STUDIA INFORMATICA 2002
Volume 23 Number 3 (50)

Krzysztof TOKARZ, Bartłomiej ZIELIŃSKI
Politechnika Śląska, Instytut Informatyki

SPOSOBY KODOWANIA DANYCH W OPTYCZNYCH ŁĄCZACH BEZPRZEWODOWYCH NA PRZYKŁADZIE STANDARDU IrDA

Streszczenie. W artykule przedstawiono sposoby kodowania i modulacji strumienia danych transmitowanego łączem podczerwonym, zgodnym ze standardem IrDA. Kodowanie stosowane jest dla poprawy stopy błędów kanału transmisyjnego. Sposób kodowania należy dobrać odpowiednio do parametrów fizycznych łącza i prędkości transmisji. W protokole IrDA stosowane są trzy różne rodzaje kodowania i modulacji.

CODING SCHEMES IN OPTICAL WIRELESS TRANSMISSION

Summary. This paper describes coding schemes and modulation types of the data transmission using infrared IrDA connection. Coding scheme should be carefully chosen depending on physical parameters and speed of the transmission. IrDA compatible link uses three different coding schemes and types of modulation.

1. Wstęp

Rozwój technologii komputerowej pociągający za sobą szerokie wykorzystanie technik multimedialnych wymaga stosowania mediów transmisyjnych o dużej przepustowości. Zaobserwować można bardzo szybki rozwój bezprzewodowej transmisji danych zarówno za pośrednictwem fal radiowych, jak i wykorzystującej łącza optyczne. Najpopularniejszym standardem bezprzewodowej transmisji danych za pośrednictwem fal podczerwonych jest IrDA [3,4]. Podstawowa wersja protokołu IrDA kompatybilna z łączem szeregowym pracującym z prędkością transmisji do 115,2 kb/s jest niewystarczająca dla potrzeb transmisji danych multimedialnych. Przy prędkości 57,6 kb/s możliwa jest jedynie transmisja skompresowanego sygnału mowy o bardzo ograniczonym paśmie [5]. Wersja 1.1

pozwalająca na przesyłanie danych z prędkością 4 Mb/s znacznie poprawiła wygodę użytkowania oraz umożliwiła transmisję sygnału dźwiękowego, nie jest jednak wystarczająca dla potrzeb transmisji strumienia cyfrowo zakodowanego sygnału wizyjnego. Dopiero wersja osiągająca prędkość 16 Mb/s pozwala na transmisję obrazów ruchomych wraz z towarzyszącym dźwiękiem w formacie MPEG2 wymagającym prędkości transmisji 11.08 Mb/s. Szybsze wersje protokołu IrDA wykorzystują specjalne techniki kodowania strumienia danych i dopasowany do nich sposób modulacji sygnału podczerwonego poprawiający parametry łącza. W niniejszej pracy przedstawiono opis każdej z zastosowanych technik i dokonano porównania ich podstawowych parametrów.

2. Przyczyny stosowania kodowania strumienia danych

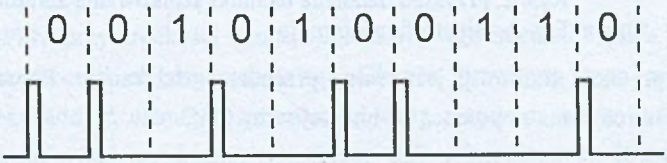
Transmisja danych z dużą prędkością sięgającą dziesiątek Mb/s podlega w znacznym stopniu ograniczeniom wynikającym z fizycznych właściwości elementów transmisyjnych. Transmisja krótkich impulsów niosących mniejszą energię jednostkową jest bardziej narażona na zakłócenia o charakterze impulsowym niż transmisja impulsów o dłuższym czasie trwania. Jest ona również bardziej podatna na zjawisko interferencji międzysymbolowej wynikające z bezwładności elementu nadawczego i odbiorczego oraz z propagacji wielodrogowej fali odbitej od elementów znajdujących się w otoczeniu [1]. Wpływ niektórych z tych niekorzystnych zjawisk na występowanie błędów transmisji można zmniejszyć stosując kodowanie strumienia danych wraz z odpowiednio dobraną modulacją. Kodowanie pozwala na wykrycie, a w niektórych przypadkach korekcję błędnych sekwencji odebranych bitów. Zadaniem kodera jest eliminacja takich sekwencji bitów, które są szczególnie narażone na błędy transmisji i zastąpienie ich mniej podatnymi na wystąpienie błędu. Niekorzystne są długie ciągi zer lub jedynek, które powodują ciągłe wysyłanie sygnału lub jego długotrwały brak wpływając na synchronizację odbiornika z nadajnikiem. Podatne na zakłócenia są również ciągi powtarzających się naprzemiennie zer i jedynek. Koder zwykle wprowadza do strumienia danych dodatkowe bity, nadmiarowe w stosunku do transmitowanych danych. Jest to cena, jaką należy ponieść za poprawę stopy błędów łącza transmisyjnego. W zależności od osiąganych prędkości transmisji, właściwości fizycznych elementów nadawczych i odbiorczych, założeń co do odległości i rodzaju łącza (bezpośrednia widzialność, dyfuzyjne) oraz oczekiwanej stopy błędów stosowane są różne techniki kodowania i modulacji sygnału transmisyjnego.

3. Techniki kodowania i modulacji dla poszczególnych zakresów prędkości transmisji

Standard IrDA definiuje trzy rodzaje kodowania i modulacji sygnału podczerwieni w zależności od maksymalnej prędkości transmisji. Standard zapewnia transmisję danych dla wszystkich rodzajów prędkości na odległość 1m przy bezpośredniej widzialności nadajnika i odbiornika oraz kącie widzenia 30 stopni [6].

3.1. Zakres 9,6 – 115,2 kb/s

Zakres najniższych prędkości definiuje standard nazwany SIr (Slow Infrared, Serial Infrared) [6]. Prędkości transmisji pokrywają się z prędkościami osiąganymi przez łącza szeregowe pracujące w standardzie RS232, dzięki czemu urządzenie transmisyjne może być podłączone bez konieczności zastosowania układów pośredniczących do standardowego wyjścia układu kontrolera portu szeregowego UART. W zakresie tym ze względu na niewielki wpływ zakłóceń na parametry fizyczne łącza nie jest konieczne stosowanie specjalnych technik kodowania. Niezbędne jest tylko zapewnienie przezroczystości protokołu. Emitowany sygnał podczerwony jest zmodulowany techniką zwaną kluczowaniem sygnału OOK (On Off Keying). Ten typ modulacji zakłada generowanie impulsu o określonym czasie trwania przy jednym, a brak impulsu przy przeciwnym stanie logicznym. W SIr impuls jest generowany w stanie logicznego zera, brak impulsu występuje przy logicznej jedynce. Impuls świetlny o czasie trwania równym czasowi transmisji jednego bitu powodowałby zbyt duży pobór mocy przez element nadawczy w stanie 0. W celu poprawy efektywności energetycznej łącza zastosowano skrócenie czasu trwania impulsu świetlnego do 3/16 czasu trwania transmisji pojedynczego bitu. W większości implementacji stosuje się dopuszczony przez standard niezależny od prędkości transmisji czas trwania impulsu wynoszący 1,6 us. Jest to impuls odpowiadający 3/16 czasu trwania jednego bitu przy prędkości 115,2 kb/s. Czas emisji sygnału podczerwieni w odniesieniu do całkowitego czasu transmisji przy założeniu jednakowej częstotliwości występowania w ciągu danych zer i jedynek wynosi 9,375 %.

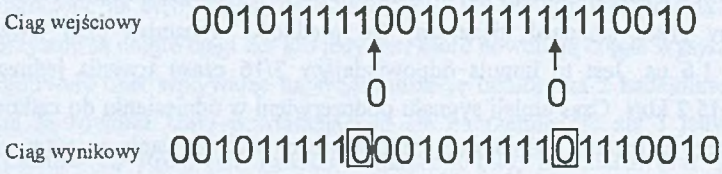


Rys. 1. Sygnał emitowany przez łącze SIr
Fig. 1. SIr signal

Przezroczystość protokołu transmisyjnego jest zapewniona poprzez wstawianie bajtu kontrolnego w przypadku wystąpienia w strumieniu danych wejściowych bajtu o wartości zarezerwowanej. Jako następny po bajcie kontrolnym jest wysyłany bajt danych z zanegowanym piątym bitem. Zarezerwowane są wartości oznaczające początek i koniec ramki (BOF, EOF) oraz sam bajt kontrolny (Ctrl-ESC). Przy zastosowaniu modulacji kluczowania sygnału prędkość transmisji danych wyrażona w b/s jest równa przepustowości kanału transmisyjnego. Wynikający z zależności tych dwóch prędkości współczynnik wykorzystania kanału transmisyjnego jest równy 1. Kontrola poprawności transmisji ramki protokołu SIr dokonywana jest za pomocą 16-bitowej sumy kontrolnej CRC.

3.2. Zakres 0,576 i 1,152 Mb/s

Zakres ten, wykraczający ponad standardowe możliwości układów UART, nazwano MIr (Medium Infrared) [6]. W tym zakresie został zastosowany taki sam typ modulacji OOK co w zakresie SIr. Tutaj również nie zastosowano dodatkowego kodowania strumienia danych. Ze względu na bezwładność elementów optoelektrycznych został wydłużony czas trwania impulsu. Zamiast impulsu o długości 3/16 czasu trwania pojedynczego bitu generowany jest impuls o długości równej 1/4 czasu trwania bitu. Sygnał podczerwieni jest emitowany średnio przez 12,5% czasu. Przezroczystość protokołu uzyskuje się dzięki zastosowaniu techniki szpikowania zerami (bit stuffing). Bajty zarezerwowane zawierają sekwencję sześciu następujących po sobie jedynek, podczas gdy wystąpienie w strumieniu danych pięciu kolejnych jedynek powoduje wstawienie do strumienia bitów jednego dodatkowego zera. Ta technika pozwala również na utrzymanie synchronizacji odbiornika w przypadku transmisji długich ciągów bitów o wartościach 1, którym odpowiada brak emisji sygnału optycznego.



Rys. 2. Przykład działania techniki szpikowania zerami
Fig. 2. Bit stuffing example

Bitowa prędkość transmisji jest równa przepustowości kanału. Poprawność transmisji ramki jest kontrolowana za pomocą 16-bitowej sumy CRC.

3.3. Zakres 4 Mb/s

W zakresie 4 Mb/s nazwanym FIr (Fast Infrared) [6] zastosowano czteropozycyjną modulację położenia impulsu 4PPM. Schemat działania modulacji położenia impulsu jest oparty na podziale na n części przyjętego czasu trwania transmisji jednego symbolu. Impuls może być transmitowany w jednym z n przedziałów czasowych. Uzyskuje się dzięki temu n różnych symboli, z których każdy może odpowiadać innej kombinacji bitów dostarczonych na wejście modulatora. Zastosowana w protokole IrDA modulacja 4PPM jest oparta na symbolu o czasie trwania 500 ns podzielonym na cztery części. Pojedynczy impuls trwa 125 ns. Wyliczona na podstawie czasu trwania pojedynczego impulsu przepustowość fizycznego kanału transmisyjnego wynosi 8 Mb/s. Poprzez zastosowanie w tym kanale modulacji 4PPM kosztem zmniejszenia do 4 Mb/s przepustowości uzyskujemy znaczną poprawę stopy błędów transmisji, co pozwala na osiągnięcie odpowiedniego zasięgu transmisji bez zwiększania mocy elementu nadawczego. Stosunek prędkości transmisji do przepustowości fizycznej kanału transmisyjnego wynosi w przypadku protokołu FIr 1:2. Poniższa tabela prezentuje przyjętą reprezentację bitów:

Tabela 1

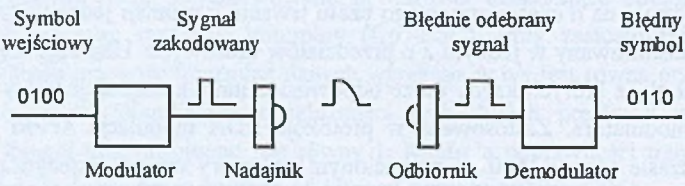
Symbole modulacji 4PPM

Para bitów	Symbol modulacji 4PPM	Impuls podczerwieni
00	1000	
01	0100	
10	0010	
11	0001	

Jedynka w symbolu oznacza emisję sygnału podczerwieni, zero – brak emisji. Przezroczystość protokołu FIr osiąga się dzięki zastosowaniu w sekwencjach transmitowanych na początku i na końcu ramki symboli posiadających dwie jedynki. Symbole te nie są dozwolone podczas transmisji danych. Ramka protokołu FIr różni się od ramek wolniejszych wersji protokołu IrDA istnieniem preambuły służącej do synchronizacji fazowej odbiornika z nadajnikiem oraz powiększeniem rozmiaru sumy kontrolnej CRC z 16 do 32 bitów.

Modulacja 4PPM przy prędkości transmisji pojedynczego impulsu 8 Mb/s jest narażona na zjawisko interferencji międzysymbolowej. Główną przyczyną tego niekorzystnego zjawiska jest bezwładność elementu nadawczego. Inną przyczyną może być również zła jakość linii transmisyjnej pomiędzy elementem optoelektronicznym (transceiverem) a układem cyfrowym modulatora i demodulatora sygnału. Zjawisko interferencji międzysymbolowej polega na odczytaniu jednego impulsu w dwóch sąsiadujących

szczelinach czasowych, a co za tym idzie niepoprawnym zdekodowaniu symbolu. Przykład błędu występującego w strumieniu danych spowodowanego interferencją międzysymbolową ilustruje rys. 3.



Rys. 3. Interferencja międzysymbolowa
Fig. 3. Intersymbol interferention

3.4. Zakres 16 Mb/s

W najszybszej jak do tej pory wersji standardu IrDA zastosowano metodę kodowania strumienia danych z rodziny RLL (Run Length Limited). Kodowanie tego typu jest wykorzystywane przy zapisie danych na dyskach magnetycznych oraz optycznych. Kodowanie to posiada dwa parametry oznaczane zwykle d i k, które można scharakteryzować za pomocą dwóch warunków:

- pomiędzy dwoma sąsiadującymi jedynkami znajduje się minimum d zer,
- w ciągu danych może znajdować się maksymalnie k następujących po sobie zer.

W standardzie VFIr (Very Fast Infrared) [2,7] zastosowano kodowanie RLL o parametrach d=1 i k=13. Oznacza to, że pomiędzy dwoma impulsami zawsze jest wstawiana przerwa w nadawaniu o długości jednego bitu, a czas nieaktywności kanału może wynosić maksymalnie 13 długości trwania pojedynczego bitu. Wstawianie zer pomiędzy sąsiadującymi ze sobą jedynkami jest bardzo skutecznym rozwiązaniem problemu interferencji międzysymbolowej, jaka występuje przy transmisji z wykorzystaniem modulacji 4PPM. Ponieważ kodowanie RLL(1,13) nie dopuszcza transmisji dwóch następujących po sobie jedynek, każda jedynka odebrana jako druga jest przez dekoder automatycznie zastępowana wartością zero. Z kolei wymuszenie wystąpienia jedynki w postaci impulsu nie rzadziej niż 13 szczelin czasowych podczas transmisji długiego ciągu zer umożliwia utrzymanie synchronizacji odbiornika z nadajnikiem. Transmisja długiego ciągu jedynek reprezentowanych w kodzie RLL(1,13) za pomocą ciągu powtarzających się par „10" może przyczynić się do utraty synchronizacji, jeśli warunki transmisji spowodują odbieranie jedynek w miejsce zer. Aby zapobiec temu zjawisku, do schematu kodowania wprowadzono dodatkowe zabezpieczenie polegające na wstawianiu zera po wystąpieniu ciągu pięciu powtarzających się par „10". Ostatecznie kodowanie zastosowane w standardzie VFIr

oznacza się symbolem RLL(1,13|5). W opisie standardu można znaleźć oznaczenie tego sposobu kodowania jako HHH(1,13). Koder RLL wprowadza opóźnienie, które w zależności od implementacji może wynosić 4-5 kroków. Aby umożliwić bezpieczne zakodowanie całości ramki, na jej końcu jest dodawane specjalne pole o rozmiarze ośmiu bitów wypełnione wartością zero. Pole to pozwala na dokończenie pracy kodera i dekodera podczas ostatnich kilku kroków, kiedy przetwarzane są dane zapamiętane w ich wewnętrznych rejestrach. Zanim para bitów wejściowych trafi do kodera, jest poddawana procesowi scrambling-u. Proces ten powoduje wprowadzenie elementu losowości do strumienia transmitowanych danych, co ma na celu poprawę efektywności energetycznej kanału transmisyjnego. Średni procentowy czas emisji sygnału podczerwieni dla protokołu VFIr wynosi 26% w przypadku danych losowych. W najmniej korzystnym przypadku wskaźnik ten osiąga 33%.

Zastosowane w protokole VFIr kodowanie RLL charakteryzuje się współczynnikiem wykorzystania kanału 2/3. Oznacza to, że para bitów podawanych na wejście kodera jest reprezentowana na jego wyjściu za pomocą trzech bitów. Przy założonej prędkości transmisji 16 Mb/s pasmo przenoszenia kanału musi zatem wynosić 24 Mb/s.

4. Porównanie technik kodowania i modulacji

Porównanie parametrów stosowanych w protokole IrDA sposobów kodowania i modulacji przedstawiono w tabeli 2.

Tabela 2

Parametry kodowania i modulacji

Protokół	SIr	Mir	FIr	VFIr
Prędkość	do 115,2 kb/s	1,152 Mb/s	4 Mb/s	16 Mb/s
Przepustowość kanału	do 115,2 kb/s	1,152 Mb/s	8 Mb/s	24 Mb/s
Wykorzystanie kanału	1	1	1/2	2/3
Modulacja i kodowanie	OOK	OOK	4PPM	RLL(1,13|5)
Dodatkowe techniki	-	-	-	Scrambling
Średni czas emisji	9,375%	12,5%	25%	26%
Min czas emisji	9,375%	12,5%	25%	8,3%
Max czas emisji	9,375%	12,5%	25%	33%
Przezroczystość	Bajt kontrolny	Szpikowanie zerami	Symbole zabronione	Symbole zabronione
Kontrola transmisji	CRC 16-bit	CRC 16-bit	CRC 32-bit	CRC 32-bit

Najlepsze wykorzystanie przepustowości kanału transmisyjnego występuje w wolniejszych wersjach protokołu. Wynika to z braku konieczności stosowania zaawansowanych technik kodowania danych. Transmisja z większą prędkością jest bardziej narażona na przekłamania wynikające przede wszystkim z fizycznych właściwości elementów transmisyjnych, przez co niezbędne stało się zastosowanie odpowiednio dobranych technik kodowania. Porównując protokoły FIr i VFIr łatwo zauważyć, że zastosowanie zaawansowanej techniki kodowania pozwoliło na lepsze wykorzystanie pasma przenoszenia kanału. W porównaniu z transmisją danych z prędkością 4 Mb/s, wersja 16 Mb/s osiąga czterokrotnie większą prędkość transmisji przy jedynie trzykrotnie większym paśmie przenoszenia. Jest to oczywiście okupione większą złożonością konstrukcyjną układów kodujących i dekodujących. Średni czas emisji sygnału podczerwieni ma znaczący wpływ na pobór energii ze źródła zasilania. W przypadku urządzeń zasilanych z baterii pożądana jest jak najmniejsza wartość tego parametru, dlatego też w protokole VFIr zastosowano scrambling strumienia danych ograniczając możliwość wystąpienia długiego ciągu o dużej wartości średniego czasu emisji.

LITERATURA

1. Kahn J.M., Barry J.R.: Wireless Infrared Communications. Proceedings of IEEE, Vol 85, No. 2. February 1997.
2. Hirt W., Hassner M., Hayse N.: IrDA-VFIr (16Mb/s): Modulation Code and System Design, IEEE Personal Communications, February 2001.
3. Zieliński B., Tokarz K.: Transmisja bezprzewodowa z użyciem podczerwieni. ZN Pol. Śl. s. Informatyka z. 34, Gliwice 1998.
4. Zieliński B., Tokarz K.: Transmisja bezprzewodowa w standardzie IrDA. ZN Pol. Śl. s. Informatyka z. 36, Gliwice 1999.
5. Tokarz K., Zieliński B.: Rozszerzenia multimedialne w standardzie IrDA. ZN Pol. Śl. s. Informatyka z. 36, Gliwice 1999.
6. Standards. http://www.irda.org/standards/pubs/IrData.zip
7. Standards. http://www.irda.org/standards/pubs/IrPHY_1p4.pdf

Recenzent: Dr inż. Ryszard Winiarczyk

Wpłynęło do Redakcji 18 marca 2002 r.

Abstract

The scope of this paper is the presentation of coding and modulation techniques used in wireless data transmission according to IrDA standard. Benefits of data coding has been discussed in chapter 2. Data coding can improve the bit error ratio of the link and bandwidth efficiency. Chapter 3 presents coding and modulation techniques chosen for different speed of the data transmission. For the lowest speed between 9,6 and 115,2 kb/s (SIr) the chosen modulation is OOK and no special coding is necessary. The same modulation technique is used for medium speed of transmission going up to 1,152 Mb/s (MIr). 4 Mb/s link (FIr) utilizes 4PPM modulation. For the fastest 16 Mb/s link special coding scheme HHH(1,13) has been developed. It is based on RRL (Run Length Limited) scheme that is used in data storage devices as hard disk drives and CD-ROMs. Comparison of three modulation and coding techniques has been done in chapter 4.