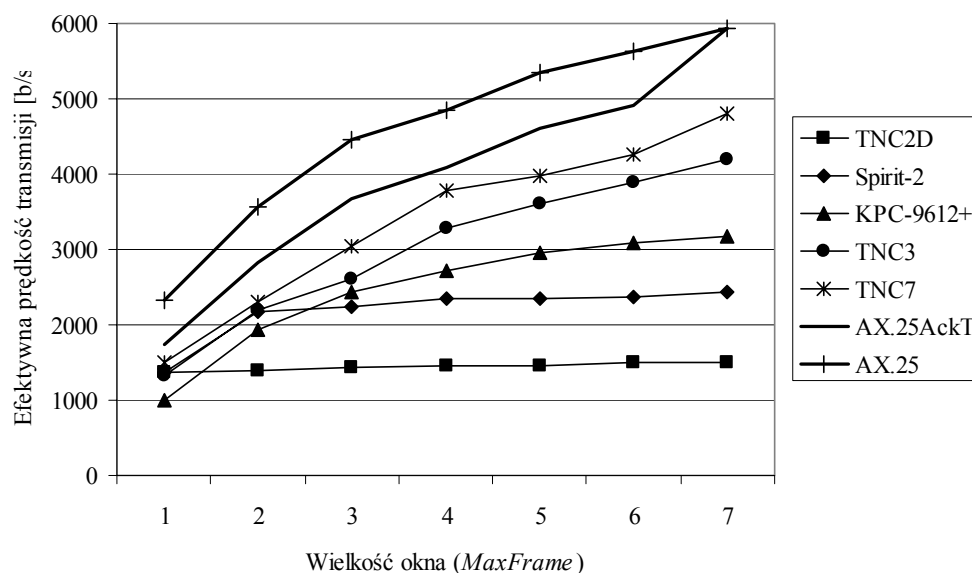
Rys. 4. Porównanie efektywnej prędkości transmisji przy prędkości łącza radiowego 1200 b/s

Na rys. 5 przedstawiono wyniki podobnych pomiarów, przeprowadzonych dla prędkości łącza radiowego 9,6kb/s. W tym przypadku różnice są już znacznie bardziej wyraźne. W zależności od użytego kontrolera TNC, największa efektywna prędkość transmisji waha się od około 1,5 kb/s (TNC2D) do prawie 5 kb/s (TNC7). Na wykresie przedstawiono także dwie krzywe, pokazujące teoretyczne możliwości protokołu [15]. Jedną z nich (AX.25) odpowiada wersji z natychmiastowym potwierdzeniem, druga (AX.25 AckT) – z odliczaniem czasu *AckTime*.

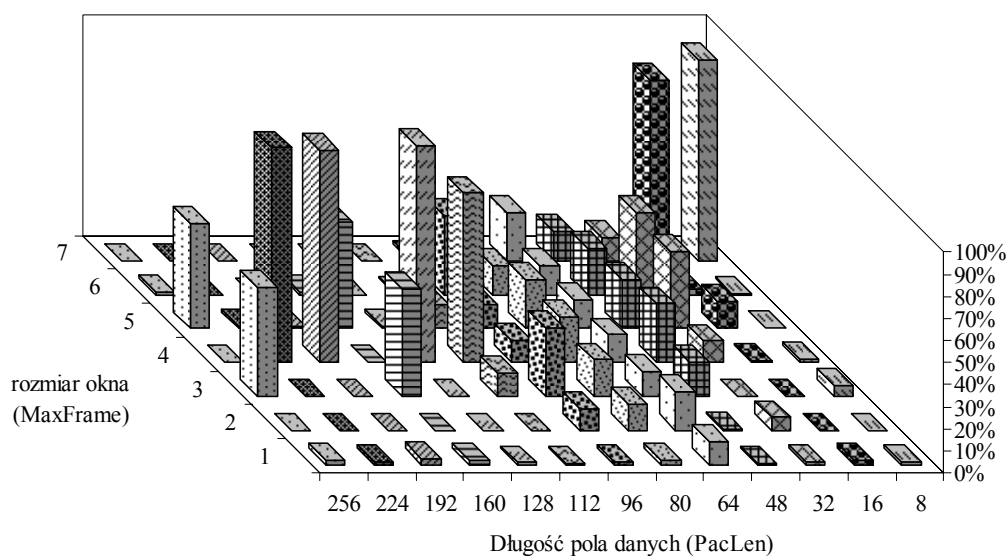
W celu dokładniejszego określenia przyczyny niskiej wydajności kontrolerów zawierających procesor Z80 przeprowadzono dodatkowe badania. Polegały one na transmisji stosunkowo dużego pliku (64 KB) oraz rejestrowaniu przesyłanych ramek. Jest to możliwe w przypadku włączenia trybu monitorującego w TNC. Na podstawie tak uzyskanego raportu przebiegu transmisji określono faktyczne wielkości okna, występujące podczas transmisji. Histogramy, przedstawiające rozkład tych wielkości dla kilku wybranych kontrolerów i prędkości transmisji pokazano na rys. 6-8.

Z przedstawionych danych wynika, że kontrolery zawierające mikroprocesor Z80 nie są w stanie wykorzystać maksymalnej długości okna, i to praktycznie niezależnie

od prędkości transmisji. Pomimo tego, wraz ze zmniejszającą się długością pola danych ramki, stosowane wielkości okna są coraz większe. Można zatem przyjąć, że kontroler nie jest w stanie przetworzyć odpowiednio dużej ilości danych w odpowiednio krótkim czasie. Świadczyć to może o zbyt małej wydajności procesora, niskiej wydajności oprogramowania (brak odpowiedniej optymalizacji), zbyt małej pojemności pamięci użytej na bufora nadawczo-odbiorcze bądź celowych ograniczeniach wprowadzonych w oprogramowaniu.

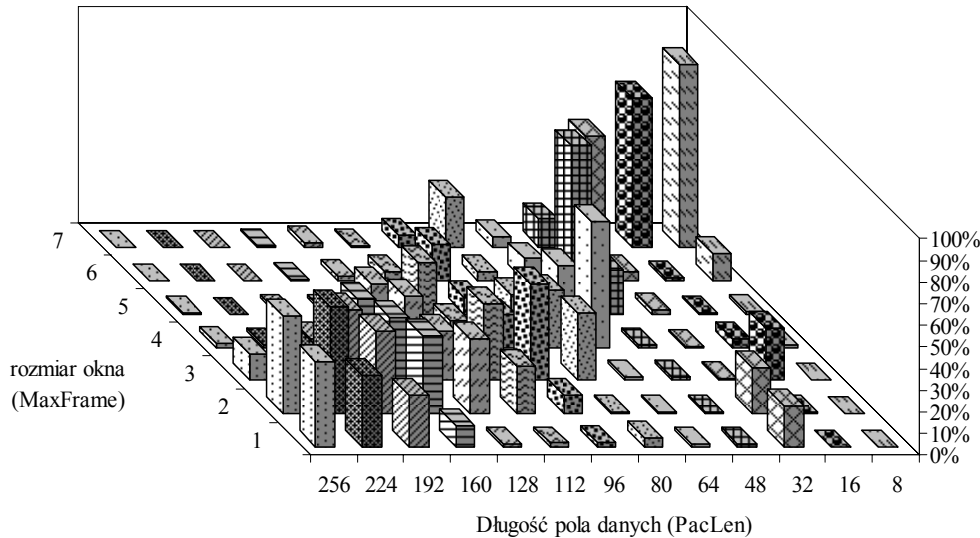


Rys. 5. Porównanie efektywnej prędkości transmisji przy prędkości łącza radiowego 9600 b/s

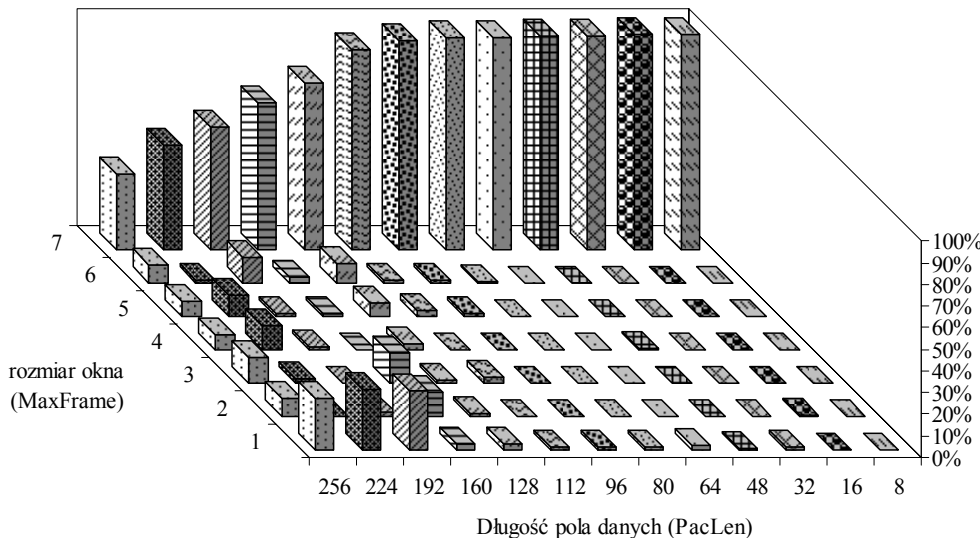


Rys. 6. Rozkład faktycznej wielkości okna dla kontrolera TNC2D przy prędkości 1,2 kb/s

W kontrolerach zawierających procesor inny niż Z80, np. KPC-9612+, zdolność wykorzystania ustalonej wielkości okna jest znacznie większa. Dopiero dla ramek zawierających ponad 100 B danych można zauważyć spadek wydajności, jednak nawet przy maksymalnej długości ramki rozmiar okna 7 jest wielkością dominującą. Jeszcze lepsze osiągi uzyskują kontrolery TNC3 i TNC7 – spadek wydajności spowodowany niepełnym wykorzystaniem ustawionej wielkości okna zauważa się dopiero przy prędkościach łącza radiowego przekraczających 150 kb/s.



Rys. 7. Rozkład faktycznej wielkości okna dla kontrolera TNC2H przy prędkości 9,6 kb/s



Rys. 8. Rozkład faktycznej wielkości okna dla kontrolera KPC-9612+ przy prędkości 9,6 kb/s

Podczas opisanych badań stwierdzono, że uzyskana w danej konfiguracji efektywna prędkość transmisji zależy nie tylko od sprzętu – a w szczególności od typu procesora

i częstotliwości jego taktowania – lecz również od właściwości oprogramowania sterującego kontrolerem TNC. Wpływ na osiągi układu mogą mieć następujące czynniki, zależne wyłącznie od oprogramowania:

- pełne wykorzystanie ustawionej wielkości okna (*MaxFrame*) przy każdej długości ramki (*PacLen*),
- odpowiednio duża szybkość przetwarzania ramek protokołu AX.25,
- natychmiastowe (bez opóźnień) generowanie potwierdzeń poprawnego odebrania ramki informacyjnej,
- wymuszanie natychmiastowego potwierdzenia przez ustawienie bitu Poll/Final w ostatniej ramce okna.

Brak możliwości pełnego wykorzystania ustawionej wielkości okna jest szczególnie dokuczliwy w kontrolerach zawierających mikroprocesor Z80, praktycznie niezależnie od prędkości jego taktowania i pojemności pamięci. Pewien wpływ na to ma rodzaj użytego oprogramowania. I tak, wersje obsługujące zbiór poleceń TAPR rzadko wykorzystują ustawioną wielkość okna w pełni – praktycznie nigdy nie następuje przesłanie w jednym cyklu więcej niż 5 ramek o maksymalnej długości. Nieco lepiej wypada tu oprogramowanie TF, które, szczególnie w ostatniej wersji 2.7, potrafi wysłać nawet 7 ramek w jednym cyklu. Wydaje się jednak, iż możliwość ta jest okupiona dłuższym czasem przygotowania ramek do transmisji.

Kontrolery, obsługujące zbiór poleceń TAPR, ale zawierające inne mikroprocesory, znacznie lepiej potrafią wykorzystać ustawioną wielkość okna, i to nawet przy większych prędkościach. Ponieważ jednak brak dla nich innego oprogramowania, trudno określić, czy opisana możliwość wynika z większej mocy obliczeniowej mikroprocesora, czy też z optymalizacji kodu programu.

Dodatkowym czynnikiem wpływającym na efektywną prędkość transmisji jest sposób traktowania przez odbiorcę wielkości okna mniejszej niż 7. Jeśli nadawca nie oznacza ostatniej ramki cyklu transmisyjnego bitem Poll/Final, oprogramowanie TF przesyła potwierdzenie dopiero po odliczeniu czasu *AckTime*, natomiast TAPR – natychmiast. W niektórych wersjach oprogramowania TF czas ten można ustawić, w innych – np. w TNC3 – obliczany jest automatycznie, bez możliwości modyfikacji. Można także ustawić ten parametr w niektórych wersjach oprogramowania TAPR.

Niektóre wersje oprogramowania, rozpoczynając transmisję, ograniczają początkowo wielkość okna, a następnie stopniowo ją powiększają aż do ustalonej wartości maksymalnej. Działanie to może być celowe, pozwala bowiem ustalić możliwości stacji odbierającej. Przy małym rozmiarze przesyłanej informacji powoduje to jednak spadek wydajności sieci.

4. Podsumowanie

W niniejszym rozdziale pokrótce opisano podstawowe przeznaczenie, budowę oraz podstawowe właściwości różnych typów kontrolerów TNC. Dokonano porównania ich parametrów konstrukcyjnych, a następnie zaprezentowano wyniki badań przeprowadzonych w doświadczalnej sieci Packet Radio. Wynika z nich, że wpływ na efektywność sieci mają nie tylko cechy sprzętowe omawianych urządzeń, lecz także – i to

co najmniej w równym stopniu – cechy oprogramowania sterującego układem. Wskazano szczególnie implementacji protokołu AX.25, obowiązującego w sieci Packet Radio, mające istotne znaczenie dla uzyskiwanej efektywnej prędkości transmisji. Wnioski te mogą posłużyć do modyfikacji istniejącego oprogramowania. Jest to szczególnie możliwe w przypadku oprogramowania TF, którego kod źródłowy jest dostępny w Internecie [3].

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.

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. Giese H. G., Gültzow P.: 'C'-Sources for TheFirmware for TNC-2. [[:@:]] <http://www.nordlink.org/eng/index.htm>.
4. Harald Baumgart - Entwicklung elektronischer Komponenten. [[:@:]] <http://www.hbtron.de/>.
5. Kantronics Radio Modems/TNC's. [[:@:]] <http://www.kantronics.com/modems.html>.
6. Muel – Radiowe systemy transmisji danych. [[:@:]] <http://www.muel.internet.pl/>.
7. Nachrichtentechnik Marten Güttner. [[:@:]] <http://www.nt-g.de/>.
8. PacComm Packet Radio Systems. [[:@:]] <http://www.paccomm.com/>.
9. SCS - the PACTOR creators – controller. [[:@:]] <http://www.scs-ptc.com/controller.html>.
10. Symek Packet-Radio. [[:@:]] <http://www.symek.de/>.
11. TimeWave Main Page. [[:@:]] <http://www.timewave.com/>.
12. Zieliński B.: Using TNC controller as a model of protocol converter. W: Pułka A., Hrynkiwicz E., Kłosowski P. (eds.): Proceedings of IFAC Workshop on Programmable Devices and Systems PDS2004, Kraków 2004, pp. 269-273.
13. Zieliński B., Tokarz K.: Wpływ mocy obliczeniowej konwertera protokołów na wydajność transmisji. *Studia Informatica*, Vol. 21, Number 1 (39), pp. 171-185.
14. Zieliński B.: Influence of protocol converter processing power upon network efficiency. W: Bradac Z., Zezulka F., Polansky M., Jirsik V. (eds.): Proceedings of IFAC Workshop on Programmable Devices and Embedded Systems PDeS 2006, Brno 2006, pp. 38-43.
15. Zieliński B.: Ocena efektywności protokołu AX.25. In: Gaj P., Pochopień B., Kozielski S. (eds.): Współczesne aspekty sieci komputerowych. Tom 1. WKŁ, Warszawa 2008, chapter 12, pp. 127-136.