

Bogusław Rzeszut, Paweł Kiciński

Zespół Szkół im. ks. S. Staszica w Tarnobrzegu

METODY KODOWANIA SYGNAŁÓW SIECI

Streszczenie

Praca zawiera przykłady sposobów kodowania sygnałów cyfrowych charakterystyczne dla sieci o przepustowości 10/100/1000Mb.

1. WSTĘP

Chcąc przesłać sygnał cyfrowy łączami analogowymi (telefonicznymi) należy dokonać przetworzenia (konwersji) sygnału z cyfrowego na analogowy z wykorzystaniem procesu modulacji.

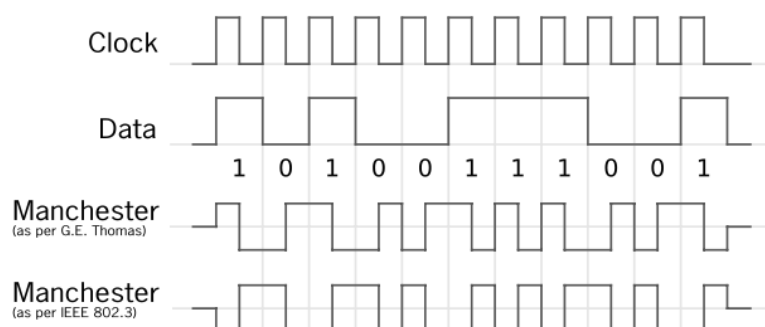
Konwersję kodów sygnałów do innej postaci, bardziej efektywnej przy przesyłaniu przez szeregowe łącza cyfrowe i uwzględniającej fizyczne aspekty transmisji, zapewniają kody liniowe. Przy małych szybkościach transmisji (np. do 2400b/s) konwersja kodowania zwykle nie jest potrzebna, a transmitowane sygnały w łączu fizycznym odpowiadają oryginalnym kodom przesyłanej informacji. Duże szybkości transmisji wymagają konwersji sygnałów do postaci i poziomów wymaganych przez konkretne medium transmisyjne (skrętka, koncentryk, światłowód), z uwzględnieniem bardziej efektywnego wykorzystania dostępnego pasma transmisji. Wśród wielu liniowych kodów transmisyjnych do najczęściej spotykanych należą:

- dwustanowe NRZ, NRZI, Manchester, CMI, 4B/5B, 5B/6B, 8B/10B
- trójstanowe AMI (ISDN), HDB3, MLT-3, 8B/6T
- wielostanowe PAM-5

2. SPOSOBY KODOWANIA INFORMACJI DLA RÓŻNYCH PRĘDKOŚCI ŁĄCZ

2.1 Kod Manchester

Na rys.1 przedstawiono sposób modulacji sygnału za pomocą kodu Manchester o szybkości modulacji 20 Mb/s dla osiągnięcia szybkości transmisji danych 10 Mbit/s.



Rys.1. Modulacja sygnału cyfrowego za pomocą kodu Manchester - [2]

Zasada działania kodu Manchester polega na zmianie poziomu sygnału w środku każdego bitu sygnału wejściowego. Bitowi „1” odpowiada zmiana poziomu od wyższego do niższego, a „0” - od niższego do wyższego. Przejście między poziomami sygnału występuje przy każdym bicie, w związku z czym możliwa jest

ciągła kontrola synchronizacji detektora ze strumieniem danych, nawet w przypadku nadawania długiej sekwencji zer lub jedynek. Fakt ten może być również wykorzystywany do detekcji błędów – brak oczekiwanej zmiany poziomu sygnału oznacza przekłamanie. Kod Manchester wymaga impulsów dwukrotnie krótszych niż kod NRZ. Oznacza to dwukrotne zwiększenie szybkości modulacji, a więc i dwukrotny wzrost wymaganego pasma transmisyjnego przy tej samej szybkości transmisji danych. Korzystną cechą sygnału przesyłanego w kodzie Manchester jest fakt, że jego wartość średnia jest równa zero.

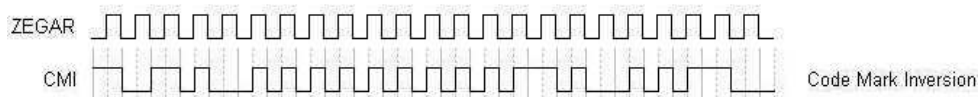
2.2 Kodowanie CMI

CMI (ang. Coded Mark Inversion) - kod dwuwartościowy, zalecany do kodowania sygnałów o przepływności 140 Mbit/s, będący modyfikacją kodu Manchester. Cechuje go brak składowej stałej oraz zajmowanie szerokiego pasma, przy zachowaniu większości energii w pierwszej jego części. W kodzie tym wartość binarnej jedynki jest przedstawiona naprzemiennie w postaci stanu "+1" lub "-1", natomiast wartość binarnej zera w postaci stanu "-1" w pierwszej połowie tego bitu i w postaci stanu "+1" w drugiej połowie bitu.

$$0: \quad \rho_0(t) = \begin{cases} -v & \text{dla } 0 \leq t < T/2 \\ +v & \text{dla } T/2 \leq t < T \end{cases}$$

$$1: \quad \rho_1(t) = v \text{Rect}_{[0,5]}(t), \quad \rho_2(t) = -\rho_1(t).$$

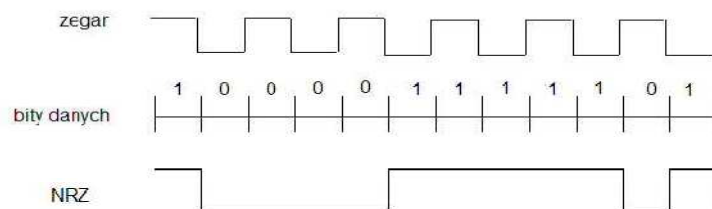
Rys. 2 Reguła kodowania CMI



Rys. 3. Kodowanie sposobem CMI –[9]

2.3. Kodowanie NRZ i NRZI

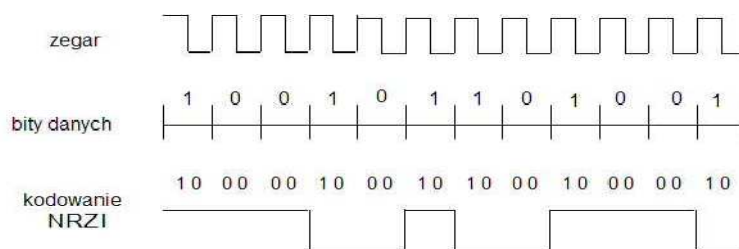
Jeżeli w transmisji synchronicznej stosowane jest kodowanie NRZ, to pojawia się problem rozsynchronizowania zegarów. Rozsynchronizowanie zegarów może zająć gdy w transmitowanym strumieniu bitów jest ciąg samych 1 lub 0. Jeżeli przez dłuższy czas nadawany jest ciąg samych 0 lub 1 to odbiorca nie rejestruje zmian napięcia. Jeżeli dojdzie do rozsynchronizowania zegarów odbiorca nie może określić ilości przesłanych bitów.



Rys. 4 Sposób kodowania NRZ - [4]

Kodowanie NRZI, (ang. Non-Return to Zero Inverted) jest mieszaną metodą kodowania. Zasada kodowania ciągu bitów o wartości 1 jest taka, jak w kodowaniu Manchester, czyli 1 -> 10. Zasada kodowania ciągu bitów o wartości 0 jest taka, jak w NRZ, czyli 0 -> 00

1 - oznacza zmianę napięcia, 0 - brak zmiany, zmiany napięcia następują przy przejściach 0->1.



Rys. 5 Sposób kodowania NRZI - [4]

2.4. Kodowanie 4B/5B

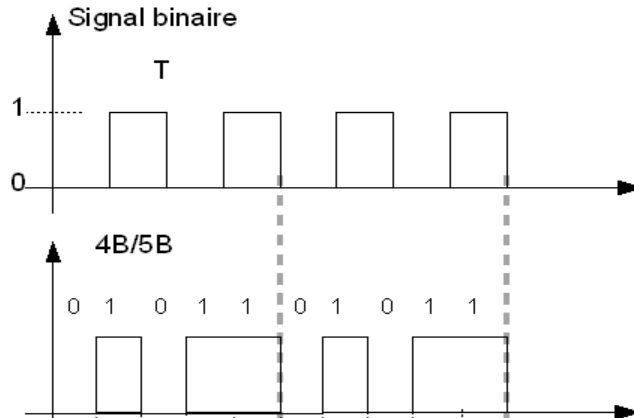
Kodowanie 4B/5B zostało zaprojektowane oryginalnie na potrzeby sieci FDDI(ang. Fiber Distributed Data Interface), gdzie pozwoliło na 80% wykorzystanie przepustowości łącza. Zaadaptowano je do standardu 100BaseTX, gdzie służy jako wstępny skrambler danych przed kodowaniem MLT-3. Zabieg ten ma na celu zapobieganie powstawaniu długich ciągów logicznych zer, co skutkowałoby utratą synchronizacji (patrz kodowanie MLT-3). Kodowanie zostało zmienione jedynie w nieznacznym stopniu w stosunku do wersji FDDI, w celu uwzględnienia kontroli ramek Ethernet. W kodowaniu 4B/5B ciągi czterobitowe kodowane są pięciobitowymi symbolami. Do każdego czterech bitów dodawany jest piąty – za pomocą 4 bitów można utworzyć $2^4 = 16$ ciągów, natomiast pięć bitów daje ich już $2^5 = 32$. Analizując zamieszczoną tabelę kodową można zauważyć, że uzyskana w ten sposób nadmiarowość umożliwia takie zakodowanie sygnału, że nawet ciąg samych zer będzie zawierał jedynekę (i analogicznie ciąg samych jedynek będzie zawierał zero), co zapewnia utrzymanie synchronizacji. Poniższa tabela przedstawia wszystkie możliwe ciągi zer i jedynek wraz z ich interpretacją:

	PCS code-group [4:0] 4 3 2 1 0	Name	MII (TXD/RXD) <3:0> 3 2 1 0	Interpretation
D A T A	1 1 1 1 0	0	0 0 0 0	Data 0
	0 1 0 0 1	1	0 0 0 1	Data 1
	1 0 1 0 0	2	0 0 1 0	Data 2
	1 0 1 0 1	3	0 0 1 1	Data 3
	0 1 0 1 0	4	0 1 0 0	Data 4
	0 1 0 1 1	5	0 1 0 1	Data 5
	0 1 1 1 0	6	0 1 1 0	Data 6
	0 1 1 1 1	7	0 1 1 1	Data 7
	1 0 0 1 0	8	1 0 0 0	Data 8
	1 0 0 1 1	9	1 0 0 1	Data 9
	1 0 1 1 0	A	1 0 1 0	Data A
	1 0 1 1 1	B	1 0 1 1	Data B
	1 1 0 1 0	C	1 1 0 0	Data C
	1 1 0 1 1	D	1 1 0 1	Data D
	1 1 1 0 0	E	1 1 1 0	Data E
	1 1 1 0 1	F	1 1 1 1	Data F
	1 1 1 1 1	I	undefined	IDLE; used as inter-stream fill code
C O N T R O L	1 1 0 0 0	J	0 1 0 1	Start-of-Stream Delimiter, Part 1 of 2; always used in pairs with K
	1 0 0 0 1	K	0 1 0 1	Start-of-Stream Delimiter, Part 2 of 2; always used in pairs with J
	0 1 1 0 1	T	undefined	End-of-Stream Delimiter, Part 1 of 2; always used in pairs with R
	0 0 1 1 1	R	undefined	End-of-Stream Delimiter, Part 2 of 2; always used in pairs with T
I N V A L I D	0 0 1 0 0	H	Undefined	Transmit Error; used to force signaling errors
	0 0 0 0 0	V	Undefined	Invalid code
	0 0 0 0 1	V	Undefined	Invalid code
	0 0 0 1 0	V	Undefined	Invalid code
	0 0 0 1 1	V	Undefined	Invalid code
	0 0 1 0 1	V	Undefined	Invalid code
	0 0 1 1 0	V	Undefined	Invalid code
	0 1 0 0 0	V	Undefined	Invalid code
	0 1 1 0 0	V	Undefined	Invalid code
	1 0 0 0 0	V	Undefined	Invalid code
	1 1 0 0 1	V	Undefined	Invalid code

Rys. 6. Zasada kodowania kodem 4B/5B –[6]

W nadawanej sekwencji znaków nigdy nie wystąpi ciąg dłuższy niż 8 jedynek. Piąty bit w niewielkim zakresie umożliwia ponadto wykrywanie błędów. Wadą tego kodowania, np. w stosunku do 8B/10B, jest brak zrównoważenia wystąpień sygnałów 0 i 1, w związku z czym wymagana do zakodowania energia będzie większa w przypadku wysyłania większej liczby 1 niż 0. Należy zauważyć, że 25% nadmiarowość oznacza

konieczność użycia zegara o odpowiednio wyższej częstotliwości, np. 125MHz przy 100Mb/s. Kod ten używany jest min. w standardach Fast Ethernet, FDDI czy HIPPI-6400.



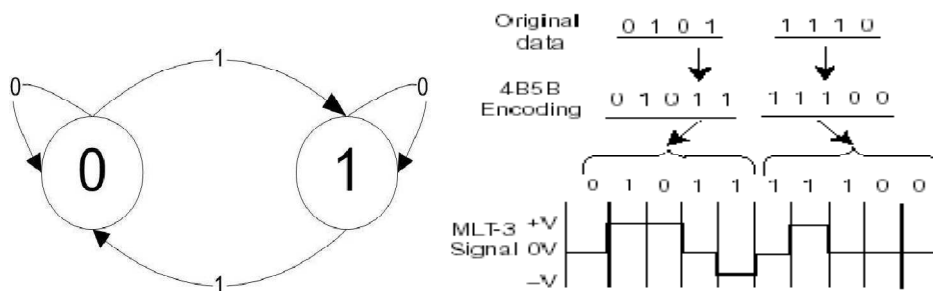
Rys. 7 Sposób kodowania kodem 4B/5B

2.5. Kodowanie MLT-3

Jest to trójpoziomowy sygnał (Multi-Level Threshold) wykorzystywany do reprezentacji strumienia bitów zakodowanego jako 4B/5B (dla 100BaseTX). Zaprojektowany został z myślą o transmisji z prędkościami 100Mb/s i większymi. W przypadku MLT-3 kodowanie wielopoziomowe umożliwia zakodowanie więcej niż jednego bitu informacji w pojedynczej zmianie poziomu. Uzyskuje się dzięki temu ograniczenie widma sygnału, lecz kosztem mniejszego odstępu sygnału od zakłóceń. Najpierw każde 4 bity danych wejściowych zamieniane jest na 5-cio bitowy ciąg, zgodnie z kodem 4B/5B. Tym samym strumień danych o szybkości 100Mb/s zostaje zamieniony na 125Mb/s. Użycie MLT-3 pozwala na przenoszenie strumienia danych 125Mb/s, sygnałem o częstotliwości 31,25MHz. MLT-3 używa trzech różnych poziomów napięć: -1, 0, +1. Kodowanie odbywa się według następujących reguł:

- Jeżeli następny bit wejściowy jest równy 0, to następna wartość wyjściowa jest taka sama, jak poprzednio.
- Jeżeli następny bit wejściowy jest równy 1, to nastąpi zmiana poziomu wartości wyjściowej: Jeżeli wartość poprzednia była równa +1 lub -1, to następna wartość wyjściowa jest równa 0. Jeżeli wartość poprzednia była równa 0, to następna wartość wyjściowa będzie niezerowa, o znaku przeciwnym do ostatniej niezerowej wartości.

Na rysunku 2 przedstawiono graf opisujący MLT-3 - stan 0 oznacza brak zmiany wartości wyjściowej, natomiast stan 1 oznacza zmianę wartości wyjściowej zgodnie z warunkiem podanym powyżej.



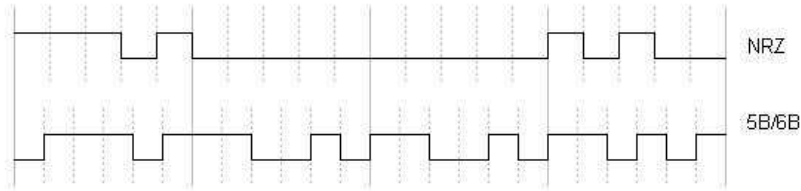
Rys. 8 Zasada działania kodu MLT-3-[2] Rys. 9 Przykładowy ciąg danych zakodowanych w MLT-3-[2]

Innymi słowy poziom pozostaje niezmienny dla logicznych zer, a jedynka oznacza zmianę poziomu. Zmiany następują wg cyklu 0, +1, 0, -1, 0, +1. Przykładowy ciąg danych zakodowany MLT-3 przedstawia rysunek 7.

2.6. Kodowanie 5B/6B

Zasada działania jest taka sama jak w przypadku kodowania 4B/5B. Dodatkowo wprowadzona została zasada równoważenia składowej stałej w celu zapobiegania polaryzacji sygnału (3 zera i 3 jedynki w każdej grupie sześciu bitów). Umożliwia to także prostsze wykrywanie błędów – niepoprawny jest każdy ciąg, w

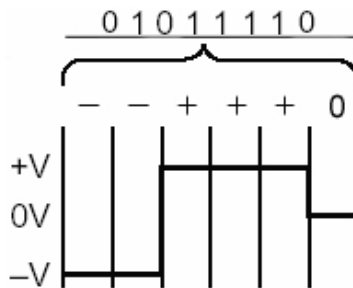
którym występuje więcej niż 3 zera lub 3 jedynki pod rząd. Nadmiarowość wynosi tu 20% (co pięć bitów dodawany jeden dodatkowy). Oznacza to, że przy prędkości transmisji 100Mb/s, stosowany jest zegar o częstotliwości 120 MHz. Używany m.in. w 100VGAnyLAN.



Rys.10. Przykładowe kodowanie systemem 8B/6T –[9]

2.7. Kodowanie 8B/6T

Kodowanie 8B/6T zaprojektowane zostało w celu wykorzystania skrętki kategorii 3 do transmisji sygnału 100Mb/s. Kodowanie przebiega w ten sposób, że każdej sekwencji ośmiu bitów ze strumienia danych wejściowych przyporządkowany zostaje ciąg sześciu symboli trzystanowych (o trzech możliwych poziomach napięć: $-V$, 0 , $+V$). Możliwych jest więc $3^6 = 729$ ciągów, z czego wykorzystywanych jest $28 = 256$ ciągów. Ciągi kodowe zostały tak dobrane, aby zapewnić możliwość dobrej detekcji błędów, zmniejszyć efekty wysokoczęstotliwościowe oraz wyeliminować składową stałą. Przyjęto założenie, że w każdym ciągu muszą wystąpić co najmniej dwa poziomy napięć (niezbędne do celów synchronizacji). Ponadto mogą być używane specjalne ciągi kodowe, np. jako znaczniki. Kodowanie wielopoziomowe umożliwia zakodowanie więcej niż jednego bitu informacji w pojedynczej zmianie poziomu – tym sposobem sygnał o częstotliwości 12,5MHz przenosi strumień danych o szybkości 33,3Mb/s. Każdy cykl sygnału 12,5MHz zawiera dwa poziomy, co daje 25 milionów zmian poziomów na sekundę na pojedynczej parze skrętki. Na trzech parach sumarycznie daje to 75 milionów zmian w każdej sekundzie. Dzieląc przez 6 symboli w każdym ciągu kodowym, otrzymujemy 12,5 miliona ciągów kodowych na sekundę, z których każdy odpowiada ośmiu bitom danych – daje to sygnał o szybkości 100Mb/s. Warto zauważyć, że częstotliwość 12,5MHz mieści się w limicie 16MHz dla skrętki kategorii 3. Przykładowo, osiem bitów danych *01011110* zostanie zakodowane jako następujące sześć symboli: $- + + + 0$ co zostało zilustrowane na rysunku 8.



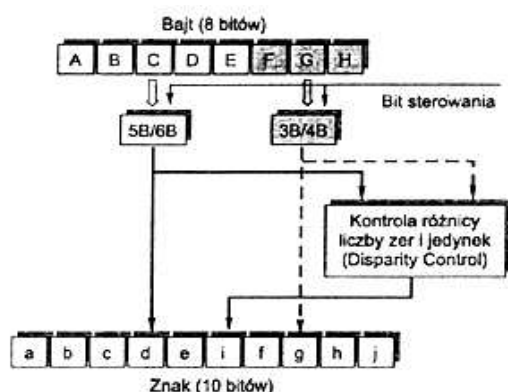
Rys.11 Przykładowe kodowanie systemem 8B/6T-[2]

2.8. Kodowanie 8B/10B

Aby możliwe było wiarygodne przesyłanie danych z prędkościami gigabitowymi i większymi (standardy Gigabit Ethernet czy 10 Gigabit Ethernet), konieczna jest kolejna zmiana w metodzie kodowania danych. Strumień napływających danych dzielony jest na bloki ośmiobitowe (kolejne bity oznaczone są *HGFEDCBA*, gdzie H najbardziej znaczący bit, A – najmniej znaczący bit), do których następnie dodawane są dwa nadmiarowe bity w celu otrzymania dziesięciobitowego ciągu kodowego. Ponadto założono istnienie tzw. zmiennej sterującej (bit sterowania) – blok ośmiobitowy zawiera dane jeżeli zmienna ta ma wartość *D*, lub jest bajtem kontrolnym jeżeli ma wartość *K*. Kodowanie przebiega w ten sposób, że najpierw każde 8 bitów dzielone jest na 3 najbardziej znaczące bity (*HGF*) oraz 5 najmniej znaczących bitów (*EDCBA*). Następnie osiem bitów przekształcanych jest na dziesięć bitów o postaci *abcdefghj*. 10-cio bitowe ciągi kodowe zostają tak dobrane, aby zawierały:

- 5 jedynek i 5 zer
- 4 jedynki i 6 zer
- 6 jedynek i 4 zera

Zapobiega to występowaniu dłuższych sekwencji takich samych bitów co ułatwia synchronizację. Kolejne bloki ośmiobitowe kodowane są w ten sposób, aby pierwszy miał więcej bitów 1, następny więcej bitów 0, itd. Proces kodowania przedstawia Rys. 9.



Rys. 12 Schemat kodowania 8B/10B-[2]

Bajt niezakodowany	Bajt zakodowany
7 → H	9 → j
6 → G	8 → h
5 → F	7 → g
4 → E	6 → f
3 → D	5 → i
2 → C	4 → e
1 → B	3 → d
0 → A	2 → c
	1 → b
	0 → a

Rys. 13 Sposób konwersji 8B/10B-[2]

Każdy blok ośmiobitowy można zapisać w postaci $D_{xx.y}$ (bajt danych – ang. Datacharacter) lub $K_{xx.y}$ (bajt kontrolny – ang. specialcharacter), gdzie xx to zapis dziesiętny pięciu najmniej znaczących bitów, a y pozostałych. Np. bajt 10100110 zostanie zapisany jako $D6.5$. Za pomocą bajtu kontrolnego oraz 3 bajtów danych można utworzyć tzw. zestawy uporządkowane (ang. Ordered Set) – oznaczające przykładowo początek (SOF - Start of Frame to K28.5 D21.5 D23.2 D23.2) i koniec ramki (EOF – End of Frame – K28.5 D10.4 D21.4 D21.4).

Jak już napisano kolejne bajty kodowane są tak, aby pierwszy zawierał więcej jedynek niż zer. Drugi zawiera więcej zer i jedynek, w trzecim występuje więcej jedynek itd. Liczba zer i jedynek w transmitowanym bajcie określona jest jako dysparytet (ang. running disparity, RD). Jeżeli liczba zer jest równa liczbie jedynek, wówczas mówimy o dysparytecie neutralnym. Jeżeli w bajcie przeważa liczba jedynek, wówczas mówimy o dysparytecie dodatnim (RD+), a jeżeli przeważa liczba zer to o dysparytecie ujemnym (RD-).

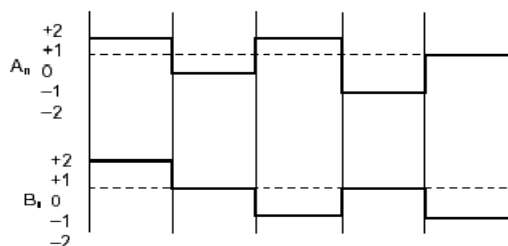
Wartość parametru RD dla podgrup określa się według następujących zasad:

- parametr RD jest dodatni (RD+), gdy liczba jedynek jest większa niż liczba zer oraz na końcu 6-bitowej podgrupy 000111 oraz 4-bitowej podgrupy 0011
- parametr RD jest ujemny (RD-), gdy liczba jedynek jest mniejsza niż liczba zer oraz na końcu 6-bitowej podgrupy 111000 oraz 4-bitowej podgrupy 1100
- w innych przypadkach wartość dysparytetu na końcu podgrupy jest taka sama jak na początku podgrupy.

Przed wysłaniem danych nadajnik dla każdego bajtu wyszukuje na podstawie bieżącej wartości RD odpowiedni wpis w tabeli. Wpis ten staje się grupą kodową dla danego bajtu. Po wysłaniu bajtu obliczona zostaje nowa wartość RD, która użyta zostanie do wysłania kolejnego bajtu. Dodatek B przedstawia wszystkie ciągi kodowe. W kodzie 8B/10B nadmiarowość wynosi 25%, więc by uzyskać prędkość przesyłanych 1Gb/s, faktyczna prędkość transmisji musi wynosić 1,25Gb/s.

2.9. Kodowanie PAM-5

W celu zaadaptowania dwuparowej skrętki kategorii 3 do większych szybkości transmisji, zastosowano kodowanie 5 level Pulse Amplitude Modulation. Jest to kolejny kod wielopoziomowy. W 100BaseT2 przesyłane są dwa 5-cio poziomowe sygnały PAM o częstotliwości 12,5MHz. Każdy cykl sygnału dostarcza dwóch zmian poziomów, jest więc 25 milionów zmian poziomów na sekundę na parę w skrętce. Każda z par sygnału PAM (A i B) koduje inny, 4-bitowy ciąg kodowy ($25\text{mln} \cdot 4\text{b} = 100\text{Mb/s}$), przy użyciu pięciu różnych poziomów: -2, -1, 0, +1, +2 (odpowiednio: -1V, -0.5V, 0V, 0.5V, 1V). Rys. 11 przedstawia przykładowy kod PAM-5.



Rys. 14 Przykładowy kod PAM-5-[2]

W Gigabit Ethernetcie zastosowano kodowanie PAM-5. Główną różnicą podczas transmisji sygnału pomiędzy 10/100 Mbps Ethernetem a Gigabit Ethernetem jest fakt, że 1000BASE-T wykorzystuje cztery pary do równoczesnego wysyłania i odbierania sygnału, podczas gdy w 10/100 Mbps Ethernetcie używane są tylko dwie pary – jedna do nadawania i jedna do odbioru. Zarówno MLT-3 jak i PAM-5 zostały zaprojektowane jako kody pseudookresowe, dzięki czemu składowa stała sygnału jest bliska lub równa zeru.

2.10. Kodowanie AMI i HDB-3

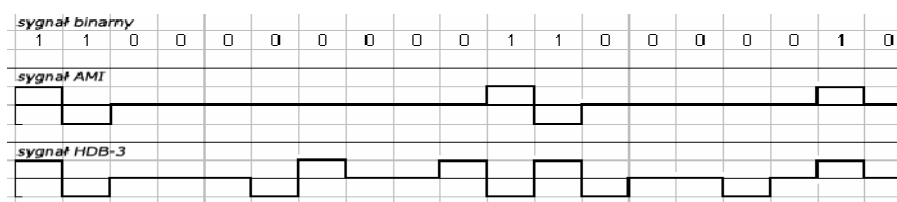
W wielokrotnych systemach o modulacji impulsowo-kodowej PCM sygnały cyfrowe są – przed wysłaniem ich w linię – przekształcane na sygnały trójwartościowe (bipolarne o stanach znamienych B+, 0, B-) o strukturze zapewniającej najlepsze własności transmisyjne przesyłanego sygnału oraz umożliwiającej właściwą współpracę urządzeń nadawczych i odbiorczych (synchronizacja urządzeń i regeneracja sygnałów). Powszechnie stosowane są dwa kody; AMI i HDB3 (High Density Bipolar).

Transmisyjny Kod AMI (ang. Alternate Mark Inversion) – powszechnie stosowany w telekomunikacji, ISDN na styku S i T. Jest kodem trójstanowym, reprezentowanym poprzez odpowiednie zmiany napięć na magistrali.

W kodzie AMI każde zero sygnału bipolarnego pozostaje nie zamienione, jedynkom zaś tego sygnału zostają przyporządkowane na zmianę impulsy B+ lub B-.

W kodzie HDB-3 jedynkom sygnału binarnego przyporządkowane są na zmianę impulsy B+ i B- sygnału bipolarnego, jeżeli między dwoma jedynkami występuje mniej niż cztery zera. W przeciwnym wypadku każda sekwencja czterech kolejnych zer jest zastępowana ciągiem sygnałów bipolarnych o postaci 000V lub B00V, gdzie poszczególne symbole oznaczają:

- 0-brak impulsu,
- B-impuls o polaryzacji przeciwnej do polaryzacji poprzedniego impulsu,
- V-zakłócenie, czyli impuls o tej samej polaryzacji, co poprzedni impuls B, dodany tak, by każdy impuls V miał polaryzację przeciwną niż poprzedni.



Rys.15 przykładowe kodowanie sygnału binarnego do kodu AMI oraz HDB-3. –[3]

2.11. Krótka charakterystyka wybranych wersji standardu Ethernet.

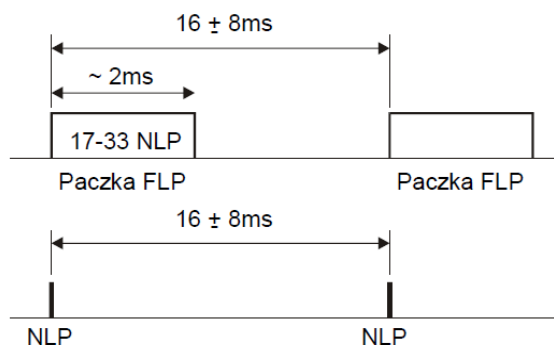
Wersja Ethernet	Rozmiar segmentu [m]	Kodowanie	Topologia	Medium	Szybkość transmisji [bit/s]
10Base5	500	Manchester	magistrala	koncentryk 50Ω	10M
10Base2	185	Manchester	magistrala	koncentryk 50Ω	10M
10BaseT	100	Manchester	gwiazda	skrętka 2-parowa kat. 3	10M
100BaseT2	100	PAM 5x5	gwiazda	skrętka 2-parowa kat. 3	100M
100BaseT4	100	8B/6T	gwiazda	skrętka 4-parowa kat. 3	100M
100BaseTX	100	4B/5B, MLT-3	gwiazda	skrętka 2-parowa kat. 5	100M
100BaseFX	412/2000	4B/5B, NRZI	gwiazda	światłowód wielomodowy	100M
1000BaseT	100	PAM 5x5	gwiazda	skrętka 4-parowa kat. 5	1G
1000BaseSX	275	8B/10B	gwiazda	światłowód wielomodowy	1G
1000BaseLX	316/550	8B/10B	gwiazda	światłowód wielomodowy	1G
1000BaseCX	25	8B/10B	gwiazda	twinax	1G

Rys.16charakterystyka wybranych wersji standardu Ethernet. –[2]

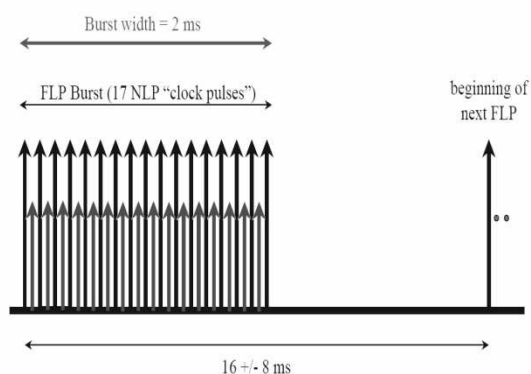
3. AUTO-NEGOCJACJA W SIECIACH ETHERNET

W miarę jak Ethernet rozwijał się od szybkości 10 Mb/s do 100 Mb/s i 1000 Mb/s jednym z wymagań było zapewnienie współdziałania między każdą z tych technologii, nawet w tak dużym stopniu, że interfejsy technologii 10, 100 i 1000 Mb/s mogłyby być bezpośrednio połączone. Został zaprojektowany proces zwany procesem autonegocjacji szybkości w trybie półduplexu lub pełnego duplexu. W konkretnym przypadku, w czasie wprowadzania technologii Fast Ethernet standard uwzględniał metodę automatycznej konfiguracji danego interfejsu w celu dopasowania go do szybkości i możliwości partnera połączeniowego. Proces ten definiuje sposób, w jaki dwie stacje na wspólnym łączu mogą autonegocjować konfigurację oferującą najlepszy wspólny poziom wydajności. Zapewnia on tę dodatkową korzyść, że angażuje tylko najniższe części warstwy fizycznej.

Proces Auto-Negocjacji generuje i wykorzystuje sygnały zwane Fast Link Pulse (ang. FLP), które tworzą paczki (ang. burst) składające się z 33 impulsów, z których 16 o numerach parzystych przynosi informację, zaś 17 o numerach nieparzystych wykorzystywanych jest do celów synchronizacji. Brak impulsu informacyjnego pomiędzy kolejnymi impulsami synchronizacji (w paczce) oznacza logiczne zero, a jego pojawienie się - logiczną jedynkę. Sygnały FLP są zmodyfikowaną wersją sygnałów NLP (ang. Normal Link Pulse) stosowanych w 10Base-T. Odstęp czasu pomiędzy poszczególnymi impulsami wynosi $62.5\mu\text{s} \pm 7\mu\text{s}$, a pomiędzy całymi słowami - $16\text{ms} \pm 8\text{ms}$.



Rys.17. Długość trwania słów FLP i NLP –[8]



Rys. 18. Sposób kodowania słów FLP –[8]

W standardzie Fast Ethernet interfejsy sieciowe mogą pracować w wielu trybach, w zależności od rodzaju wykorzystywanego w sieci medium. Przypisanie priorytetów mediom a tym samym trybom pracy, od najwyższego do najniższego, przedstawiono w tabeli (rys. 15)

A	100Base-TX Full Duplex
B	100Base-T4
C	100Base-TX
D	10Base-T Full Duplex
E	10Base-T

Rys. 19. Priorytety mediów w standardzie Fast Ethernet –[5]

Wraz z wprowadzeniem standardu Gigabit Ethernet (1000BASE-T oraz 1000BASE-SX/LX) rozwinęto mechanizm autonegocjacji między innymi o:

- wybór urządzenia nadrzędnego (ang. Master) i podrzędnego (ang. Slave)
- pole opisujące czy urządzenie jest jednocyfrowe wieloportowe (urządzenie typu Master zostaje zawsze urządzeniem wieloportowe w przypadku takich samych urządzeń następują losowanie).

Wspólny, współdzielony przez oba urządzenia zegar umożliwia poprawę parametrów echo oraz NEXT. Przełączniki rozsyłają pakiety broadcastowe informujące sieć o tym, że są urządzeniami typu master, natomiast karty sieciowe zainstalowane w urządzeniach końcowych zachowują się wtedy jak urządzenia typu slave. Master podczas transmisji danych korzysta z własnego zegara, natomiast slave odzyskuje zegar z otrzymanych danych.

PODSUMOWANIE

Prace standaryzacyjne dotyczące metod kodowania i kompresji sygnałów audio i wideo postępują w miarę jak rozwijane są i doskonalone nowe metody przetwarzania tych sygnałów. Dalszy postęp w zakresie transmisji sygnałów multimedialnych będzie warunkowany stworzeniem skuteczniejszych metod ograniczania pasma wymaganego dla sygnału wideo. Prowadzi to do rozwoju nowych usług. Podstawowa idea standaryzacji środowiskach sieciowych, zbudowanych w oparciu o współpracujące urządzenia pochodzące od różnych producentów pozostaje wciąż ta sama. Natomiast w miarę wprowadzania nowych standardów jej realizacja staje się bliższa.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Michał Kostka, Marek Piechota :*Kody Transmisyjne*, Politechnika Opolska wydział elektrotechniki, automatyki i informatyki
- [2] Kamil Ratajczak, Sebastian Rosenkiewicz, Łukasz Wąsowski, Paweł Wojnarowicz: *Symulator warstwy fizycznej Ethernet*, Politechnika Gdańska wydział elektroniki, telekomunikacji, informatyki
- [3] Agnieszka Sikorska, Łukasz Kokosza: *Projekt Koder HDB-3*, EiT Politechnika Warszawska, Warszawa 2005
- [4] dr Zbigniew Lipiński: *Zasady komunikacji w sieciach komputerowych*, Instytut Matematyki i Informatyki, Uniwersytet Opolski
- [5] Sergiusz Patela, *Ethernet optyczny – przykład światłowodowej sieci LAN 10BaseF i 100BaseFX*, 2000-2001
- [6] Jan Piecha, *Transmisja danych i sieci komputerowe*
- [7] Robert Kucharz, *Wszystko o sieciach internetowych*
- [8] Krzysztof Nowicki, *Auto-Negocjacja*, Katedra Teleinformatyki Wydział Elektroniki, Telekomunikacji i Informatyki Politechniki Gdańskiej
- [9] Wojciech Świątek, *Kody liniowe w teletransmisji, zasada tworzenia, działanie, występowanie, podstawy*, www.swiatek.republika.pl/

Summary

The paper presents examples of encoding digital signals which are used in computer networks. The paper considers 10/100/1000Mbps standards.