Moduł 6. Podstawy działania sieci Ethernet

Ethernet jest obecnie najpopularniejszą technologią LAN. Ethernet nie stanowi jednej technologii, lecz stanowi zbiór technologii LAN, i może być najlepiej objaśniony z wykorzystaniem modelu odniesienia OSI. Wszystkie sieci LAN muszą rozwiązać podstawowy problem dotyczący nazewnictwa pojedynczych stacji (węzłów), sieć Ethernet nie jest tu wyjątkiem. Specyfikacje sieci Ethernet obejmują różne media, szerokości pasma oraz inne elementy warstw 1 i 2. Niemniej jednak, podstawowy format ramki oraz schemat adresowania są takie same dla wszystkich odmian standardu Ethernet.

W celu zapewnienia równoczesnego dostępu wielu stacji do fizycznego medium i innych urządzeń sieciowych opracowano różne strategie dostępu do medium. Zapoznanie się ze sposobem, w jaki urządzenia sieciowe uzyskują dostęp do medium sieciowego, jest niezbędne do zrozumienia mechanizmów działania całej sieci i rozwiązywania problemów z nią związanych.

6.1 Podstawy działania sieci Ethernet

6.1.1Wprowadzenie do technologii Ethernet

Większość ruchu w Internecie jest zarówno generowana, jak i trafia do hostów pracujących w sieci Ethernet. Poczynając od lat siedemdziesiątych, technologia Ethernet rozwijała się, starając się sprostać rosnącym wymaganiom dotyczącym dużej szybkości działania sieci LAN. Po pojawieniu się nowego medium, którym był światłowód, technologia Ethernet została przystosowana do wykorzystania oferowanej przez niego większej szerokości pasma i niskiego współczynnika błędów. Ten sam protokół, który w roku 1973 transmitował dane z szybkością 3 Mb/s, obecnie przesyła informacje z szybkością 10 Gb/s. Sukces technologii Ethernet jest związany z następującymi czynnikami: - prostota i łatwość obsługi, - możliwość dostosowywania się do nowych technologii, - niezawodność, - niski koszt instalacji i rozbudowy.

Wraz z wprowadzeniem gigabitowego Ethernetu standard, który początkowo był technologią przeznaczoną dla sieci LAN, teraz rozciąga się na odległości czyniące Ethernet standardem dla sieci miejskich (MAN) oraz sieci rozległych (WAN).

Pierwotny zamysł technologii Ethernet wyrósł z potrzeby rozwiązania następującego problemu: jak pozwolić dwóm lub więcej hostom na wykorzystywanie tego samego medium i zapobiec zderzeniom sygnałów? Problem dostępu wielu użytkowników do współdzielonego medium był na początku lat siedemdziesiątych przedmiotem studiów na Uniwersytecie Hawajskim. System nazwany Alohanet został zaprojektowany po to, aby pozwolić różnym stacjom na Wyspach Hawajskich na ustrukturalizowany dostęp do dzielonego pasma częstotliwości radiowych w eterze. Badania te stały się później podstawą metody dostępu w technologii Ethernet znanej jako CSMA/CD.

Pierwsza na świecie sieć LAN była oparta na pierwotnej wersji technologii Ethernet. Zaprojektował ją ponad trzydzieści lat temu Robert Metcalfe wraz ze swoimi współpracownikami z firmy Xerox. Pierwszy standard Ethernet został opublikowany w 1980 r. przez konsorcjum, w skład którego wchodziły firmy Digital Equipment Company, Intel oraz Xerox (DIX). Pragnieniem Roberta Metcalfe'a było, aby technologia Ethernet stała się rozwiązaniem, z którego każdy mógłby korzystać, tak więc został on zaprezentowany jako ogólnodostępny standard otwarty. Pierwsze produkty zaprojektowane na podstawie standardu Ethernet zaczęły być sprzedawane we wczesnych latach osiemdziesiątych. Transmisja w technologii Ethernet osiągała szybkość do 10 Mb/s i była realizowana przez gruby kabel koncentryczny na odległościach do 2 kilometrów (km). Ten typ kabla koncentrycznego był określany jako Thicknet (ang. *thick* — gruby) i miał mniej więcej grubość małego palca.

W roku 1985 standardy dotyczące sieci LAN zostały opublikowane przez komitet ds. standardów dla sieci lokalnych i miejskich instytutu Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE). Numery tych standardów rozpoczynają się od liczby 802. Technologii Ethernet przyznano numer 802.3. Specjaliści z instytutu IEEE chcieli zachowania zgodności z modelem ISO (ang. *International Standards Organization*)/OSI. Aby to osiągnąć, standard IEEE 802.3 musiał sprostać wymogom określonym w definicji warstwy 1 oraz dolnej części warstwy 2 modelu OSI. W rezultacie w standardzie 802.3 wprowadzono niewielkie modyfikacje w stosunku do początkowej wersji standardu Ethernet.

Różnica pomiędzy tymi dwoma standardami jest tak niewielka, że każda karta sieciowa Ethernet może nadawać i odbierać zarówno ramki Ethernet, jak i 802.3. Zasadniczo Ethernet oraz IEEE 802.3 są tymi samymi standardami. Szerokość pasma w sieci Ethernet rzędu 10 Mb/s znacząco przewyższała wymagania powolnych komputerów osobistych (PC) lat osiemdziesiątych. Do początku lat dziewięćdziesiątych komputery klasy PC stały się znacznie szybsze, wzrosły rozmiary plików i zaczął się pojawiać problem wąskiego gardła w przepływie danych. W większości wypadków problem ten był spowodowany niską dostępnością pasma. W roku 1995 instytut IEEE zaprezentował standard dla technologii Ethernet 100 Mb/s. Następnie, w latach 1998 i 1999 zostały opublikowane standardy dla technologii Ethernet o przepustowości jednego gigabita na sekundę (1 Gb/s, miliard bitów na sekundę). Wszystkie te standardy są zasadniczo zgodne z pierwotnym standardem Ethernet. Ramka Ethernet może zostać przez komputer PC wyposażony w starszą, opartą na kablu koncentrycznym 10 Mb/s kartę sieciową, zostać

przesłana przez łącze światłowodowe Ethernet o przepustowości 10 Gb/s, a na końcu trafić do karty sieciowej 100 Mb/s. Dopóki pakiet pozostaje w sieci Ethernet, nie ulega on modyfikacjom. Z tego powodu technologia Ethernet jest uważana za wysoce skalowalną. Szerokość pasma w sieci może być wielokrotnie zwiększana bez zmiany stosowanej technologii Ethernet. Pierwotny standard technologii Ethernet był wielokrotnie poprawiany w celu dostosowania go do potrzeb nowych mediów transmisyjnych i wyższych prędkości transmisji. Poprawki te stanowią źródło standardów dla nowych technologii i utrzymują zgodność pomiędzy wariantami sieci Ethernet.

6.1.2 Zasady nazewnictwa w standardzie IEEE Ethernet

Technologia Ethernet nie stanowi jednej technologii, lecz całą rodzinę technologii sieciowych obejmującą tradycyjny Ethernet, Fast Ethernet oraz Gigabit Ethernet. Szybkości technologii Ethernet mogą wynosić 10, 100, 1000 lub 10 000 Mb/s. Podstawowy format ramki oraz mechanizm działania podwarstw IEEE w ramach warstw 1 i 2 modelu OSI pozostają spójne we wszystkich formach technologii Ethernet.

Kiedy zachodzi potrzeba rozszerzenia technologii Ethernet przez dodanie nowego medium lub nowej funkcjonalności, instytut IEEE wydaje nowe uzupełnienie standardu 802.3. Takie nowe uzupełnienia otrzymują jedno- lub dwuliterowe oznaczenie, np. 802.3u. Do uzupełnienia jest także przypisany skrócony opis (zwany identyfikatorem). Skrócony opis składa się z:

*liczby określającej szybkość transmisji w Mb/s;

*słowa „base", wskazującego, że jest używana sygnalizacja pasma podstawowego;

*jednej lub więcej liter alfabetu, określających rodzaj wykorzystywanego medium (F = kabel światłowodowy, T = miedziana skrętka nieekranowana).

Nazwy technologii Ethernet składają się z trzech części

Szybkość	Metoda sygnalizacji	Medium
10	BASE	2
100	BROAD	5
1000		-T
10G		-TX
		-SX
		-LX

Ethernet jest oparty na sygnalizacji pasma podstawowego, która wykorzystuje całą szerokość pasma medium transmisyjnego. Sygnał danych jest przesyłany bezpośrednio przez medium transmisyjne.

W sygnalizacji szerokopasmowej, sygnał danych nigdy nie jest bezpośrednio umieszczany w medium transmisyjnym. Ethernet używał sygnalizacji szerokopasmowej w standardzie 10BROAD36. Był to standard IEEE dla sieci Ethernet 802.3, używającej sygnalizacji szerokopasmowej po grubym kablu koncentrycznym, działającym z prędkością 10 Mbps. Dziś standard ten uważa się za nieaktualny. Sygnał danych moduluje sygnał analogowy (sygnał nośnej) i tak zmodulowany sygnał nośnej podlega transmisji. Sygnalizacja szerokopasmowa jest wykorzystywana w emisji radiowej i w telewizji kablowej.

Instytut IEEE nie może zmusić producentów sprzętu sieciowego do bezwzględnego stosowania się do wszystkich szczegółowych rozwiązań w ramach każdego ze standardów. IEEE ma nadzieję osiągnąć następujące cele:

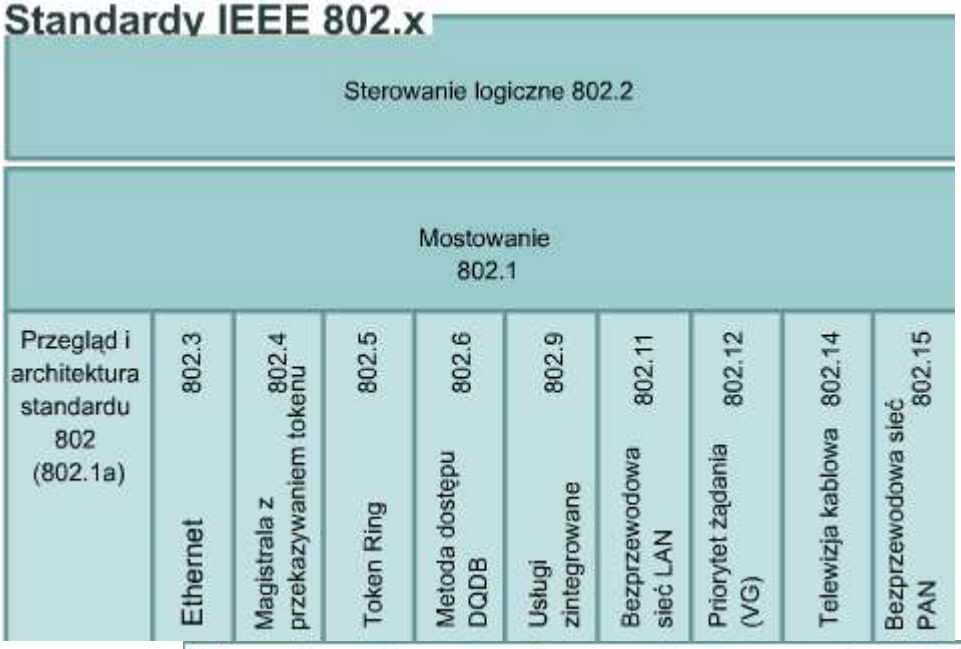
* dostarczanie fachowych informacji niezbędnych do budowy urządzeń zgodnych ze standardami Ethernet,
* promowanie innowacji wprowadzanych przez producentów.

6.3.1 Technologia Ethernet i model OSI

Technologia Ethernet funkcjonuje w dwóch obszarach modelu OSI: w dolnej połowie warstwy łącza danych, znanej jako podwarstwa MAC, oraz w warstwie fizycznej.

Przy przesyłaniu danych pomiędzy dwiema stacjami sieci Ethernet informacje często przechodzą przez wtórnik. Ruch przechodzący przez wtórnik jest widoczny dla wszystkich innych stacji z tej samej domeny kolizyjnej. Domena kolizyjna jest więc zasobem współdzielonym. Problemy powstające w jednej części domeny kolizyjnej zwykle mają wpływ na całą domenę kolizyjną.

Wtórnik jest odpowiedzialny za przesyłanie całego ruchu do wszystkich pozostałych portów. Ruch odbierany przez wtórnik nigdy nie jest wysyłany na port, z którego pochodzi. Każdy wykryty przez wtórnik sygnał zostanie przesłany. Jeśli sygnał jest osłabiony przez tłumienie lub szum, wtórnik spróbuje go odtworzyć i zregenerować. Standardy gwarantują minimalną szerokość pasma i możliwość działania poprzez określenie maksymalnej liczby stacji w segmencie, maksymalnej długości segmentu, maksymalnej liczby wtórników pomiędzy stacjami itd. Stacje oddzielone wtórnikami pozostają w tej samej domenie kolizyjnej. Stacje oddzielone mostami lub routerami znajdują się w różnych domenach kolizyjnych. **Rysunek** pokazuje odwzorowanie różnych technologii Ethernet na niższą połowę warstwy 2 modelu OSI i całą warstwę 1. Ethernet w warstwie 1 dotyczy połączenia z mediami oraz sygnałów, strumieni bitów transmitowanych przez media, elementów, które umieszczają sygnały w mediach i różnych topologii sieciowych. Warstwa 1 technologii Ethernet odgrywa zasadniczą rolę w komunikacji, która zachodzi pomiędzy urządzeniami, lecz każda z jej funkcji ma ograniczenia, którymi zajmuje się warstwa 2. Podwarstwy warstwy łącza danych realizują zadania dotyczące zgodności technologicznej i komunikacji między komputerami. Zadaniem podwarstwy MAC jest współpraca z elementami fizycznymi, które będą służyć do przekazywania informacji. Podwarstwa LLC (ang. *Logical Link Control*) pozostaje stosunkowo niezależna od



fizycznego sprzętu, który zostanie użyty w procesie komunikacji. **Rysunek** pokazuje odwzorowanie różnych technologii Ethernet na niższą połowę warstwy 2 oraz całą warstwę 1 modelu OSI. Istnieje także wiele innych rodzajów sieci Ethernet, na rysunku przedstawiono te najpopularniejsze.

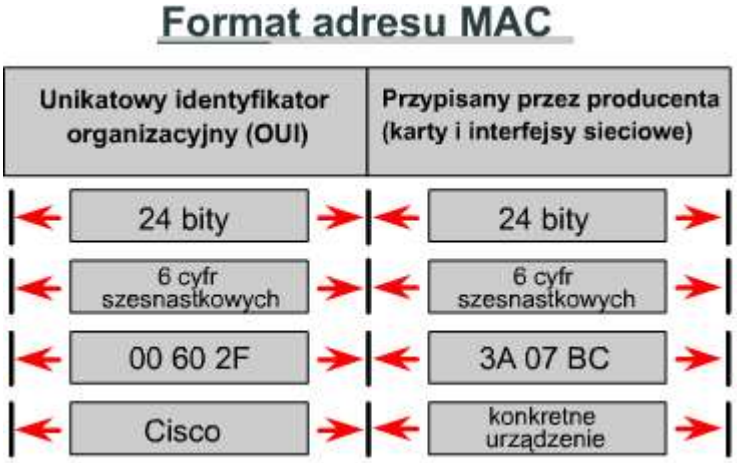
Warstwa 1 w porównaniu z warstwą 2

- Warstwa 1 nie może komunikować się z warstwami wyższego poziomu.
- Warstwa 2 dokonuje tego za pomocą mechanizmu LLC (Logical Link Control).
- Warstwa 1 nie może identyfikować komputerów.
- Warstwa 2 korzysta z procesu adresowania.
- Warstwa 1 jest w stanie jedynie opisywać strumienie bitów.
- Warstwa 2 organizuje grupy bitów w ramki.
- Na poziomie warstwy 1 nie można określić, który komputer z grupy, w której wszystkie komputery próbują wysyłać dane w tym samym momencie, przesyła dane dwójkowe.
- Warstwa 2 korzysta z systemu o nazwie kontrola dostępu do medium (MAC).

Technologie Ethernet odwzorowane w modelu OSI

6.1.4 Nazewnictwo

Aby umożliwić lokalne dostarczanie ramek w technologii Ethernet, musi istnieć system adresowania, tj. sposób unikalnej identyfikacji komputerów i interfejsów. Technologia Ethernet wykorzystuje adresy fizyczne MAC, które mają długość 48 bitów i w systemie szesnastkowym są zapisywane w postaci dwunastu cyfr. Wartość pierwszych sześciu cyfr jest zarządzana przez instytut IEEE i identyfikuje producenta lub dostawcę. Ta część adresu MAC jest znana jako unikalny identyfikator OUI (ang. *Organizational Unique Identifier*). Pozostałe sześć cyfr w zapisie szesnastkowym reprezentuje numer seryjny interfejsu lub inną wartość określaną przez producenta danego sprzętu. Adresy MAC są czasami oznaczane jako adresy wbudowane (BIA), ponieważ są one wbudowane w



pamięć ROM i kopiowane do pamięci RAM w momencie inicjowania karty sieciowej. W warstwie łącza danych nagłówki i stopki MAC są dodawane do danych wyższej warstwy. Nagłówek i stopka zawierają informację kontrolną przeznaczoną dla warstwy łącza danych w systemie odbiorcy. Dane z wyższych warstw są enkapsulowane w ramkę warstwy łącza danych, pomiędzy nagłówek a stopkę, a następnie wysłane do sieci. Karta sieciowa wykorzystuje adresy MAC do oceny, czy komunikat powinien być przekazany do wyższych warstw modelu OSI. Karta sieciowa przeprowadza tę ocenę, nie zajmując czasu procesora, co umożliwia szybszą komunikację w sieci Ethernet. Urządzenie w sieci Ethernet, rozpoczynając transmisję danych, może kierować dane do drugiego urządzenia za pomocą jego adresu MAC jako adresu docelowego. Urządzenie źródłowe dołącza nagłówek z adresem MAC żądanego adresata i wysyła dane do sieci. Podczas przesyłania danych w mediach sieciowych karta sieciowa każdego urządzenia w sieci sprawdza, czy jej adres MAC odpowiada adresowi fizycznemu odbiorcy zawartemu w ramce danych. Jeśli adresy nie są zgodne, ramka zostaje odrzucona przez kartę sieciową. Gdy dane osiągną węzeł docelowy, karta sieciowa wykona ich kopię i prześle ramkę do wyższych warstw modelu OSI. **W sieci Ethernet nagłówek MAC musi być analizowany przez wszystkie węzły, nawet jeśli komunikujące się węzły sąsiadują ze sobą**. Wszystkie urządzenia, które są podłączone do sieci LAN bazującej na technologii Ethernet, m.in. stacje robocze, drukarki, routery i przełączniki, mają interfejsy rozpoznawane za pomocą adresu MAC.

6.1.5 Proces podziału na ramki w warstwie 2

Zakodowane strumienie bitów (danych) w mediach fizycznych stanowią olbrzymie osiągnięcie technologiczne, lecz one same nie są w stanie sprawić, by została nawiązana komunikacja. Podział na ramki pomaga uzyskać niezbędne informacje, które nie mogłyby być pobrane z samych tylko zakodowanych strumieni bitów. Oto przykłady takich informacji:

* Które komputery komunikują się ze sobą.
* Kiedy zaczyna się i kończy komunikacja pomiędzy poszczególnymi komputerami.
* Informacje pomocne w wykrywaniu błędów, które wystąpiły podczas komunikacji.
* Czyja kolej na „mówienie" podczas „rozmowy" komputerów.

Podział na ramki jest procesem enkapsulacji warstwy 2. Ramka jest jednostką danych protokołu warstwy 2. Do wizualizacji bitów może służyć wykres napięcia w funkcji czasu. Jednakże, kiedy mamy do czynienia z większymi jednostkami danych, adresowaniem i informacjami kontrolnymi, wykres napięcia w funkcji czasu może stać się zawiły i mylący. Innym typem diagramu, który może być wykorzystany, jest *diagram formatu ramki* oparty na wykresie napięcia w funkcji czasu. Diagramy formatu ramki są czytane od strony lewej do prawej, tak jak wykres na oscyloskopie. Diagramy formatu ramki pokazują różne grupy bitów (pola) pełniące inne funkcje. Jest wiele różnych typów ramek opisywanych przez różne standardy. Pojedyncza, ogólna ramka zawiera sekcje, zwane polami, a każde pole składa się z bajtów. Nazwy tych pól są następujące:

* pole początku ramki, * pole adresu, * pole typu/długości, * pole danych, * pole kodu kontrolnego ramki.

Gdy komputery są podłączone do medium fizycznego, musi istnieć sposób, w jaki mogą zwrócić na siebie uwagę innych komputerów, by nadać wiadomość: „Nadchodzi ramka". W różnych technologiach istnieją różne sposoby realizacji tego procesu, lecz wszystkie ramki, niezależnie od technologii, zawierają na początku sygnalizacyjną sekwencję bajtów. **Wszystkie ramki zawierają informacje dotyczące nazw, takie jak nazwa węzła źródłowego (adres MAC) i nazwa węzła docelowego (adres MAC).** W większości ramek występują pewne wyspecjalizowane pola. W niektórych technologiach pole długości określa dokładną długość ramki w bajtach. W niektórych ramkach występuje pole typu, które określa protokół warstwy 3 odpowiedzialny za wysłanie żądania. Urządzenie w sieci Ethernet, rozpoczynając transmisję danych, może kierować dane do drugiego urządzenia przy użyciu jego adresu MAC jako adresu docelowego. Paczka danych zawiera w sobie wiadomość, którą trzeba przesłać lub dane aplikacji użytkownika. Może zajść potrzeba dodania bajtów wypełniających, aby ramka osiągnęła minimalną wymaganą długość. W skład pola danych ramek zgodnych ze standardami IEEE wchodzą również bajty LLC (ang. *logical link control*). Podwarstwa LLC pobiera dane protokołu sieciowego, pakiet IP, a następnie dodaje informacje kontrolne pomocne w dostarczeniu danego pakietu IP do węzła docelowego. Warstwa 2 komunikuje się z wyższymi warstwami poprzez podwarstwę LLC. Wszystkie ramki oraz zawarte w nich bity, bajty i pola są podatne na błędy pochodzące z różnych źródeł. Pole kodu kontrolnego ramki (FCS) zawiera liczbę, która jest obliczana przez węzeł źródłowy na podstawie danych w ramce. Pole FCS jest następnie dodawane na końcu wysyłanej ramki. Kiedy ramka jest odbierana przez węzeł docelowy, liczba FCS jest ponownie przeliczana i porównywana z liczbą FCS zawartą w ramce. Jeśli są one różne, zakłada się, że wystąpił

błąd i ramka jest odrzucana. Ponieważ źródło nie może wykryć czy ramka została faktycznie odrzucona, protokoły zorientowane połączeniowo wyższych warstw muszą zainicjować ewentualną retransmisję. Ponieważ te protokoły, jak np. TCP, żądają potwierdzenia otrzymania danych (ACK) przez stronę odbiorczą, w odpowiednim czasie, zwykle dochodzi do takiej właśnie retransmisji.

Są trzy podstawowe sposoby obliczania kodu kontrolnego ramki FCS:

Cykliczna kontrola nadmiarowa (CRC): wykonuje obliczenia na danych.

Parzystość dwuwymiarowa: każdy kolejny bajt jest wstawiany do dwuwymiarowej tablicy, następnie wykonywana jest kontrola nadmiarowości w każdej kolumnie i wierszu, tworząc tym samym dziewiąty bajt wskazujący nieparzystą lub parzystą liczbę jedynek binarnych.

Internetowa suma kontrolna: dodawane są wartości wszystkich bitów danych, wynik jest sumą kontrolną.

Węzeł transmitujący dane musi pozyskać uwagę innych urządzeń, aby zacząć i zakończyć przesyłanie ramki. Pole długości wyznacza koniec, a ramka jest uważana za zakończoną po wystąpieniu kodu FCS. Czasami występuje formalna sekwencja bajtów nazywana znacznikiem końca ramki.

Format ramki ogólnej

Nazwy pól				
A	B	C	D	E
Pole początku ramki	Pole adresu	Pole typu/długości	Pole danych	Pole FCS

6.1.6 Struktura ramki w technologii Ethernet

Ethernet IEEE 802.3

Obliczenie kodu FCS						
Preambuła 7	Znacznik SFD 1	Cel 6	Źródło 6	Długość/ Typ 2	Dane Wypełnienie od 46 do 1500	Kod FCS 4

Pola ramek Ethernet IEEE 802.3

Oktety	Opis
• 7	Preambuła
• 1	Znacznik początku ramki (SFD)
• 6	Adres MAC odbiorcy
• 6	Adres MAC nadawcy
• 2	Pole długości/typu (długość, jeśli wartość jest mniejsza od 0600 szesnastkowo; w przeciwnym razie typ protokołu)
• od 46 do 1500 dane* (jeśli mniej niż 46 oktetów, to na końcu konieczne jest dodanie wypełnienia)	
• 4	Kod kontrolny ramki FCS (suma kontrolna CRC)

Na poziomie warstwy łącza danych struktura ramki jest prawie identyczna dla wszystkich szybkości technologii Ethernet, od 10 Mb/s do 10 000 Mb/s. Na poziomie warstwy fizycznej prawie wszystkie wersje technologii Ethernet różnią się znacznie, gdyż dla każdej szybkości transmisji przyjęte zostały inne założenia architektoniczne. W wersji technologii Ethernet, rozwijanej przez firmę DIX przed przyjęciem wersji Ethernet IEEE 802.3, preambuła i znacznik początku ramki (SFD) były połączone w jedno pole, mimo iż sekwencja bitów była identyczna. Pole długość/typ oznaczało jedynie długość ramki we wczesnych wersjach IEEE, zaś w wersji DIX wyłącznie typ ramki. Te dwa sposoby wykorzystania pola zostały oficjalnie połączone w późniejszej wersji standardu IEEE, ponieważ oba były powszechne używane. Pole typu w technologii Ethernet II zostało włączone do obecnej definicji ramki 802.3. Węzeł odbierający musi ustalić protokół warstwy wyższej, którego dane są obecne w przychodzącej ramce, poprzez analizę pola typ/długość. Jeżeli wartość dwóch oktetów jest równa lub większa niż 0x0600 szesnastkowo, czyli 1536 dziesiętnie, to zawartość pola danych jest dekodowana stosownie do wskazanego typu protokołu. Ethernet II jest formatem ramki używanym zwykle w sieciach TCP/IP.

Ethernet II

- Standard wprowadzony przez DIX.
- Używany w sieciach TCP/IP
- W celu określenia protokołu wyższej warstwy stosowane jest pole typu.
- Przykłady typów:
  - 0x0806 = ARP
  - 0x0800 = IPv4

6.1.7 Pola ramek w technologii Ethernet

Oto niektóre z dozwolonych lub wymaganych pól ramki Ethernet 802.3:
preambuła, znacznik początku ramki, adres odbiorcy, adres nadawcy, długość/typ, dane i wypełnienie, FCS, rozszerzenie.

Preambuła jest naprzemiennym wzorcem jedynek i zer używanym do synchronizacji taktowania w asynchronicznych implementacjach technologii Ethernet o szybkości 10 Mb/s i wolniejszych. Szybsze wersje technologii Ethernet są synchroniczne i takie informacje taktujące są nadmiarowe, zostały jednak zachowane dla utrzymania zgodności.

Znacznik początku ramki (SFD) składa się z pola o długości jednego oktetu oznaczającego koniec informacji taktujących i zawierającego sekwencję bitów 10101011.

Pole adresu odbiorcy zawiera adres MAC odbiorcy. Adres odbiorcy może być adresem pojedynczego hosta, adresem grupowym lub rozgłoszeniowym.

Pole adresu nadawcy zawiera adres MAC nadawcy. Adres nadawcy jest, ogólnie biorąc, adresem pojedynczego hosta nadającego węzła sieci Ethernet. Rośnie jednak liczba stosowanych protokołów wirtualnych, które wykorzystują i czasem współdzielą dany adres MAC nadawcy w celu zidentyfikowania wirtualnej jednostki.

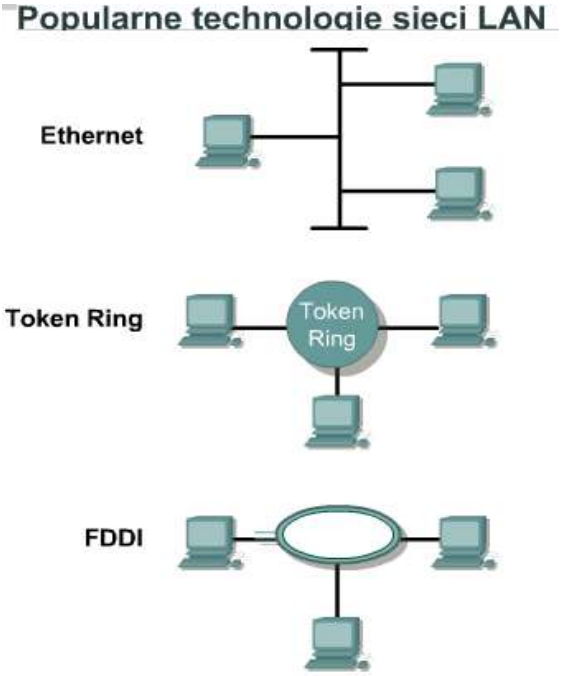
Pole długości/typu ma dwa różne przeznaczenia. Jeśli jego wartość jest mniejsza niż 1536 dziesiętnie (0x600 szesnastkowo), to wartość ta określa długość. Interpretacja tego pola jako „długość" jest stosowana wówczas, gdy warstwa LLC zapewnia identyfikację protokołu. Wartość typu określa protokół wyższej warstwy, który ma być użyty do odebrania danych po zakończeniu przetwarzania w sieci Ethernet. Długość wskazuje liczbę bajtów danych, które następują po tym polu.

Pole danych i ewentualne wypełnienie mogą mieć każdą długość, która nie spowoduje, że zostanie przekroczony maksymalny rozmiar ramki.

Maksymalna jednostka transmisyjna (MTU) dla sieci Ethernet wynosi 1500 oktetów, tak więc dane nie powinny przekroczyć tego rozmiaru. Zawartość tego pola nie jest określona. Gdy dane użytkownika nie są wystarczająco długie, aby ramka osiągnęła minimalną długość, bezpośrednio po nich zostaje umieszczone wypełnienie o nieokreślonej treści. Zgodnie z wymaganiami standardu Ethernet ramka nie powinna być krótsza niż 64 oktety i dłuższa niż 1518 oktetów.

Pole FCS zawiera czterobajtową wartość CRC tworzoną przez urządzenie wysyłające i ponownie przeliczaną przez urządzenie odbierające w celu sprawdzenia, czy ramka nie została uszkodzona. Nie ma potrzeby obejmowania wartością sumy kontrolnej jej samej, gdyż jeśli zdarzy się przekłamanie sumy, nie będzie ona odpowiadać zawartości ramki. Nie jest możliwe rozróżnienie pomiędzy uszkodzeniem pola FCS i uszkodzeniem dowolnego poprzedniego pola użytego do obliczeń.

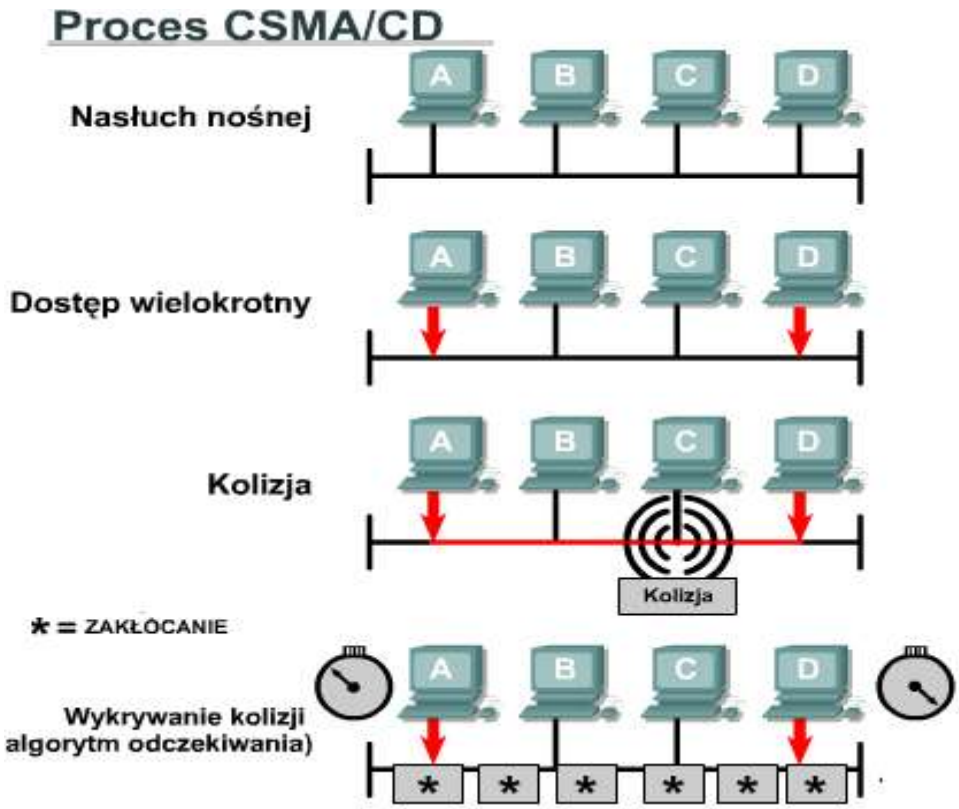
6.2 Funkcjonowanie sieci Ethernet



6.2.1 Kontrola dostępu do medium (MAC)

Kontrola dostępu do medium (MAC) odnosi się do protokołów określających, który komputer lub która domena kolizyjna może wysyłać dane. Podwarstwy MAC i LLC wspólnie stanowią wersję IEEE warstwy 2 modelu OSI. MAC i LLC są podwarstwami warstwy 2. Mechanizmy dostępu do medium (MAC) mogą być podzielone na dwie ogólne kategorie: deterministyczną (zgodnie z kolejnością) i niedeterministyczną (pierwszy przychodzi, pierwszy obsłużony).

Przykładami protokołów deterministycznych są protokoły Token Ring i FDDI. W sieci opartej na protokole Token Ring pojedyncze hosty są zorganizowane w pierścień, a specjalny token danych jest przekazywany dookoła tego pierścienia do każdego hosta po kolei. Gdy host chce nadawać, przechwytuje token, wysyła dane przez ograniczony czas, a następnie przekazuje token do następnego hosta w pierścieniu. Protokół Token Ring jest środowiskiem bezkolizyjnym, ponieważ w określonym czasie może nadawać tylko jeden host. Niedeterministyczne protokoły MAC opierają się na podejściu typu „pierwszy przychodzi, pierwszy obsłużony" (ang. *first come, first served*). Takim prostym systemem jest CSMA/CD (Carrier Sense Multple Access / Collision Detection - Wielodostęp do medium z wykrywaniem nośnej). Karta sieciowa nasłuchuje, czekając na brak sygnału w medium, i zaczyna nadawanie. Jeśli dwa węzły nadają jednocześnie, występuje kolizja i żaden z węzłów nie może transmitować danych.

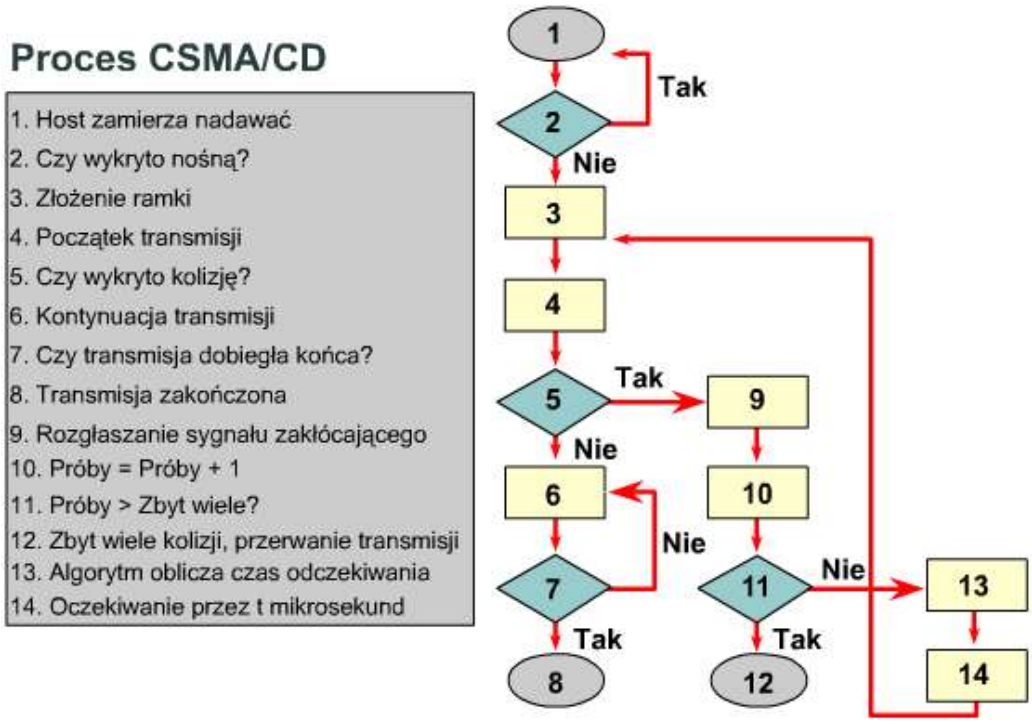


Token Ring, FDDI oraz Ethernet stanowią trzy popularne technologie warstwy 2. Wszystkie trzy podejmują kwestie adresowania w warstwie 2, podziału na ramki, podwarstw LLC i MAC jak również kwestie sygnalizacji i mediów transmisyjnych. Oto konkretne technologie dla każdej z nich:
Ethernet: topologia magistrali logicznej (przepływ informacji jest realizowany w liniowej magistrali) oraz fizyczna gwiazda lub rozszerzona gwiazda (okablowanie w formie gwiazdy).
Token Ring: topologia pierścienia logicznego (innymi słowy, przepływ informacji jest kontrolowany w pierścieniu) oraz topologia fizycznej gwiazdy (innymi słowy, okablowanie przyjmuje formę gwiazdy).
FDDI: topologia pierścienia logicznego (przepływ informacji jest kontrolowany w pierścieniu) oraz topologia podwójnego pierścienia fizycznego (okablowanie w formie podwójnego pierścienia).

6.2.2 Reguły MAC i wykrywanie kolizji/odczekiwanie

Ethernet jest technologią polegającą na rozgłaszaniu informacji w dzielonym (wspólnym) medium. Wykorzystywana w technologii Ethernet metoda dostępu CSMA/CD spełnia trzy funkcje:

* wysyłanie i odbieranie ramek z danymi,
* dekodowanie ramek i sprawdzanie poprawności zawartych w nich adresów przed przekazaniem ich do wyższych warstw modelu OSI,
* wykrywanie błędów wewnątrz ramek lub w sieci.



W metodzie dostępu CSMA/CD urządzenia sieciowe z danymi do transmisji pracują w trybie nasłuchu przed nadawaniem. Oznacza to, że jeśli węzeł ma wysłać dane, musi najpierw sprawdzić, czy medium sieciowe nie jest zajęte. Jeśli węzeł wykryje, że sieć jest zajęta, będzie oczekiwał przez losowo wybrany czas przed ponowieniem próby. Jeśli węzeł wykryje, że medium nie jest zajęte, rozpocznie nadawanie i nasłuchiwanie. Celem nasłuchiwania przez węzeł jest upewnienie się, że żadna inna stacja nie nadaje w tym samym czasie. Po zakończeniu transmisji danych urządzenie powróci do trybu nasłuchiwania.

Wystąpienie kolizji jest wykrywane przez urządzenia sieciowe na podstawie wzrostu amplitudy sygnału w medium sieciowym. Jeśli wystąpi kolizja, transmisja będzie kontynuowana przez krótki czas przez każdy z nadających węzłów, aby upewnić się, że wszystkie pozostałe węzły wykryły kolizję. Gdy kolizja zostanie wykryta przez wszystkie węzły, rozpoczyna się wykonywanie algorytmu odczekiwania i transmisja zostaje zatrzymana.

Węzły zatrzymują nadawanie na losowo wybrany czas, określony przez algorytm odczekiwania. Po wygaśnięciu okresu opóźnienia każdy węzeł w sieci może podjąć próbę uzyskania dostępu do medium sieciowego. Urządzeniom zaangażowanym w kolizję nie przysługuje pierwszeństwo wysyłania danych.

6.2.3 Taktowanie w sieci Ethernet

Podstawowe zasady i specyfikacje prawidłowego funkcjonowania sieci Ethernet nie są szczególnie złożone, choć niektóre z szybszych implementacji warstwy fizycznej takimi się stają. Mimo podstawowej prostoty działania sieci Ethernet, jeśli pojawi się w niej problem, wyizolowanie jego źródła często nastręcza trudności. Z powodu powszechnie stosowanej w technologii Ethernet architektury magistrali, opisywanej również jako rozproszony pojedynczy punkt awarii, problem zasięgiem swym obejmuje zwykle wszystkie urządzenia wewnątrz domeny kolizyjnej. W sytuacjach, gdy wykorzystywane są wtórniki, zasięg ten może rozszerzać się na urządzenia umieszczone w odległości do czterech segmentów. Każda mająca nadać wiadomość stacja w sieci Ethernet najpierw „nasłuchuje", aby upewnić się, że żadna inna stacja nie nadaje w tym momencie. Jeśli w kablu jest cisza, stacja taka natychmiast zaczyna nadawać. Przesyłanie sygnału elektrycznego po kablu zabiera pewien czas (zwany opóźnieniem), a każdy kolejny wtórnik wprowadza dodatkowe, niewielkie opóźnienie przy przekazywaniu ramki z jednego portu do kolejnego. W wyniku tych opóźnień może się zdarzyć, że więcej niż jedna stacja zacznie nadawanie niemal w tym samym czasie. Rezultatem tego jest kolizja.

Jeśli podłączona stacja pracuje w trybie pełnego dupleksu, to może ona równocześnie wysyłać i odbierać, a kolizje nie powinny się pojawiać. Praca w trybie pełnego dupleksu zmienia również uwarunkowania dotyczące taktowania i eliminuje pojęcie szczeliny czasowej. Praca w trybie pełnego dupleksu pozwala na budowę większych sieci, ponieważ usunięto ograniczenia czasowe nałożone w celu wykrycia kolizji.

W trybie półdupleksu, przy założeniu, że nie występuje kolizja, stacja nadawcza transmituje 64 bity informacji synchronizacyjnej znane jako preambuła. Stacja nadawcza wysyła wtedy następujące informacje:

* informacje o adresowaniu MAC nadawcy i odbiorcy;
* pewne inne informacje nagłówka;
* właściwą, zasadniczą treść danych;
* sumę kontrolną (FCS) używaną do upewnienia się, czy wiadomość nie została po drodze uszkodzona.

Stacje odbierające ramkę przeliczają sumę FCS, aby ustalić, czy przychodząca wiadomość jest poprawna, a następnie przekazują poprawną wiadomość do następnej, wyższej warstwy w stosie protokołów.

Wersje technologii Ethernet pracujące z szybkością 10 Mb/s i wolniejsze są asynchroniczne. Asynchroniczność oznacza, że każda stacja odbierająca wykorzystuje osiem oktetów informacji taktowania do zsynchronizowania obwodu odbiorczego dla nadchodzących danych, po czym odrzuca je. Implementacje technologii Ethernet pracujące z szybkością 100 Mb/s i szybsze są synchroniczne. Synchroniczność oznacza, że informacja taktowania nie jest wymagana, lecz dla utrzymania zgodności pole preambuły i znacznik początku ramki (SFD) są obecne.

We wszystkich odmianach technologii Ethernet o szybkości transmisji nieprzekraczającej 1000 Mb/s standard wyznacza minimalny czas pojedynczej transmisji nie krótszy niż szczelina czasowa. Szczelina czasowa dla technologii Ethernet 10 i 100 Mb/s jest równa czasowi transmisji 512 bitów (czyli 64 oktetów). Szczelina czasowa dla technologii Ethernet 1000 Mb/s jest równa czasowi transmisji 4096 bitów (czyli 512 oktetów). Szczelina czasowa jest obliczana przy założeniu maksymalnych długości kabli w największej dopuszczalnej architekturze sieciowej. Wszystkie czasy opóźnień propagacji sprzętowej są na poziomie dopuszczalnego maksimum, a gdy zostanie wykryta kolizja, używana jest 32-bitowa sekwencja zakłócająca.

Rzeczywista obliczona szczelina czasowa jest nieco dłuższa niż teoretyczna ilość czasu wymagana do przebycia drogi pomiędzy najdalszymi punktami domeny kolizyjnej, zderzenia się z inną transmisją w ostatnim możliwym momencie, powrotu fragmentów kolizyjnych do stacji wysyłającej i ich wykrycia. Aby system działał, pierwsza stacja musi dowiedzieć się o kolizji zanim zakończy wysyłanie ramki o najmniejszym dopuszczalnym rozmiarze.

Aby umożliwić działanie sieci Ethernet 1000 Mb/s w trybie półdupleksu, przy wysyłaniu krótkich ramek dodano pole rozszerzenia służące jedynie do utrzymania urządzenia transmitującego w stanie zajętości na tyle długo, by mogły wrócić fragmenty kolizyjne. Pole to jest obecne tylko przy szybkości 1000 Mb/s w przypadku łączy pracujących w trybie półdupleksu, po to, aby ramki o minimalnym rozmiarze były wystarczająco długie, by móc sprostać wymaganiom szczeliny czasowej. Bity rozszerzenia są odrzucane przez stację odbierającą.

W technologii Ethernet 10 Mb/s transmisja jednego bitu w warstwie MAC trwa 100 nanosekund (ns). Przy szybkości 100 Mb/s transmisja tego samego bitu trwa 10 ns, a przy szybkości 1000 Mb/s trwa ona tylko 1 ns. W przybliżonych szacunkach często wykorzystywana jest wartość 20,3 cm (8 cali) na nanosekundę do obliczania opóźnienia propagacji w kablu UTP. Oznacza to, że w 100 metrach kabla UTP przesłanie sygnału 10BASE-T na całej długości przewodu trwa krócej niż czas transmisji pięciu bitów.

Dla funkcjonowania metody CSMA/CD stosowanej w sieciach Ethernet konieczne jest, aby stacja wysyłająca wiedziała o wystąpieniu kolizji zanim zostanie zakończona transmisja ramki o minimalnym rozmiarze. Przy szybkości 100 Mb/s taktowanie systemu jest ledwie w stanie obsłużyć sieci o długości kabla równej 100 metrów. Przy szybkości 1000 Mb/s wymagane są specjalne korekty, gdyż prawie cała ramka o minimalnym rozmiarze

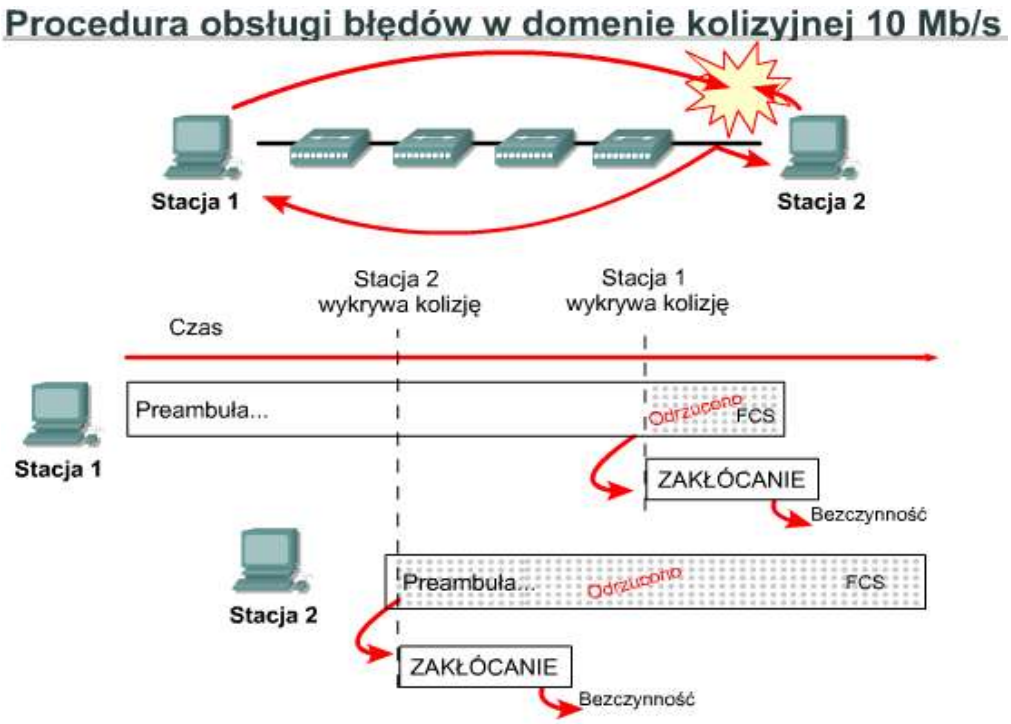
zostałaby wysłana, zanim pierwszy bit pokonałby pierwsze 100 metrów kabla UTP. Z tego powodu tryb półdupleksu nie jest dozwolony w technologii 10 Gigabit Ethernet.

6.2.4 Przerwy międzyramkowe i odczekiwanie

Minimalny odstęp pomiędzy dwiema niekolidującymi ramkami jest zwany przerwą międzyramkową. Jest on mierzony od ostatniego bitu pola FCS pierwszej ramki do pierwszego bitu preambuły ramki drugiej.
Po wysłaniu ramki wszystkie stacje w sieci Ethernet 10 Mb/s muszą oczekiwać co najmniej przez czas transmisji 96 bitów (9,6 mikrosekundy), zanim następna ramka może zostać poprawnie wysłana przez którąkolwiek stację. W szybszych wersjach sieci Ethernet odstęp pozostaje taki sam (czas transmisji 96 bitów), lecz czas, który musi upłynąć, jest odpowiednio krótszy. Czas ten po angielsku określa się mianem „interframe spacing" albo „interframe gap" — najczęstsze polskie określenie to „przerwa międzyramkowa". Przerwa ta ma na celu zapewnienie wolniejszym stacjom czasu na przetworzenie poprzedniej ramki i przygotowanie się do odbioru następnej ramki.
Zadaniem wtórnika jest regeneracja pełnych 64 bitów informacji taktujących, tj. preambuły i pola SFD, na początku każdej ramki. Dzieje się tak mimo możliwości utraty części bitów początku preambuły z powodu powolnej synchronizacji. Ze względu na konieczność dokonania taktowania bitów ramki na nowo mała redukcja przerwy międzyramkowej jest nie tylko możliwa, lecz również oczekiwana. Niektóre chipsety w sieciach Ethernet są wrażliwe na skrócenie przerwy międzyramkowej, przez co po jej zmniejszeniu mogą wystąpić problemy z wykrywaniem ramek. Wraz ze wzrostem mocy przetwarzania komputerów stacjonarnych mogą one łatwo nasycić ruchem segment sieci Ethernet i rozpocząć ponowne nadawanie przed upływem czasu opóźnienia związanego z przerwą międzyramkową.
Po wystąpieniu kolizji i gdy w kablu nie ma sygnału z żadnej ze stacji (każda oczekuje przez czas pełnej przerwy międzyramkowej), stacje biorące udział w kolizji muszą odczekać dodatkowy czas (który może rosnąć wykładniczo) przed przystąpieniem do próby ponownego nadania ramki, przy nadawaniu której wystąpiła kolizja. Okres oczekiwania jest celowo zaprojektowany jako losowy, po to, by dwie stacje nie generowały takiego samego opóźnienia przed ponowieniem transmisji, gdyż powodowałoby to wystąpienie kolejnych kolizji. Częściowo zostało to osiągnięte przez zwiększanie najkrótszego interwału, na podstawie którego jest określany losowy czas ponowienia transmisji przy każdej następnej próbie. Okres oczekiwania jest mierzony w przyrostach jednostki „szczelina czasowa".
Jeśli warstwie MAC nie uda się wysłanie ramki w ciągu 16 prób, rezygnuje i zwraca błąd do warstwy sieci. Taki zdarzenie jest dosyć rzadkie i zachodzi jedynie przy niezmiernie dużych obciążeniach sieci lub gdy w sieci istnieje jakiś problem natury fizycznej.

6.2.5 Obsługa błędów

Najczęstszymi błędami w sieciach Ethernet są kolizje. Kolizje są mechanizmem służącym do rozwiązywania problemu rywalizacji o dostęp do sieci. Niewielka liczba kolizji umożliwia płynne, nieskomplikowane i związane z niewielkim narzutem rozstrzyganie rywalizacji węzłów o dostęp do zasobów sieciowych. Gdy rywalizacja o dostęp do sieci staje się zbyt duża, kolizje mogą stać się znaczącą przeszkodą w sprawnym funkcjonowaniu sieci. Rezultatem kolizji jest utrata pasma sieci równa czasowi początkowej transmisji i sygnału sekwencji zakłócającej. Jest to opóźnienie konsumpcyjne, które obejmuje wszystkie węzły sieciowe i z dużym prawdopodobieństwem powoduje znaczące obniżenie przepustowości sieci.
Znaczna większość kolizji występuje w czasie transmisji samego początku ramki, zwykle przed polem SFD. Kolizje występujące przed polem SFD zazwyczaj nie są zgłaszane do wyższych warstw, tak jakby wcale nie wystąpiły. Gdy tylko kolizja zostaje wykryta, stacje wysyłające nadają 32-bitowy sygnał zakłócający, który wymusza wykrycie kolizji. Jest to realizowane tak, aby wszystkie przesyłane dane zostały całkowicie uszkodzone, co umożliwi wszystkim stacjom wykrycie kolizji.
Na rysunku dwie stacje nasłuchują w celu upewnienia się, że w kablu nie ma sygnału, po czym nadają. Stacja 1 mogła nadać znaczącą część ramki, zanim sygnał osiągnął ostatni segment kabla. Stacja 2 nie odebrała pierwszego bitu transmisji przed rozpoczęciem swej własnej transmisji i zdołała wysłać jedynie kilka bitów, zanim karta sieciowa wykryła kolizję. Stacja 2 natychmiast przerwała bieżącą transmisję, zastępując ją 32-bitowym sygnałem zakłócającym, i wstrzymała wszystkie dalsze transmisje. Podczas trwania kolizji i zakłóceń wykrytych przez stację 2 fragmenty kolizyjne wracały do stacji 1 przez domenę kolizyjną połączoną wtórnikiem. Stacja 2 zakończyła transmisję 32-bitowego sygnału zakłócającego i ucichła, zanim kolizja dotarła z powrotem do stacji 1, dla której kolizja pozostawała nadal niewidoczna i która kontynuowała nadawanie. Kiedy w końcu fragmenty kolizyjne dotarły do stacji 1, ona również przerwała bieżącą transmisję, wstawiając 32-bitowy sygnał zakłócający zamiast pozostałej części ramki. Po wysłaniu 32-bitowego sygnału zakłócającego stacja 1 wstrzymała wszystkie transmisje. **Sygnał zakłócający** może być złożony z jakichkolwiek danych binarnych, o ile nie tworzą one sumy kontrolnej właściwej dla już nadanej części ramki. Najczęściej występującym wzorcem dla sygnału zakłócającego jest po prostu powtarzający się ciąg zer i jedynek, taki sam jak dla preambuły. Wzorzec ten przeglądany przez



analizator protokołowy przyjmuje postać sekwencji powtarzających się cyfr szesnastkowych: 5 lub A. Uszkodzona, częściowo nadana wiadomość jest zwykle nazywana fragmentami kolizyjnymi lub runtami. Zwykłe kolizje mają mniej niż 64 oktety długości i dlatego są wykrywane zarówno przez test minimalnej długości, jak i przez test sumy kontrolnej FCS.

6.2.6 Rodzaje kolizji

Kolizja ma zazwyczaj miejsce, gdy dwie lub więcej stacji sieci Ethernet nadaje równocześnie wewnątrz jednej domeny kolizyjnej. Kolizja pojedyncza to taka, która została wykryta w trakcie próby wysłania ramki, a podczas następnej próby ramka została pomyślnie wysłana. Kolizja wielokrotna wskazuje, że ta sama ramka wielokrotnie brała udział w kolizji, zanim nastąpiło jej pomyślne wysłanie. Powstające w wyniku kolizji fragmenty kolizyjne to częściowe lub uszkodzone ramki, które są krótsze niż 64 oktety i mają błędną sumę FCS. Istnieją trzy rodzaje kolizji: **lokalne, zdalne, spóźnione.**

Kolizja lokalna w kablu koncentrycznym (10BASE2 i 10BASE5) występuje, gdy sygnał podróżujący wzdłuż kabla napotka sygnał z innej stacji. Przebiegi falowe ulegają wówczas nałożeniu, powodując wzajemne znoszenie niektórych części sygnału oraz wzmocnienie lub podwojenie innych jego części. Podwojenie sygnału powoduje podniesienie poziomu napięcia sygnału powyżej dozwolonego maksimum. Właśnie to przekroczenie napięcia jest wykrywane przez wszystkie stacje podłączone do lokalnego segmentu kabla jako kolizja. Na początku przebiegu pokazanego na rysunku znajdują się zwykłe dane zakodowane w standardzie Manchester. Kilka cykli dalej amplituda fali w próbce podwaja się. Jest to początek kolizji, w której dwie fale ulegają nałożeniu. Krótko przed końcem próbki amplituda wraca do stanu normalnego. Dzieje się tak, gdy pierwsza stacja przestaje nadawać po wykryciu kolizji, a sygnał zakłócający pochodzący z drugiej kolidującej stacji jest ciągle widoczny. W kablu UTP, takim jak 10BASE-T, 100BASE-TX lub 1000BASE-T, kolizja jest wykrywana w segmencie lokalnym tylko wtedy, gdy stacja wykryje sygnał w parze RX, prowadząc w tym samym momencie nadawanie w parze TX. Ponieważ oba sygnały są przesyłane w różnych parach przewodów, nie ma żadnych charakterystycznych zmian w sygnale. Kolizje w kablu UTP są rozpoznawane tylko wtedy, gdy stacja pracuje w trybie półdupleksu. Jedyną funkcjonalną różnicę pomiędzy pracą w trybie półdupleksu i pełnego dupleksu w tym kontekście stanowi to, czy pary transmitująca i wysyłająca mogą być używane równocześnie. Jeśli stacja nie jest zajęta nadawaniem, nie może wykryć kolizji lokalnej. Z drugiej strony, wada kabla, taka jak nadmierny przesłuch, może spowodować, że stacja będzie odbierać własną transmisję jako kolizję lokalną.

Zdalna kolizja jest rozpoznawana po wielkości ramki, która jest mniejsza od minimalnego rozmiaru i ma błędną sumę kontrolną FCS, nie zaś po symptomach lokalnej kolizji, takich jak nadmiarowe napięcie czy równoczesna aktywność na liniach RX/TX. Ten rodzaj kolizji jest zwykle wynikiem wystąpienia kolizji po drugiej stronie połączenia z użyciem wtórnika. Wtórnik nie przekaże dalej stanu nadmiernego napięcia i nie może spowodować jednoczesnej aktywności obu par (TX i RX) w tym samym czasie. Aby spowodować wystąpienie aktywności w obu parach przewodów, stacja musiałby nadawać, a to z kolei wywołałoby kolizję lokalną. W sieciach opartych na kablu UTP jest to najczęściej obserwowany rodzaj kolizji.

Nie ma możliwości wystąpienia normalnej (dozwolonej) kolizji po wysłaniu przez stacje nadające pierwszych 64 oktetów danych. Kolizje pojawiające się po pierwszych 64 oktetach są nazywane „kolizjami spóźnionymi". Najbardziej znaczącą różnicą pomiędzy kolizjami spóźnionymi a kolizjami występującymi przed wysłaniem pierwszych 64 oktetów jest fakt, że karta sieciowa Ethernet automatycznie ponowi transmisję ramki, która uległa normalnej kolizji, lecz ponowienie takie nie nastąpi w wypadku kolizji spóźnionej. Z punktu widzenia kart sieciowych transmisja przebiegła pomyślnie, a fakt utraty ramki muszą wykryć wyższe warstwy stosu protokołów. Inaczej niż w wypadku retransmisji, stacja wykrywająca kolizję spóźnioną obsługuje ją w dokładnie ten sam sposób jak kolizję normalną.

6.2.7 Błędy w sieci Ethernet

Wiedza dotycząca typowych błędów jest nie do przecenienia zarówno, jeśli chodzi o zrozumienie funkcjonowania sieci Ethernet, jak i rozwiązywanie dotyczących jej problemów.
Poniżej wymienione zostały źródła błędów w sieci Ethernet:
Kolizja lub runt: równoczesna transmisja występująca przed upływem szczeliny czasowej.
Kolizja spóźniona: równoczesna transmisja występująca po upływie szczeliny czasowej.
Jabber, długa ramka i błędy zakresu: nadmiernie lub niedopuszczalnie długa transmisja.
Krótka ramka, fragment kolizyjny lub runt: niedopuszczalnie krótka transmisja.
Błąd FCS: uszkodzona transmisja.
Błąd wyrównania: niewystarczająca lub nadmierna liczba wysyłanych bitów (nie przekraczająca 8 bitów).
Błąd zakresu: niezgodność rzeczywistej i zgłoszonej liczby oktetów w ramce.
Ghost lub jabber: nadzwyczaj długa preambuła lub zdarzenie zakłócania.
Podczas gdy kolizje lokalne i zdalne są uważane za część normalnej pracy sieci Ethernet, kolizje spóźnione są uważane za błędy. Obecność błędów w sieci zawsze wskazuje na konieczność dalszej analizy. Waga problemu decyduje o tym, jak szybko należy podjąć działania zmierzające do jego rozwiązania w zależności od wykrytych błędów. Niewielka ilość błędów wykrywanych przez wiele minut lub godzin będzie miała niski priorytet. Tysiące błędów wykrytych w czasie kilku minut wskazują, że konieczna jest pilna analiza problemu.
Angielski termin „jabber" definiuje się w pewnych fragmentach standardu 802.3 jako transmisję o czasie trwania odpowiadającym przesłaniu od 20 000 do 50 000 bitów. Jednakże większość narzędzi diagnostycznych zgłasza błąd jabber za każdym razem, gdy wykryta transmisja przekracza maksymalny dozwolony rozmiar ramki, który jest znacznie mniejszy niż czas transmisji 20 000 do 50 000 bitów. Większość odwołań do terminu „jabber" odnosi się więc do bardziej poprawnego pojęcia długich ramek.
Długa ramka to ramka, której rozmiar przekracza dozwolone maksimum, biorąc pod uwagę fakt znakowania ramki. Nie ma znaczenia, czy ramka zawiera poprawną sumę kontrolną FCS. Błąd ten zwykle oznacza, że w sieci wykryto jabber.
Krótka ramka to ramka o długości mniejszej niż minimalna dopuszczalna długość (64 oktetów) z prawidłowym kodem kontrolnym ramki (FCS). Niektóre analizatory protokołowe i monitory sieciowe nazywają takie ramki „runtami". Ogólnie, obecność krótkich ramek nie musi oznaczać złego funkcjonowania sieci.
Angielski termin „runt" jest, ogólnie rzecz biorąc, nieprecyzyjnym, potocznym pojęciem oznaczającym elementy o wielkości mniejszej niż dozwolony rozmiar ramki. Może się on odnosić do krótkich ramek z poprawną sumą kontrolną FCS, mimo że z reguły odnosi się do fragmentów kolizyjnych.

6.2.8 Suma kontrolna FCS i nie tylko

Odebrana ramka, która ma nieprawidłową sekwencję kontrolną ramki, nazywaną również błędem sumy kontrolnej lub błędem CRC, różni się od pierwotnie wysłanej co najmniej jednym bitem. Jeśli chodzi o ramkę z błędem sumy FCS, informacje nagłówka są prawdopodobnie poprawne, lecz suma kontrolna obliczona przez stację odbierającą nie zgadza z sumą kontrolną dołączoną na końcu ramki przez stację wysyłającą. W takim wypadku ramka zostaje odrzucona.
Wysoka liczba błędów FCS pochodzących z jednej stacji zwykle wskazuje na wadliwą kartę sieciową i/lub wadliwy albo uszkodzony sterownik programowy bądź wadliwy kabel łączący tę stację z siecią. Jeśli błędy FCS pochodzą z wielu stacji, zwykle świadczy to o złym okablowaniu, wadliwej wersji sterownika karty sieciowej, wadliwym porcie koncentratora lub szumie indukowanym w systemie okablowania.
Wiadomość, która nie kończy się na granicy oktetu, jest znana pod nazwą błędu wyrównania. Zamiast prawidłowej liczby bitów tworzących grupy pełnych oktetów, występują bity dodatkowe (mniej niż osiem). Taka ramka jest przycinana do granicy najbliższego oktetu i, jeśli suma kontrolna FCS jest błędna, zgłaszany jest błąd wyrównania. Błąd ten często jest spowodowany złym sterownikiem lub kolizją oraz zazwyczaj towarzyszy mu błędna suma kontrolna FCS.
Odebrana ramka zawierająca poprawną wartość pola długości, lecz niezgodną rzeczywistą liczbę oktetów liczonych w jej polu danych, jest znana pod nazwą błędu zakresu. Błąd ten występuje również, gdy wartość pola długości jest mniejsza niż minimalny dozwolony rozmiar pola danych nieuwzględniający wypełnienia. Podobny

błąd określany terminem „poza zakresem" (ang. *Out of Range*) jest zgłaszany, gdy wartość pola długości wskazuje rozmiar danych większy od dozwolonego.
Firma Fluke Networks wprowadziła termin „zjawa" (ang. *ghost*) na oznaczenie energii (szumu) wykrywanej w kablu, która wydaje się ramką, ale brak jej poprawnego pola SFD. Aby ramka została zaklasyfikowana jako zjawa, jej długość, łącznie z preambułą, musi wynosić co najmniej 72 oktety. W przeciwnym razie przypadek taki jest klasyfikowany jako zdalna kolizja. Ze względu na szczególną naturę zjaw ważne jest zaznaczenie, że wyniki testów są w dużym stopniu zależne od tego, w którym miejscu segmentu dokonano pomiaru.
Przyczyną tych błędów są zazwyczaj pętle zerujące i inne problemy z okablowaniem. Większość narzędzi monitorujących sieć nie rozpoznaje istnienia zjaw z tego samego powodu, z którego nie rozpoznają kolizji preambuł. Narzędzia te polegają całkowicie na danych, które przekazuje im chipset. Błędy takie nie są zgłaszane przez programowe analizatory protokołowe, wiele bazujących na sprzęcie analizatorów protokołowych, podręczne narzędzia diagnostyczne, jak również przez większość próbników zdalnego monitorowania (RMON, ang. *remote monitoring*).

6.2.9 Autonegocjacja w sieci 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 półdupleksu lub pełnego dupleksu. 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.
Technologia 10BASE-T wymagała, żeby każda stacja wysyłała sygnał Link Pulse co około 16 milisekund, jeśli nie była zajęta nadawaniem wiadomości. Metoda autonegocjacji zaadoptowała ten sygnał i przemianowała go na sygnał Normal Link Pulse (NLP). Gdy seria sygnałów NLP jest przesyłana w grupie w celu autonegocjacji, grupa ta jest nazywana serią Fast Link Pulse (FLP). Każda seria FLP jest przesyłana w tym samym interwale czasowym co sygnał NLP, jej przeznaczeniem jest umożliwienie normalnej pracy urządzeniom opartym na starszej technologii 10BASE-T w wypadku, gdy powinny otrzymać serię FLP.
Autonegocjacja jest realizowane przez wysyłanie serii sygnałów Link Pulse standardu 10BASE-T przez każdego z partnerów połączeniowych. Seria przekazuje możliwości stacji nadającej do jej partnera połączeniowego. Kiedy obie stacje zinterpretują ofertę partnera, przełączają się na konfigurację o najwyższej wspólnej wydajności i ustanawiają połączenie z odpowiadającą jej szybkością transmisji. Jeśli komunikacja zostanie przerwana z dowolnego powodu i nastąpi utrata połączenia, obaj partnerzy połączeniowi w pierwszej kolejności próbują połączyć się ponownie z ostatnio wynegocjowaną szybkością. Jeśli to się nie powiedzie lub jeśli upłynęło zbyt dużo czasu od utraty połączenia, proces autonegocjacji zaczyna się od początku. Połączenie może zostać utracone na skutek czynników zewnętrznych, takich jak awaria kabla, lub na skutek zresetowania jednego z partnerów.

6.2.10 Ustalanie połączenia oraz tryby pełnego dupleksu i półdupleksu

Partnerzy połączeniowi mogą pominąć prezentację konfiguracji odpowiadającej ich możliwościom. Pozwala to administratorom sieciowym wymusić wybraną szybkość i tryb dupleksu portów bez wyłączania funkcji autonegocjacji.
Autonegocjacja jest funkcją opcjonalną w większości implementacji technologii Ethernet. Jego implementacji wymaga technologia Gigabit Ethernet, mimo że użytkownik może tę funkcję wyłączyć. Autonegocjacja była pierwotnie zdefiniowana dla implementacji technologii Ethernet opartych na okablowaniu UTP, a następnie została rozszerzona, tak by funkcjonowała z implementacjami światłowodowymi.
Gdy stacja biorąca udział w autonegocjacji próbuje po raz pierwszy nawiązać połączenie, powinna włączyć sygnalizację 100BASE-TX w celu podjęcia próby natychmiastowego ustanowienia połączenia. Jeśli sygnalizacja 100BASE-TX jest obecna, a stacja obsługuje standard 100BASE-TX, podjęta zostanie próba ustalenia połączenia bez negocjacji. Jeśli sygnalizacja spowoduje nawiązanie połączenia lub zostanie odebrana seria FLP, stacja będzie kontynuowała komunikację z wykorzystaniem tej technologii. Jeśli partner połączeniowy zamiast serii FLP nadaje sygnał NLP, automatycznie zakłada się, że urządzenie to jest stacją opartą na technologii 10BASE-T. Podczas tego początkowego interwału testowania obecności innych technologii ścieżka transmisyjna wysyła serie FLP. Standard nie zezwala na równoległe wykrycie jakiejkolwiek innej technologii.
Jeśli połączenie zostało ustanowione za pośrednictwem wykrywania równoległego, to połączenie musi być realizowane w trybie półdupleksu. Istnieją tylko dwie metody, za pomocą których można nawiązać połączenie w trybie pełnego dupleksu. Jedna z nich obejmuje pełen cykl autonegocjacji, zaś druga to administracyjne wymuszenie pracy obu partnerów połączeniowych w trybie pełnego dupleksu. Jeśli jeden z partnerów połączeniowych działa w wymuszonym trybie pełnego dupleksu, a drugi partner próbuje autonegocjacji, to pewne

jest wystąpienie niedopasowania dupleksu. Spowoduje to kolizje i błędy na tym łączu. Co więcej, jeśli tryb pełnego dupleksu został wymuszony po jednej stronie, musi być on wymuszony również po drugiej stronie. Wyjątkiem od tej reguły jest technologia 10 Gigabit Ethernet, która nie obsługuje trybu półdupleksowego. Implementacje sprzętowe wielu producentów realizują funkcje cyklicznego przechodzenia przez różne możliwe stany. Przez chwilę są wysyłane serie FLP w celu autonegocjacji, później sprzęt zostaje skonfigurowany w trybie Fast Ethernet, następnie przez pewien czas podejmowana jest próba połączenia, po czym urządzenie jedynie nasłuchuje. Niektórzy producenci nie uwzględniają żadnych aktywnych prób połączenia do czasu odebrania przez interfejs serii FLP lub innego schematu sygnalizacji.
Istnieją dwa tryby dupleksu: półdupleks i pełny dupleks. Dla mediów współdzielonych tryb półdupleksu jest obowiązkowy. Wszystkie implementacje oparte na kablu koncentrycznym są półdupleksowe z natury i nie mogą pracować w trybie pełnego dupleksu. Implementacje oparte na skrętce UTP i światłowodzie mogą pracować w trybie półdupleksu. Implementacje technologii 10 Gb/s zostały określone z uwzględnieniem jedynie trybu pełnego dupleksu.
W trybie półdupleksu w danym momencie może nadawać tylko jedna stacja. W implementacjach na kablach koncentrycznych druga nadająca stacja spowoduje nałożenie się sygnałów i ich zniekształcenie. Ponieważ w wypadku kabla UTP i światłowodu nadawanie odbywa się przede wszystkim za pomocą osobnych par przewodów, sygnały nie mają możliwości nakładania się i zniekształcania. Technologia Ethernet zawiera reguły arbitrażu służące do rozwiązywania konfliktów powstających w sytuacjach, gdy więcej niż jedna stacja próbuje nadawać w tym samym czasie. Jeśli chodzi o połączenia punkt-punkt w trybie pełnego dupleksu, każda ze stacji może nadawać w dowolnym czasie bez względu na to, czy druga stacja prowadzi w danym momencie transmisję. Autonegocjacja pozwala na uniknięcie większości sytuacji, w których jedna stacja w połączeniu punkt-punkt nadaje zgodnie z regułami półdupleksu, a druga nadaje w trybie pełnego dupleksu.