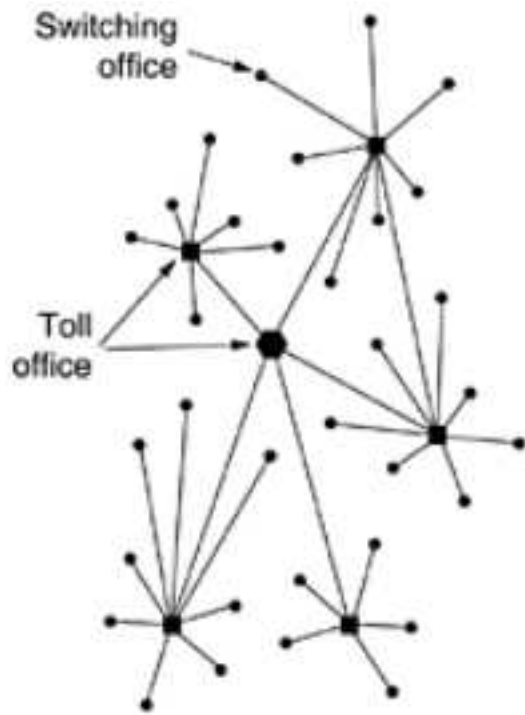
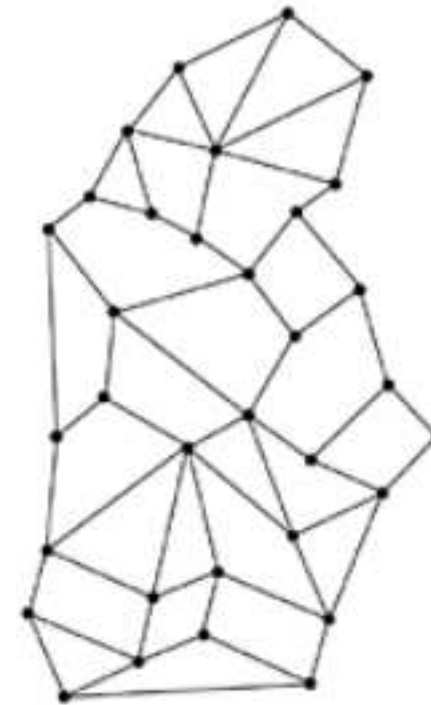


Topologie sieci komputerowych — WAN

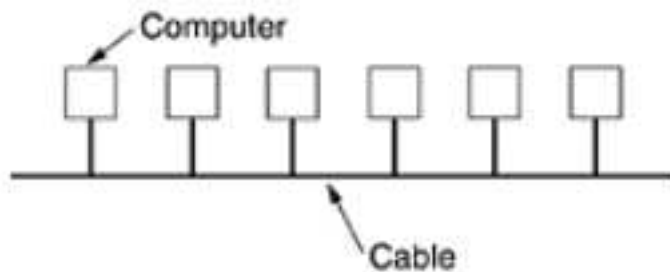


Topologia rozgałęzionej gwiazdy: ekonomicznie i technologicznie odpowiednia dla wczesnych sieci telefonicznych (centrale, wybieraki, zestawianie połączeń). Jednak awaria sieci w dowolnym punkcie dzieli sieć na dwie części, które nie mogą się komunikować.

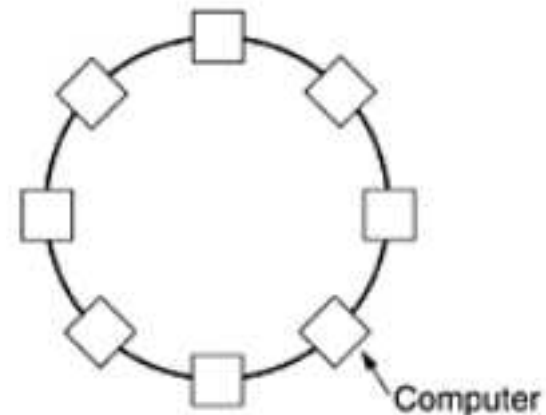


Topologia grafu luźno połączonego: posiada redundancję połączeń i ma możliwość zarówno radzenia sobie z awariami, jak i równoważenia ruchu w różnych częściach. Jednak wymaga bardziej zaawansowanych technologii. Jest to architektura współczesnych sieci komputerowych WAN.

Topologie sieci komputerowych — LAN



Topologia **magistrali** (ang. *bus*) łączy bezpośrednio wszystkich ze wszystkimi wspólnym medium transmisyjnym pracującym w podziale czasu. W danej chwili tylko jeden węzeł może nadawać, pozostałe muszą czekać. **Niezbędny jest mechanizm arbitrażu dla rozśądzenia konfliktów, zwanych kolizjami**, kiedy dwa lub więcej węzłów chce nadawać jednocześnie. Mechanizm arbitrażu może być zcentralizowany lub rozproszony.

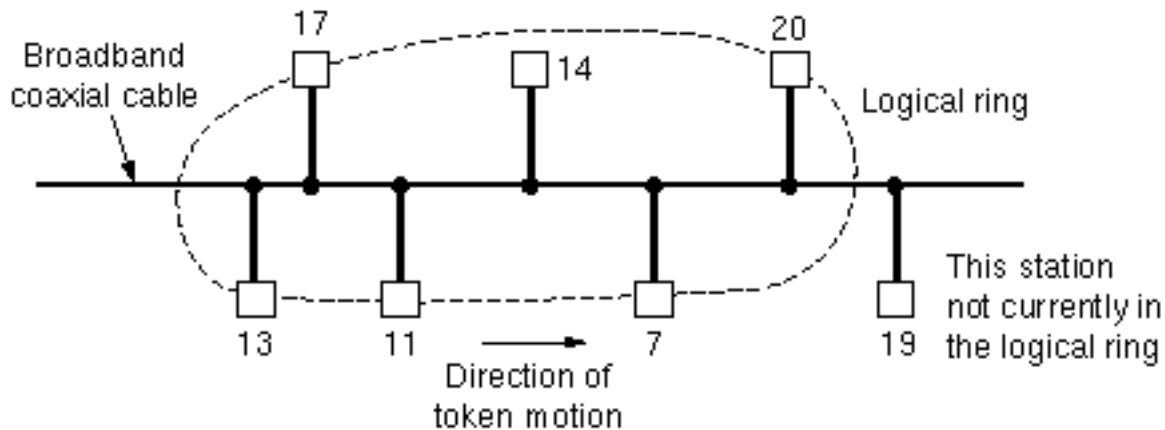


Topologia **pierścienia** łączy węzły sieci oddzielnymi segmentami. Pakiety krążą w jednym kierunku, a dostęp do sieci jest kontrolowany za pomocą specjalnego pakietu kontrolnego zwanego **żetonem** (*token*), przekazywanego od węzła do węzła. **Żeton rozwiązuje problem arbitrażu w sposób rozproszony**. Jednak awaria jednego węzła „kładzie” całą sieć. Kłopotliwa jest również rozbudowa i rekonfiguracja.

Arbitraż dostępu - reguła decyzji, która z konkurujących stron uzyska dostęp do sieci.

Topologie sieci komputerowych — LAN (cd.)

Topologie magistrali i pierścienia z żetonem posiadają pewne dopełniające się wady i zalety. Możliwe jest połączenie tych koncepcji w sieci o fizycznej topologii magistrali i logicznej topologii pierścienia z żetonem, zwanej **magistralą z żetonem** (*token bus*).

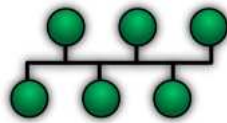


W powyższej sieci logiczną kolejnością przekazywania żetonu jest: 13-11-7-20-17. Węzły 14 i 19 nie należą do logicznego pierścienia.

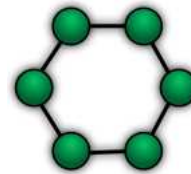
Topologie sieci komputerowych

Ogólnie można brać pod uwagę następujące topologie sieci komputerowych. Topologie te mogą być realizowane jako fizyczne lub logiczne.

magistrala (*bus*)



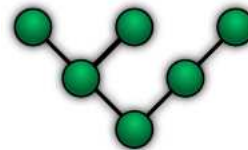
pierścień (*ring*)



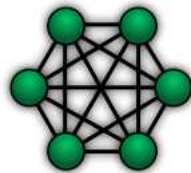
gwiazda (*star*)



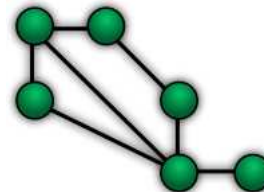
drzewo (*tree*)



siatka (*mesh*) pełna

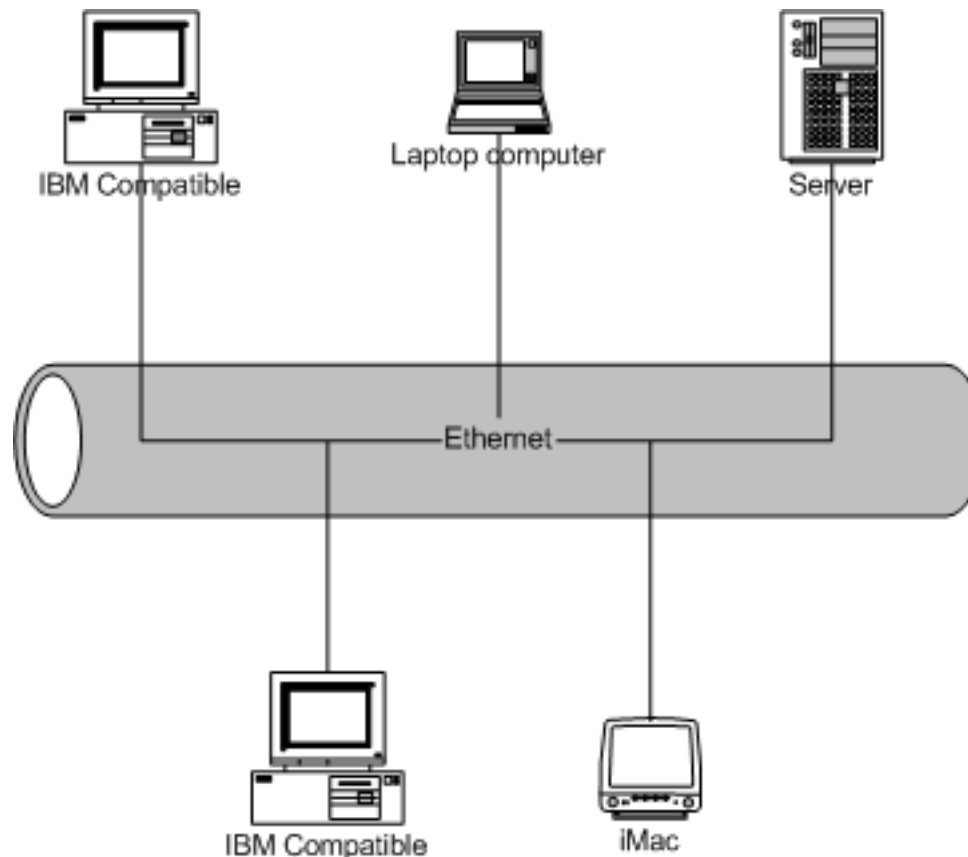


siatka (*mesh*) częściowa



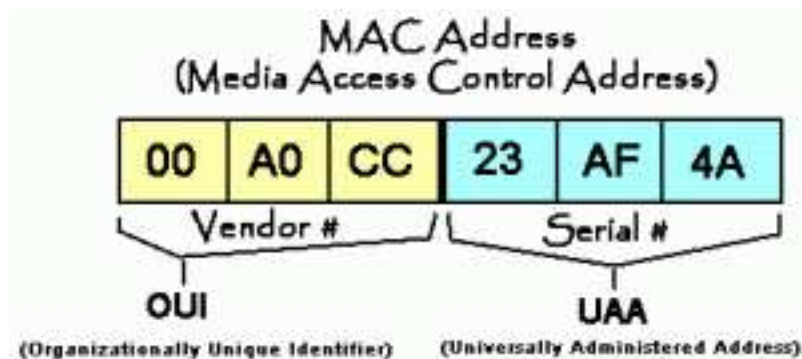
Technologia Ethernet

Ethernet jest niezwykle popularną technologią sieci komputerowych opracowaną w latach 1970-tych przez firmę Xerox. Jego specyfikacja została opublikowana w roku 1976. Powstało wiele unowocześnionych wersji, i **technologia Ethernet jest jedną z najpopularniejszych również w dzisiejszych sieciach komputerowych LAN.**



Adresowanie w sieci Ethernet

Oryginalnym rozwiązaniem zastosowanym w Ethernet jest przypisanie wszystkim urządzeniom 48-bitowych adresów, tzw. MAC (*Media Access Control*) unikalnych w skali światowej. Każde urządzenie sieci Ethernet ma na stałe przypisany własny adres, co pozwala włączać do sieci dowolne urządzenia i nie martwić się o przydział adresów. Administracją adresów początkowo zajmowała się firma Xerox, a obecnie przejęła ją organizacja IEEE. Bloki adresów przyznawane są firmom produkującym sprzęt Ethernet.



Celem takiej konstrukcji jest maksymalna prostota. Adres w sieci Ethernet nie ma żadnej struktury¹ i nie pełni żadnej roli poza identyfikacją. Jediną operacją wykonywaną na adresach jest porównanie wszystkich 48 bitów. Ogranicza to przetwarzanie adresów do minimum i redukuje do zera problem administracji adresami.

¹Nie jest to do końca prawda, ponieważ nawet w oryginalnej wersji Ethernet adres składający się z samych jedynek pełnił rolę adresu rozgłaszania (*broadcast*).

Arbitraż dostępu do sieci Ethernet

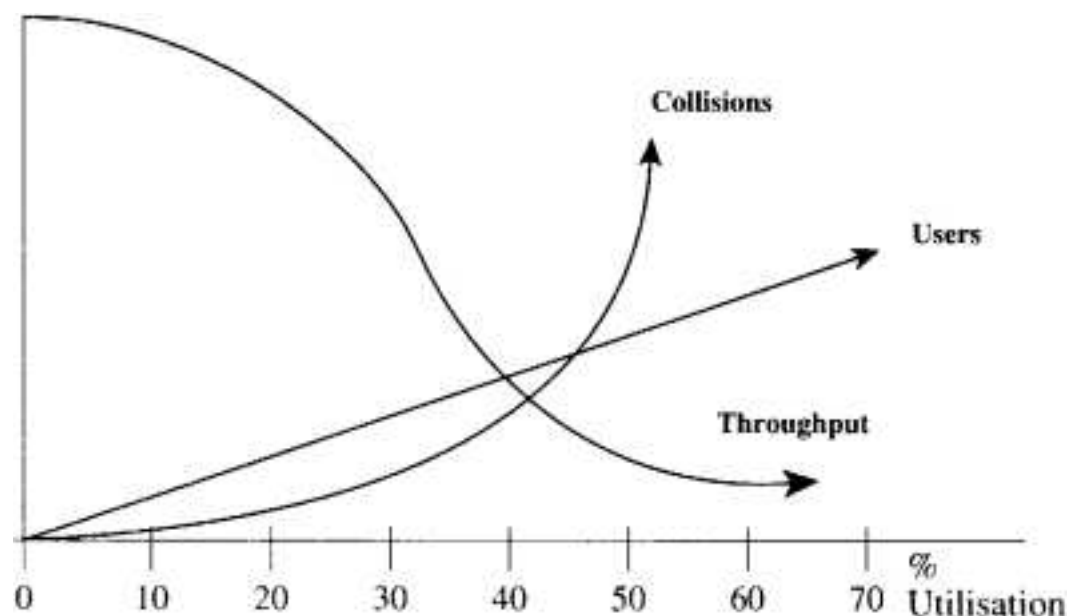
Jedną z kluczowych koncepcji działania Ethernet jest jego mechanizm arbitrażu dostępu do sieci. Ethernet jest siecią typu magistrali, to znaczy z **jednoczesnym dostępem wszystkich węzłów do sieci**, określaną jako CSMA/CD (*Carrier-Sense Multiple-Access/Collision Detection*).

Arbitraż dostępu do magistrali jest rozproszony i **polega na jednoczesnym nadłuchiowaniu przy próbie nadawania, w celu wykrycia ewentualnej kolizji**. Rozwiązaniem w przypadku wykrycia kolizji jest wstrzymanie nadawania przez obie strony na losowe okresy czasu, a w przypadku ponownej kolizji — wydłużanie tego okresu.

Istotną cechą (wadą) tego algorytmu jest niesprawiedliwość arbitrażu. Węzeł, któremu zdarzy się jedna lub więcej kolizji, jest „karany” stopniowo wydłużanym czasem oczekania.

Zjawisko nasycenia w sieci Ethernet

Niekorzystnym efektem rozproszonego mechanizmu arbitrażu w sieciach Ethernet jest lawinowo narastająca liczba kolizji przy dużym obciążeniu przez wiele stacji. Ponieważ ten mechanizm arbitrażu powoduje marnowanie pasma, przy dużej liczbie kolizji **duża część pasma jest marnowana**. Zjawisko jest szczególnie nasilone przy małych pakietach. Powoduje to niemożność wykorzystania pełnego pasma fizycznego sieci. Przy wielu węzłach transmitujących małe pakiety trudno w sieci Ethernet uzyskać wykorzystanie więcej niż 50% pasma.



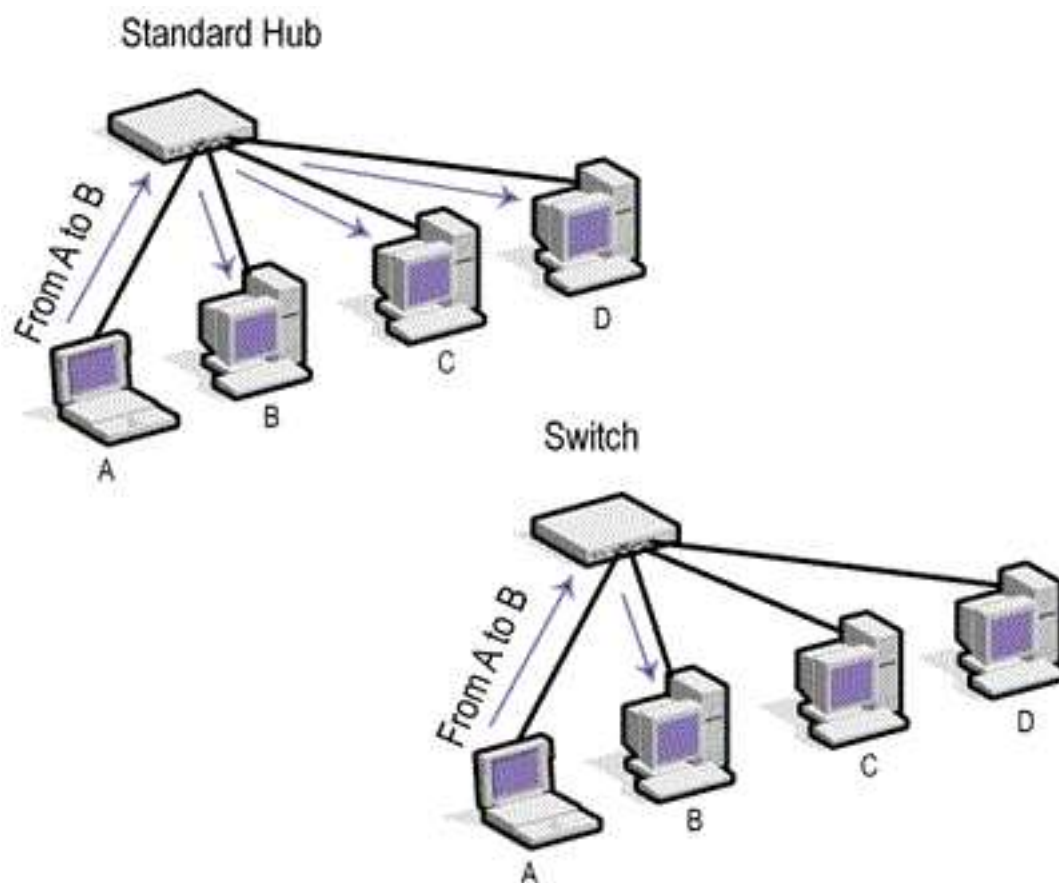
Ethernet: koncentratory i przełączniki

Zastosowanie w Ethernet topologii magistrali nie oznacza, że musi ona być zawsze realizowana za pomocą wspólnego fizycznego kabla. Urządzenia sieciowe zwane **koncentratorami** (*hub*) pozwalają łączyć komputery w topologię gwiazdy, z sygnałem propagowanym przez koncentrator do wszystkich odgałęzień. W tej topologii nadal istnieje niekorzystne zjawisko nasycania Ethernetu.

Przełącznik sieciowy (*switch*)

jest urządzeniem fizycznie podobnym do koncentratora. Jednak zamiast propagować sygnały na poziomie bitów, pracuje na poziomie pakietów, rozpoznaje adresy Ethernet, i uczy się adresów komputerów włączonych w poszczególnych odgałęzieniach.

Pozwala to na separację ruchu w segmentach sieci i praktycznie eliminuje zjawisko nasycania przy dużym obciążeniu w Ethernet.



Dygresja — czym się różnią: hub/switch/router

Wymienione urządzenia sieciowe: koncentratory (*hub*) i przełączniki (*switch*) są fizycznie podobne, pełnią podobne funkcje, a nawet mogą być stosowane zamiennie, pomimo iż technologicznie ich budowa jest bardzo różna. Jest jeszcze jedno urządzenie bardzo podobne do koncentratora lub przełącznika, które jest jeszcze bardziej zaawansowane technologicznie, i pełni trochę inne funkcje: **router**.



O ile koncentrator i przełącznik służą do łączenia sieci lokalnych (Ethernet), i mogą jedynie przekazywać ruch w ramach takiej sieci, router pracuje w warstwie wyższej. Rozpoznaje on wewnątrz przekazywanych pakietów adresy internetowe, i podejmuje decyzje do której sieci LAN przesłać dany pakiet. Decyzja ta jest oparta na wiedzy o topologii połączeń sieci, którą router musi znać. Ponieważ routera nie interesuje ruch w sieciach lokalnych, może on nawet mieć tylko jeden port sieciowy.

Real-time Ethernet

Istnieją współczesne standardy „real-time” Ethernet przystosowane do obsługi ruchu sieciowego w czasie rzeczywistym. Większość z nich są technologiami własnościowymi wprowadzonymi przez poszczególne firmy:

- Ethernet/IP (*Industrial Protocol*) jest protokołem komunikacyjnym warstwy aplikacyjnej, wykorzystującym standardowe rozwiązania Ethernet warstw niższych (fizycznej, sieciowej i transportowej)
- EtherCAT (*Control Automation Technology*) wykorzystuje tryb Master/Slave i działa w sieciach o topologii gwiazdy jak również magistrali, jednak bazuje na specjalizowanym sprzęcie
- Ethernet Powerlink wykorzystuje standardowe urządzenia Ethernet w trybie Master/Slave i również nie wymaga izolacji ruchu przez przełączniki sieciowe
- PROFINet jest rodziną standardów opartych na Ethernet, z wersją PROFINet-SRT (*Soft Real-Time*) umożliwiającą elementarną obsługę systemów czasu rzeczywistego, i PROFINet-IRT (*Isochronous RT*) zapewniających pracę hard-RT
- IEEE 1588 definiuje standard urządzeń Ethernet zawierających zegar wykorzystujący protokół PTP (*Precision Time Protocol*) i umożliwiający synchronizację węzłów sieci

Technologie Real-time Ethernet są aktywnie rozwijane.

Sieci pierścieniowe Token Ring/IEEE 802.5

Praca sieci pierścienia z żetonem *Token Ring* (technologia firmy IBM), lub 802.5 (standard IEEE):

1. Żeton jest tylko jeden i tylko jego posiadacz może nadawać.
2. Żeton jest przekazywany od węzła do węzła w określonym kierunku.
3. W czasie bezczynności sieci żeton krąży po niej w kółko.
4. Jeśli węzeł posiadający żeton chce nadawać, to przekształca żeton w nagłówek komunikatu, dodaje adres nadawcy i odbiorcy, oraz treść komunikatu, i puszcza go w dalszą drogę zamiast żetonu.
5. Gdy komunikat dotrze do węzła odbiorcy, ten odbiera komunikat, podmienia bity kontrolne by poinformować nadawcę, że komunikat został odebrany, i puszcza ramkę dalej do sieci.
6. Gdy oryginalny nadawca otrzymuje swoją ramkę z potwierdzeniem odbiorcy, kasuje jej treść, przekształca ramkę z powrotem w żeton, i wprowadza go znowu do sieci.

Priorytetowa transmisja Token Ring/IEEE 802.5

Standard Token Ring/IEEE 802.5 przewiduje w żetonie/nagłówku komunikatu trzy bity przeznaczone na priorytet komunikatu. Mogą one być ignorowane w normalnej transmisji, lub mogą być wykorzystane do realizacji arbitrażu globalnego priorytetu, według poniższego schematu:

1. W żetonie/nagłówku komunikatu jest pole priorytetu, oraz bit trybu transmisji. Trybem transmisji może być: tryb rezerwacji/nadawania i tryb wolny.
2. W trybie rezerwacji trwa transmisja danych. Węzeł nadawcy tworzy ramkę komunikatu, a w nagłówku odpowiadającym żetonowi ustawia priorytet swojego komunikatu, oraz bit trybu na rezerwację.
3. Tryb rezerwacji oznacza, że w czasie propagacji komunikatu, każdy węzeł, który ma do nadania komunikat o wyższym priorytecie, wpisuje ten priorytet do nagłówka, ale propaguje dalej oryginalną ramkę danych. W ten sposób jednak rezerwuje własną transmisję na kolejny cykl.
4. Gdy ramka powraca do węzła jej nadawcy, ten zamienia ją z powrotem na żeton, ustawia bit trybu na tryb wolny, i wprowadza żeton do sieci.
5. Gdy żeton dotrze do węzła z komunikatem do nadania o priorytecie równym priorytetowi w żetonie, ten wie, że wygrał rezerwację, i rozpoczyna nadawanie.

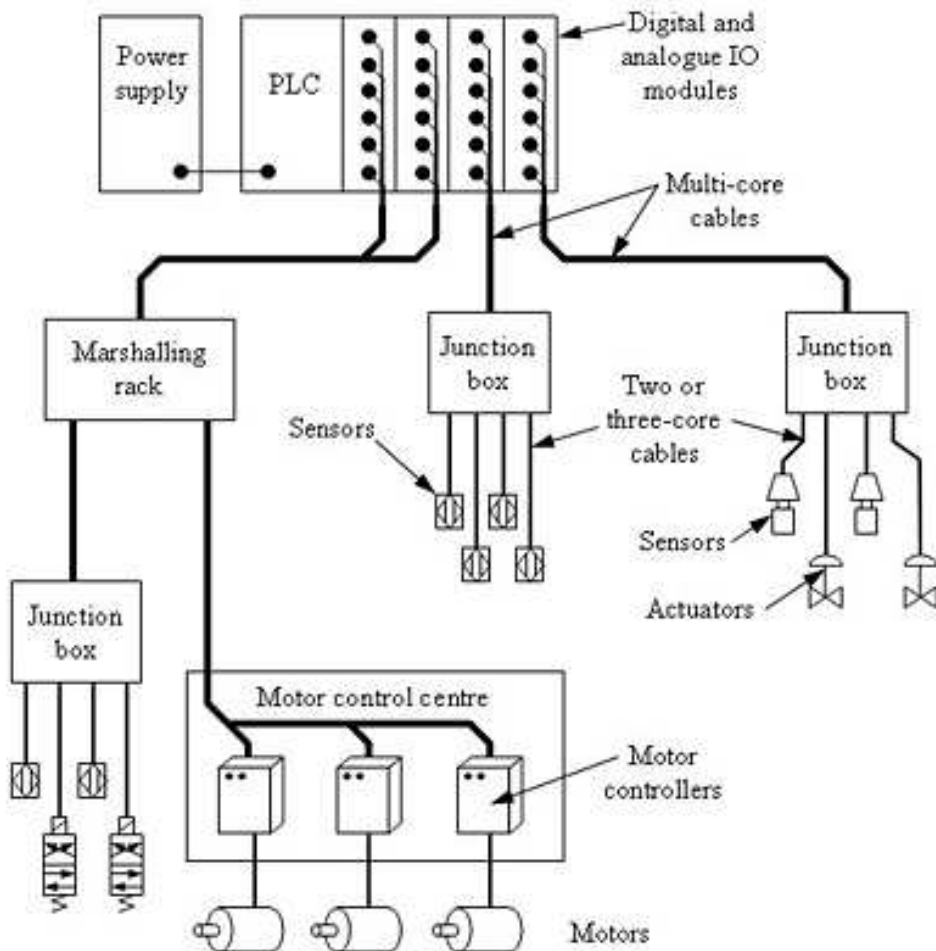
Przemysłowe sieci komputerowe

W odpowiedzi na zapotrzebowanie przemysłowe na standardy połączeń różnych urządzeń muszących się komunikować na terenie np. zakładu przemysłowego powstało wiele technologii i standardów odpowiadającej takim potrzebom.

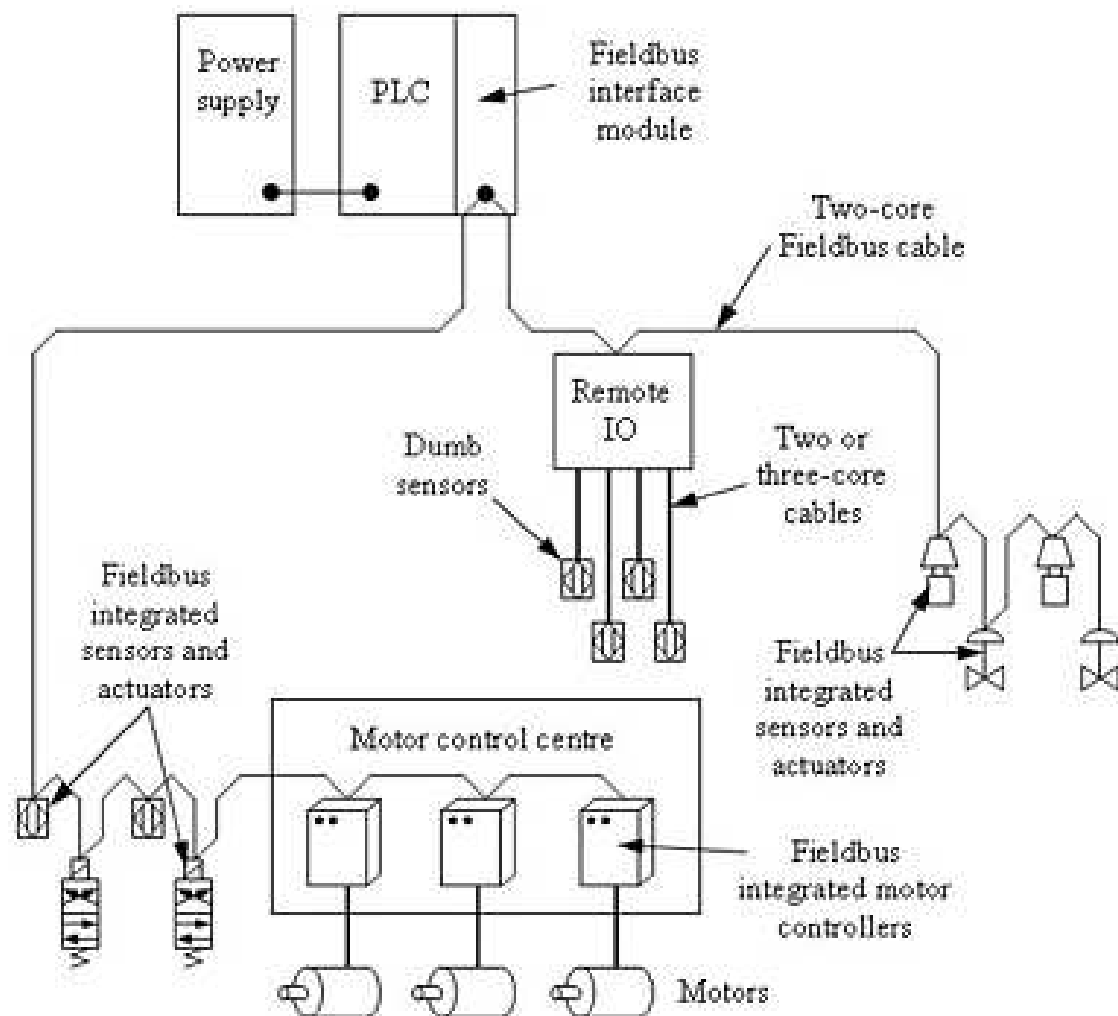
Wiele z nich łączy wspólne pojęcie **Fieldbus**, częściej pisane małą literą - **fieldbus**, ponieważ nie jest to nazwa własna żadnej konkretnej technologii ani urządzenia, ale raczej nazwa pewnej klasy sieci łączącej cyfrowe urządzenia elektroniczne. Nazwą **Field Devices** określa się czujniki i elementy wykonawcze, oraz ich sterowniki, działające na terenie zakładu.

Typowym trybem transmisji w sieciach fieldbus jest transmisja szeregową, z podziałem pasma w czasie. Dane są zwykle transmitowane w małych paczkach. Wybór trybu szeregowego ponad inne tryby wynika z pewnych zalet, na przykład kosztu okablowania.

Ogólnie, określenie fieldbus oznacza przemysłowe sieci sterowania.



Tradycyjne okablowanie systemu przemysłowego typu point-to-point wymaga ekstensywnego okablowania, złączy, i ma wiele punktów zawodności.



Architektura fieldbus ma minimalne wymagania dotyczące okablowania i złączy, a dzięki modularnym sterownikom wbudowanym w każde urządzenie pozwala na jednolite standardy komunikacji, monitorowania, zgłaszania błędów, itp.

Architektura Fieldbus

Sieci Fieldbus stanowi wiele technologii wykorzystywanych w przemyśle motoryzacyjnym, automatyce i robotyce, oraz sterowania procesami.

Istnieją sieci Fieldbus własnościowe objęte patentami, licencjami i zastrzeżeniami konkretnych firm.

Istnieją również sieci Fieldbus otwarte, których pełna specyfikacja jest opublikowana i dostępna (może być za niewygórowaną opłatą), dla której istnieją dostępne podstawowe komponenty (np. sterowniki), oraz istnieją dobrze opracowane, dostępne dla wszystkich użytkowników procedury walidacji.

Zalety architektury Fieldbus

Ogranicza złożoność systemów sterowania w sensie warstwy sprzętowej.

Prowadzi do ograniczenia złożoności systemów sterowania; projektowanie jest prostsze, bardziej wydajne, i w efekcie tańsze.

Wybór dobrze rozpowszechnionego systemu prowadzi do zamienności wyposażenia i podzespołów między różnymi dostawcami.

Ograniczone są również problemy z łączami, kompatybilnością, itp.

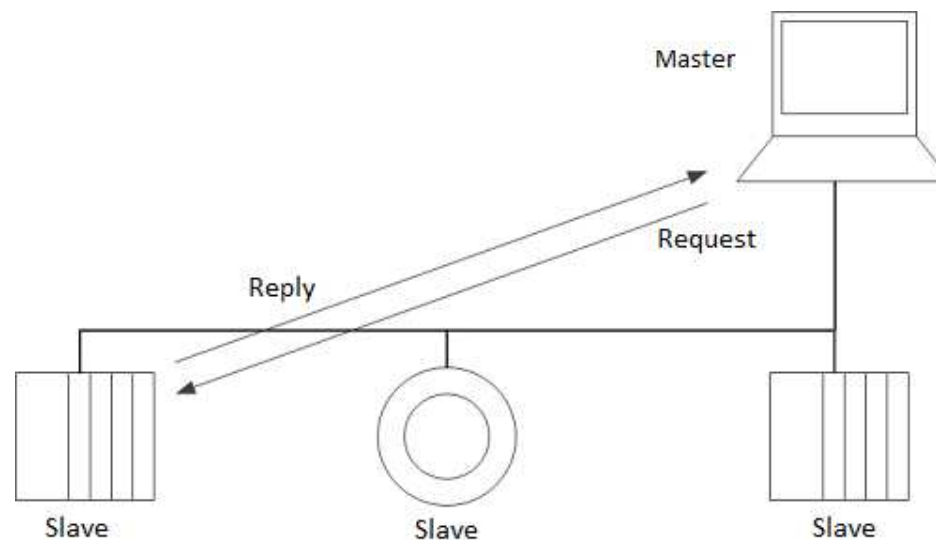
Przykłady technologii Fieldbus

- AS-Interface: Europa, standard otwarty
- CAN bus: Niemcy, standard początkowo opracowany i otwarcie publikowany przez Bosch, następnie wydany jako standard ISO
- Interbus: Niemcy, Phoenix Contact, otwarty system
- Profibus: Niemcy, Siemens
- ModBus: U.S.A., Modicon
- ControlNet: U.S.A., Allen-Bradley/Rockwell, otwarty system sterowania

Modbus

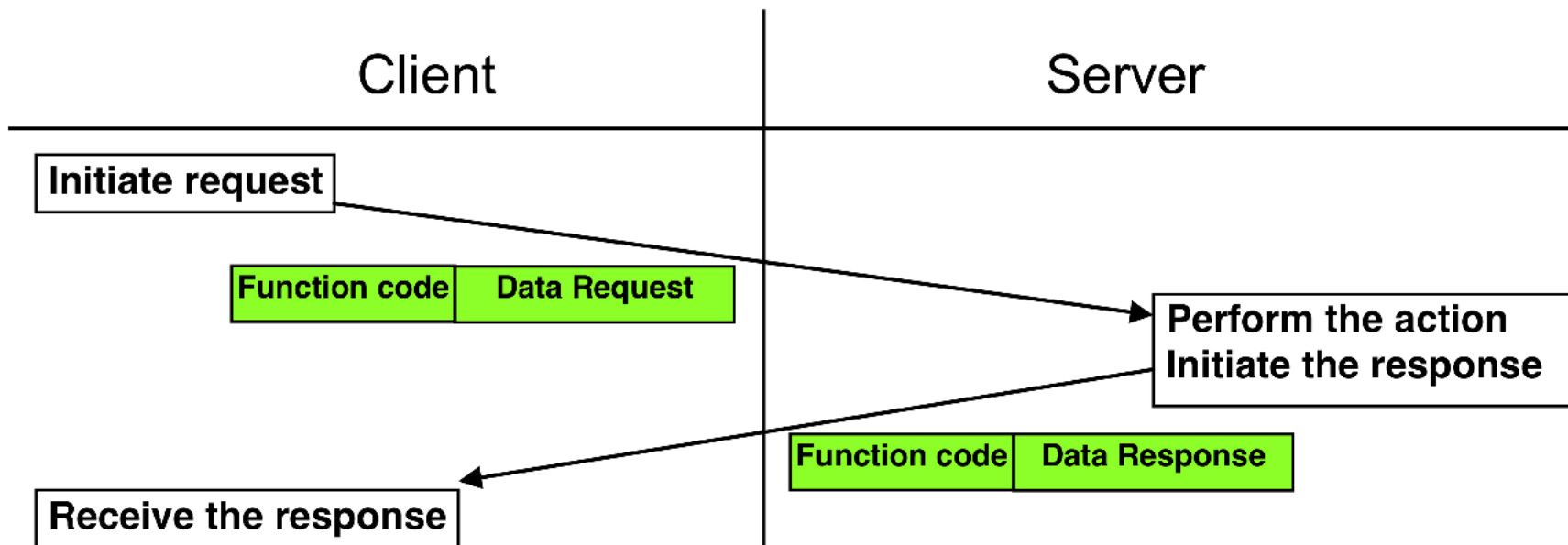
Modbus jest protokołem komunikacyjnym warstwy aplikacyjnej opracowanym przez firmę Modicon w roku 1979. Został opracowany do komunikacji urządzeń nadzorujących z programowalnymi sterownikami w systemach sterowania i pozyskiwania danych (*Supervisory Control And Data Acquisition* — SCADA).

Jest używany w wielu aplikacjach gdzie ma zastosowanie tryb Zapytanie-Odpowiedź, np. do zarządzania i monitorowania urządzeń przemysłowych, w komunikacji między inteligentnymi sterownikami a czujnikami, do monitorowania zdalnych urządzeń za pomocą komputerów dostępowych. Jest stosowany w automatyce przemysłowej, budownictwie, transporcie, energetyce, i innych zastosowaniach.



Komunikacja Modbus

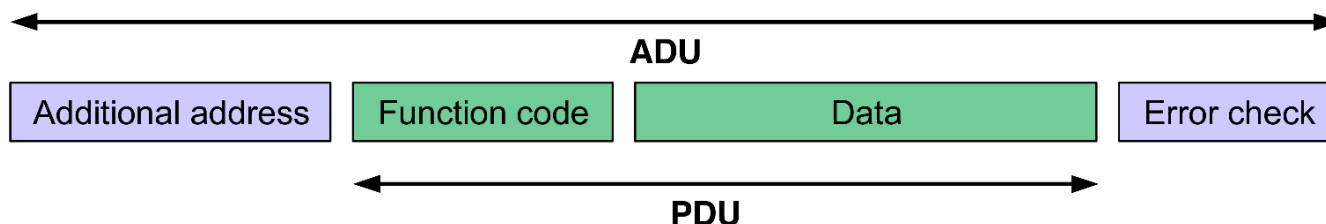
Protokół Modbus działa zgodnie z architekturą Klient/Serwer (dawniej zwaną Master-Slave, ale tę terminologię odrzucono ze względów politycznych). Element zarządzający pełni rolę Klienta i może komunikować się z wieloma Serwerami, które są sterownikami lub urządzeniami pomiarowymi. Stroną aktywną jest zawsze Klient i wysyła on do Serwera żądanie danych, albo żądanie wykonania pewnego działania. Klient rozpoczyna komunikację wysyłając kod funkcji reprezentujący typ transakcji. Transakcje protokołu Modbus określają proces komunikacji między urządzeniami, sposób w jaki zgłaszają żądania, wysyłają odpowiedzi i komunikaty o błędach. Modbus dostarcza wspólnego formatu dla tych komunikatów.



Komunikacja Klient-Serwer oznacza, że tylko jedno urządzenie — Klient — może zainicjować transakcję. Drugie urządzenie — Serwer — odpowiada wysyłając odpowiedź, lub potwierdzenie podjęcia działania. Typowymi urządzeniami Klient są komputery sterujące i panele programowania, a typowymi urządzeniami Serwer są sterowniki programowalne.

W czasie komunikacji w sieci Modbus, protokół określa w jaki sposób każdy sterownik będzie znał swój adres urządzenia, rozpozna komunikat do niego adresowany, określi działanie, które musi podjąć, i zdekoduje dane zawarte w komunikacie.

Format komunikatu Modbus zwany jest PDU (*Protocol Data Unit*) i składa się z dwóch pól: kodu funkcji do wykonania i danych określających parametry tej funkcji. Komunikat PDU jest wysyłany w kopercie zwanej ADU (*Application Data Unit*), która dołącza do komunikatu pole adresu odbiorcy specyficzne dla wykorzystywanej warstwy transportowej, oraz pole przeznaczone na kontrolę/raportowanie błędów.

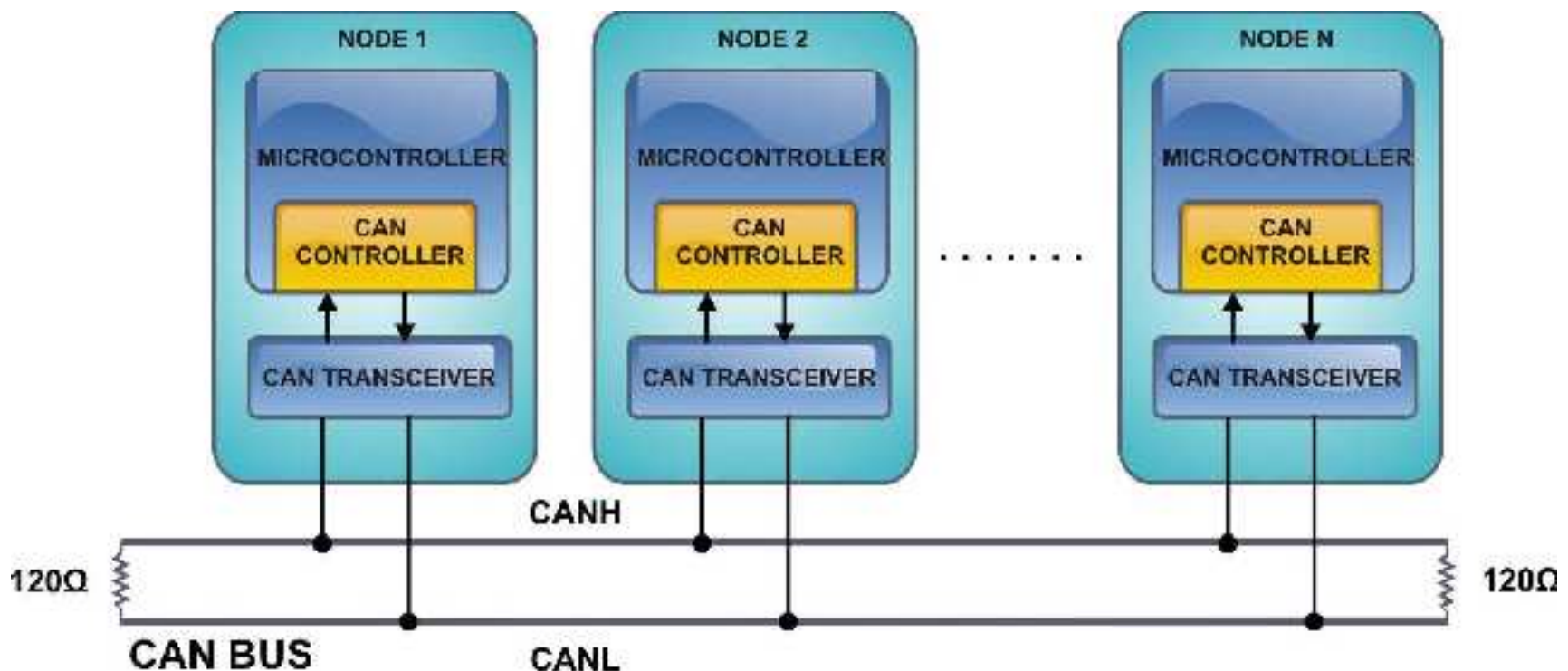


Warstwa transportowa w Modbus

Modbus może działać z różnymi technologiami sieciowymi warstwy transportowej. Pierwotna implementacja Modbus zakładała warstwę transportową zrealizowaną za pomocą łącza szeregowego RS232/RS485. Współczesna wersja Modbus RTU wykorzystuje tę technologię jako warstwę transportową. Jednocześnie bardzo popularna stała się wersja Modbus TCP wykorzystująca TCP jako protokół warstwy transportowej.

CANbus

CANbus jest magistralą komunikacyjną opracowaną przez firmę Bosch dla potrzeb przemysłu samochodowego, która szybko zyskała akceptację w przemyśle motoryzacyjnym i lotniczym. CANbus jest szeregowym protokołem magistralowym do łączenia poszczególnych systemów i czujników oryginalnie pomyślanym jako alternatywa do konwencjonalnych wiązek wielożyłowych. Pozwala podzespołom na komunikowanie się po jedno- lub dwuprzewodowej magistrali danych do 1Mbps.



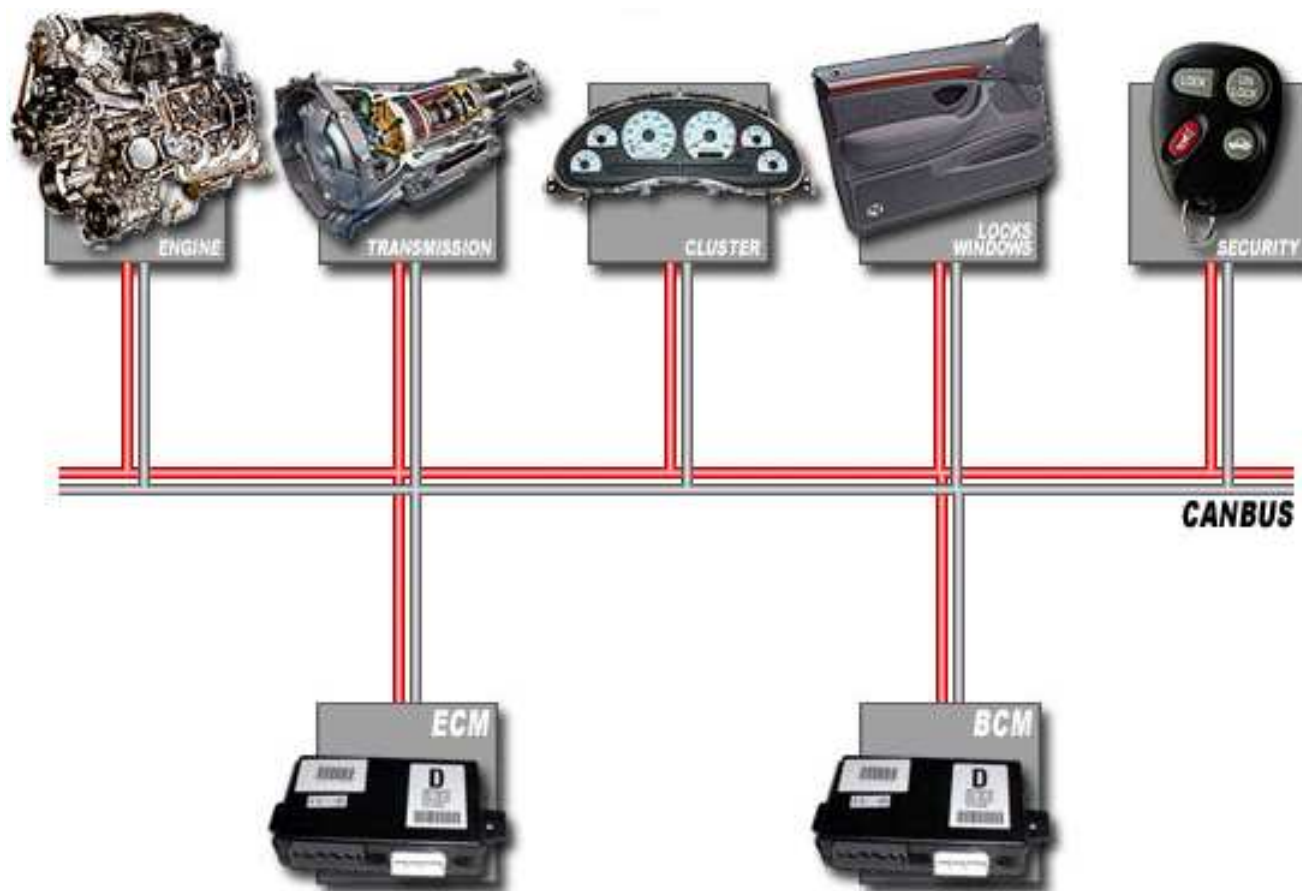
Motywacja wprowadzenia CANBUS

Od połowy XX-go wieku technologie motoryzacyjne zwiększały udział elektroniki w konstrukcjach samochodów wprowadzając coraz większą liczbę komponentów elektronicznych, i związanych z nimi funkcji. Elementy elektroniczne zastępowały systemy mechaniczne i dostarczały dodatkowe udogodnienia i funkcje bezpieczeństwa. Powodowało to nieograniczony wzrost okablowania i związanych z tym kosztów oraz awaryjności.



Wprowadzenie magistrali CAN

BMW 850 coupe wprowadzony na rynek w 1989 roku był pierwszym pojazdem wyposażonym w magistralę CANbus (aczkolwiek bardziej rozbudowaną sieć CANbus — 5 węzłów — wprowadził Mercedes w 1992). Nowa technologia pozwoliła ograniczyć ilość okablowania o ponad 2 kilometry, wagę samochodu o ponad 50 kg, a liczbę złączy o połowę. Pozwoliła podzespołom komunikować się z prędkością 25kbps-1Mbps.



CANBus — masowy rozwój

Oczywiście wprowadzenie nowej technologii CANbus początkowo wymusiło również zwiększenie kosztu wszystkich podzespołów, które teraz musiały zawierać interfejs CANbus. Między innymi, wyeliminowało to dostawców niezależnych, którzy nie byli w stanie ponieść kosztów wdrożenia nowej technologii.

Jednak CANbus odniósł wielki sukces, przede wszystkim ze względu na to, że jest dobrą technologią, odpowiadającą potrzebom pojawiającym się w wielu konstrukcjach, jak również ze względu na opublikowanie specyfikacji przez firmę Bosch i objęcie jej standardami międzynarodowymi.

Obecnie wszystkie większe rynki samochodowe (U.S.A., U.E., i inne) wymagają aby wszystkie sprzedawane tam samochody były wyposażone w CANbus.

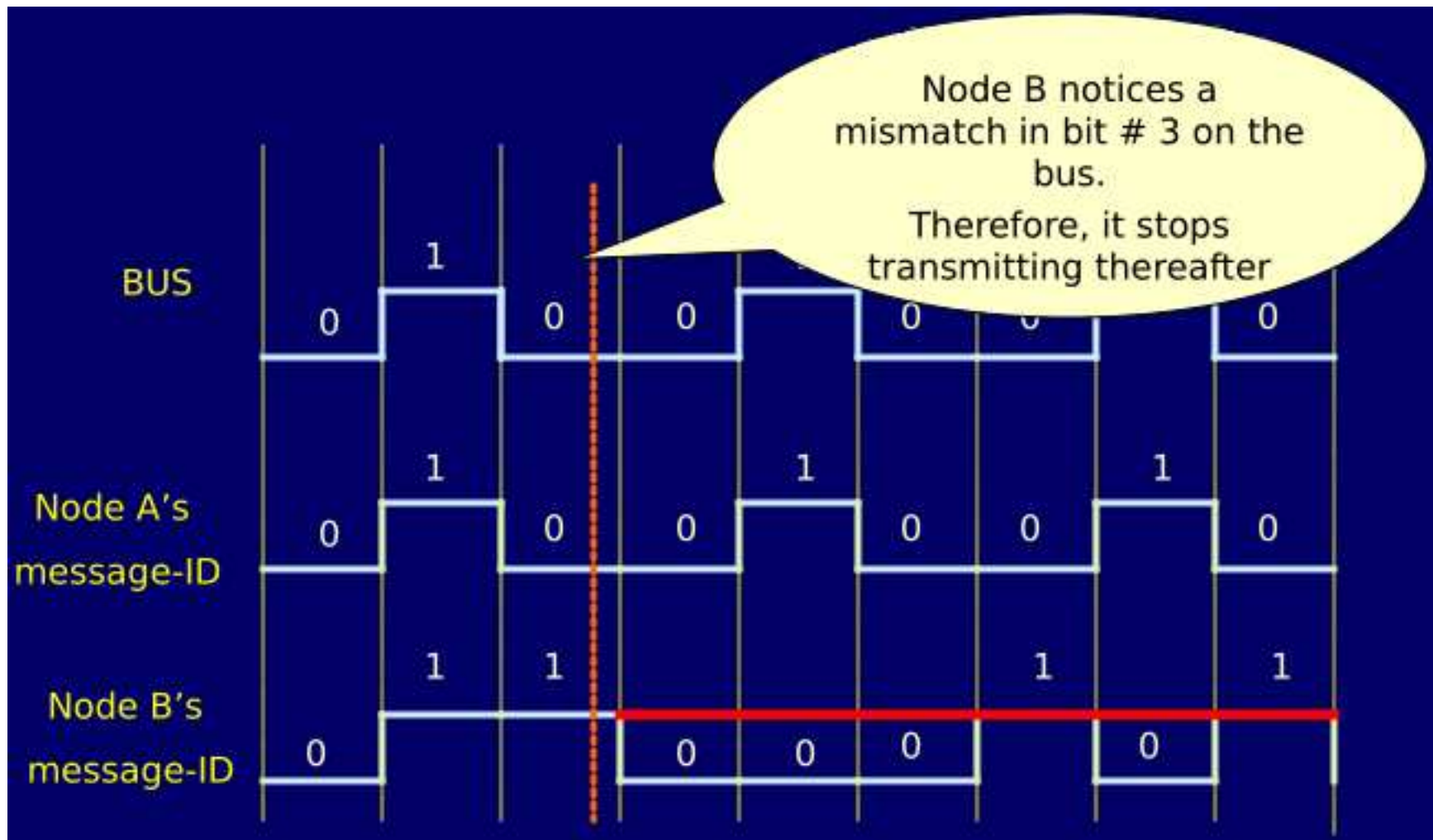
CANBus — szczegóły techniczne

W przeciwieństwie do tradycyjnych sieci, takich jak USB lub Ethernet, CANbus nie wysyła dużych bloków danych, z węzła A do węzła B pod nadzorem centralnego zarządcy sieci. W sieci CAN przesyłane są krótkie komunikaty, zawierające takie dane jak temperatura, albo liczba obrotów silnika. Te komunikaty są transmitowane do całej sieci, co zapewnia spójność danych w każdym węźle systemu.

Protokół komunikacyjny CAN jest protokołem magistralowym z jednoczesnym dostępem i wykrywaniem kolizji, podobnie jak Ethernet, dodatkowo uzupełnionym o arbitraż oparty na priorytecie komunikatu (CSMA/CD+AMP — *Carrier-Sense Multiple-Access Collision Detection with Arbitration on Message Priority*).

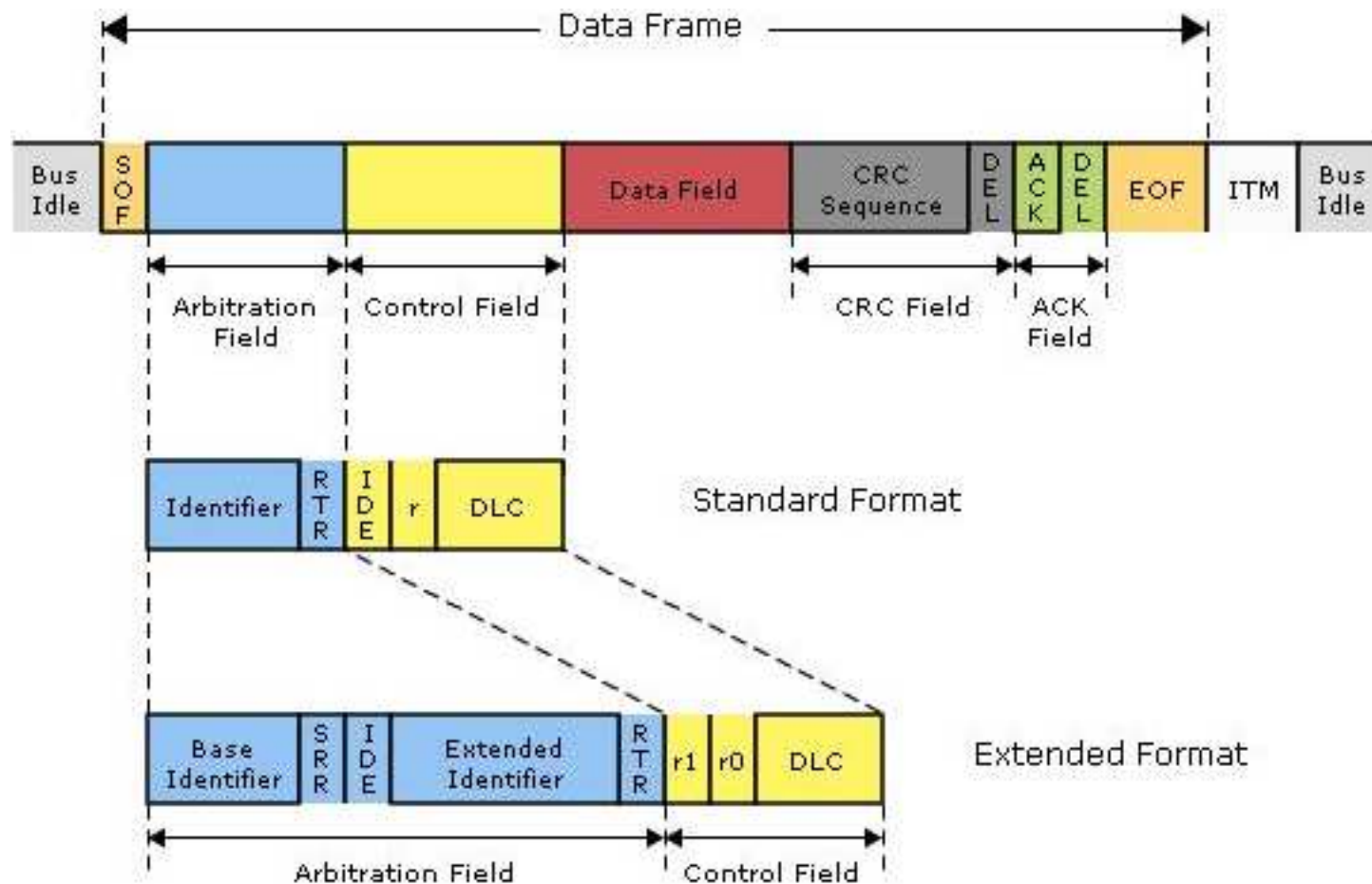
CSMA oznacza, że każdy węzeł magistrali musi czekać na okres bezczynności sieci przed przystąpieniem do transmitowania wiadomości. CD+AMP oznacza, że kolizje są wykrywane i automatycznie rozstrzygane przez arbitraż bitowy, w oparciu o zaprogramowany priorytet każdego komunikatu, określonego w polu identyfikatora komunikatu. **Identyfikator o wyższym priorytecie zawsze wygrywa dostęp do magistrali.**

Wyższy priorytet jest związany z identyfikatorem o mniejszej wartości. Porównanie jest wykonywane bitowo: nadawca który ma najwięcej zer na początku identyfikatora **wygrywa**. Działa to dzięki zastosowaniu elektroniki o wysokim stanie, gdzie połączenie stanu wysokiego (pasywnego) i niskiego (aktywnego) powoduje, że wygrywa niski.



Komunikaty CANBus

Standard ISO-11898:2003 definiuje podstawowy format komunikatu CANbus z 11-bitowym identyfikatorem (maks. $2^{11} = 2048$ różnych identyfikatorów). Został on później uzupełniony o format z rozszerzonym 29-bitowym identyfikatorem (2^{29} , czyli 537 miliony różnych identyfikatorów).



Protokoły wyższego rzędu korzystające z CANbus

Podstawowy standard CANbus definiuje protokół sprzętowy, albo odpowiednik warstwy fizycznej modelu sieci. Można za jego pomocą przesyłać komunikaty zawierające od jednego do ośmiu bajtów danych. Możliwe są również inne komunikaty, które nie zawierają danych ale pełnią pomocnicze funkcje kontrolne (np. potwierdzenie).

Istnieje szereg standardów komunikacji wyższego poziomu wykorzystujące CANbus jako warstwę fizyczną.

CANopen — protokół komunikacyjny wyższego poziomu wykorzystywany szeroko w sieciach wbudowanych w zastosowaniach przemysłowych czasu rzeczywistego w: robotyce, elektronice medycznej, transporcie, lotnictwie, itp.

CAN FD — (*CAN Flexible Data-rate*) uzupełniona specyfikacja dopuszczająca do 64 bajtów danych w komunikatach magistrali CANbus z elastyczną prędkością przesyłania powstała w odpowiedzi na eksplozję w zastosowaniach CANbus; jednak zapewnia elastyczność polegającą na możliwości współistnienia urządzeń CAN FD i podstawowego CANbus w jednej sieci

SAE J1939 — rodzina standardów przeznaczona do wykorzystania w pojazdach transportu ciężkiego

CCP/XCP — CCP jest protokołem służącym do kalibracji urządzeń sterujących i pozyskiwania danych przez CANbus (*CAN Calibration Protocol*)

Sieci komputerowe czasu rzeczywistego

Sieć komputerowa czasu rzeczywistego musi zapewniać deterministyczne czasy transmisji i odpowiedzi. Większość technologii sieciowych nie była projektowana dla celów systemów czasu rzeczywistego. W związku z tym często nie spełniają one podstawowego wymagania istniejącego w systemach czasu rzeczywistego, jakim jest przewidywalność czasu transmisji i/lub odpowiedzi. Obecnie silnie rozwijane są technologie sieci komputerowych czasu rzeczywistego.

Wiele z nich opartych jest na technologii Ethernet. Część gwarantuje spełnienie twardych wymagań czasu rzeczywistego. Istnieją również rozwiązania oparte na innych technologiach, takich jak FireWire.

Większość istniejących technologii sieci czasu rzeczywistego stanowią propozycje konkretnych producentów, natomiast brak jeszcze sprawdzonych i ogólnie przyjętych standardów. Powoduje to, że budowa rozwiązań opartych na tych technologiach jest trudna, bo nie ma gwarancji długofalowej stabilności. W tej sytuacji zainteresowaniem cieszą się projekty i rozwiązania o charakterze akademickim, często udostępniane na licencjach typu otwartego oprogramowania. Przykładowym takim projektem jest RTnet opracowany na uniwersytecie w Hannoverze.

Sieci bezprzewodowe

Sieć bezprzewodowa to sieć komputerowa wykorzystująca bezprzewodowe połączenia danych między węzłami sieci [Wikipedia].

Sieci bezprzewodowe pozwalają domom, sieciom telekomunikacyjnym i innym instalacjom komercyjnym uniknąć kosztownego procesu wprowadzania kabli do budynków, albo na długie odległości.

Implementacja bezprzewodowa ma zwykle miejsce w warstwie fizycznej modelu ISO/OSI. Teoretycznie oznacza to, że pozostałe warstwy sieci, wykorzystywane w nich standardy i technologie ich implementacji, mogą być niezależne od realizacji fizycznej. Jednak wiele sieci bezprzewodowych wykorzystuje architektury specyficzne dla łączności bezprzewodowej i jej wymagań. Różne bywają też zastosowania takich sieci.

Jednak nie zawsze jest to prawdą. Na przykład, sieci WLAN (Wireless LAN) bywają implementowane wymiennie z sieciami przewodowymi LAN. Określenie WiFi bywa stosowane w szerokim sensie jako synonim sieci WLAN. (W wąskim, technicznym sensie jest to rodzina protokołów sieci WLAN oparta na rodzinie standardów IEEE 802.11.)

Przykładami sieci bezprzewodowych są: sieci WLAN, telekomunikacyjne sieci komórkowe, satelitarne, naziemne sieci mikrofalowe, oraz bezprzewodowe sieci czujników (*WSN — Wireless Sensor Networks*).

Specyficzne cechy i własności sieci bezprzewodowych

Bezprzewodowa komunikacja może być oparta na transmisji w podczerwieni, albo (najczęściej) transmisji radiowej. Jedne i drugie posiadają trudne do przekroczenia ograniczenia odległości pomiędzy komunikującymi się węzłami.

ograniczenie zasięgu

W przypadku transmisji radiowej ograniczenie zasięgu transmisji jest zależne od wykorzystywanego pasma częstotliwości. W celu realizacji transmisji na większe odległości technologie radiowe mogą używać dużej sprawności anten kierunkowych, a także fizycznych efektów odbicia fal radiowych od tropo- i jonosfery.

W każdym przypadku (a w przypadku transmisji w podczerwieni IrDA wyłącznie) można stosować stacje retransmisyjne (*repeaters*), w szczególności satelitarne.

ograniczenie przepływności (*bandwidth*)

podatność na zakłócenia/celowe zagłuszanie

Technologie sieci bezprzewodowych

Popularnymi technologiami są:

- IrDA - prędkość do 4 Mbit/s, zasięg max kilka metrów plus konieczna widzialność komunikujących się węzłów (*line-of-sight*)
- Bluetooth - pasmo 2.4 GHz, prędkość do 1Mb/s, zasięg max 10 metrów dla standardowego Bt (2.5 mW), i do 100 metrów dla przemysłowego Bt (100 mW) najczęściej stosowany w transmisji typu 1:1 aczkolwiek standard przewiduje sieci do 8 węzłów: jednego węzła Master i do 7 węzłów Slave
- ZigBee - bardzo rozpowszechniony standard przemysłowy definiujący stos protokołów sieciowych bazujących na standardzie transmisji IEEE 802.15.4, pasmo 900 MHz lub 2.4 GHz, zasięg poniżej 1000 metrów, prędkość poniżej 1MB/s, obejmuje sieci o topologii gwiazdy lub drzewa, z jednym węzłem koordynatora
- LoRa (*Long Range*) - nowy, szybko zyskujący popularność system łączności na odległości rzędu kilkunastu kilometrów, pracujący w wolnych od licencji pasmach częstotliwości poniżej 1 GHz; wykorzystuje topologię **rozszerzonej gwiazdy** (*star-of-stars*) i specjalnej techniki modulacji falowej minimalizującej użycie energii
- IEEE 802.11 (WiFi)
- GSM

Porównanie popularnych radiowych standardów sieciowych

Feature(s)	IEEE 802.11b	Bluetooth	ZigBee
Power Profile	Hours	Days	Years
Complexity	Very Complex	Complex	Simple
Nodes/Master	32	7	64000
Latency	Enumeration up to 3 Seconds	Enumeration up to 10 seconds	Enumeration 30ms
Range	100 m	10m	10m-300m
Extendibility	Roaming Possible	No	YES
Data Rate	11Mb/s	1Mb/s	250kb/s
Stack size	100+ kbyte	100+ kbyte	8-60 kbyte
Topology	Star	Star	Star, cluster, mesh
Security	Authentication Service Set ID (SSID), WEP	64 bit, 128 bit	128 bit AES and Application Layer user defined

