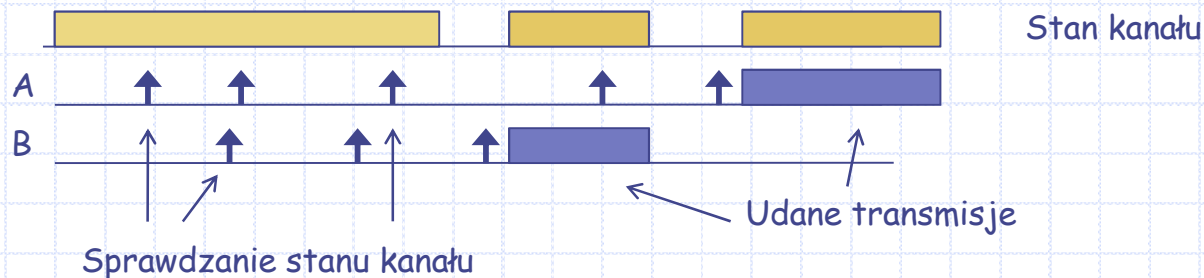


# Sieci Komputerowe

Miroław Skrzewski  
[mskrzewski@polsl.pl](mailto:mskrzewski@polsl.pl)

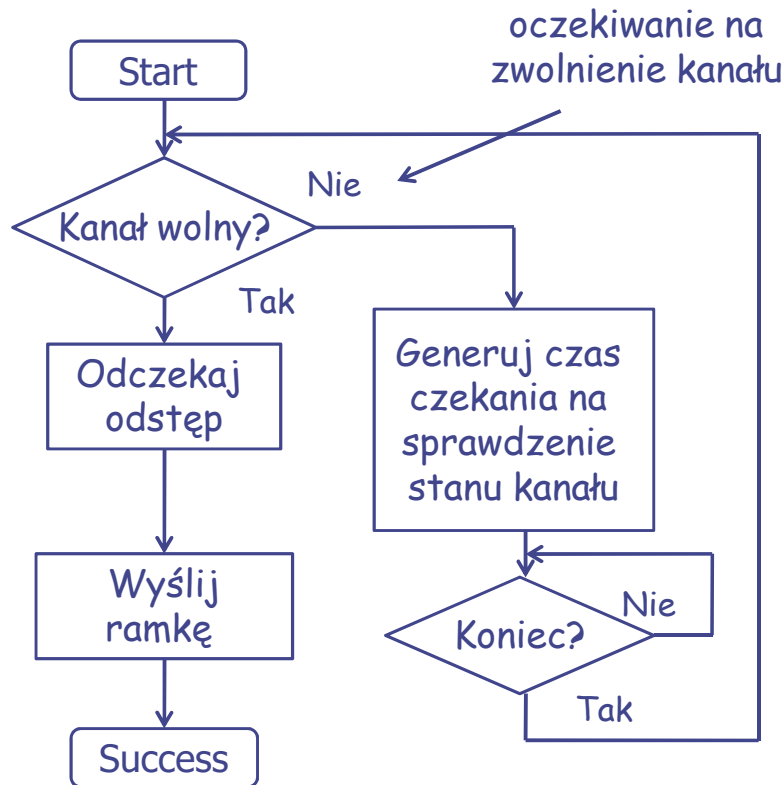
# Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance (CSMA/CA)

Alternatywna metoda kontroli dostępu do łącza, minimalizująca ilość występujących kolizji. Działanie algorytmu rozpoczyna się podobnie jak w CSMA/CD, od sprawdzenia zajętości łącza:



Przy zajętości kanału uruchamiany jest analog obsługi kolizji - generowany losowy czas oczekiwania do następnego sprawdzenia.

Jeśli kolejne sprawdzenie pokaże kanał wolny, stacja rozpoczyna transmisję ramki.



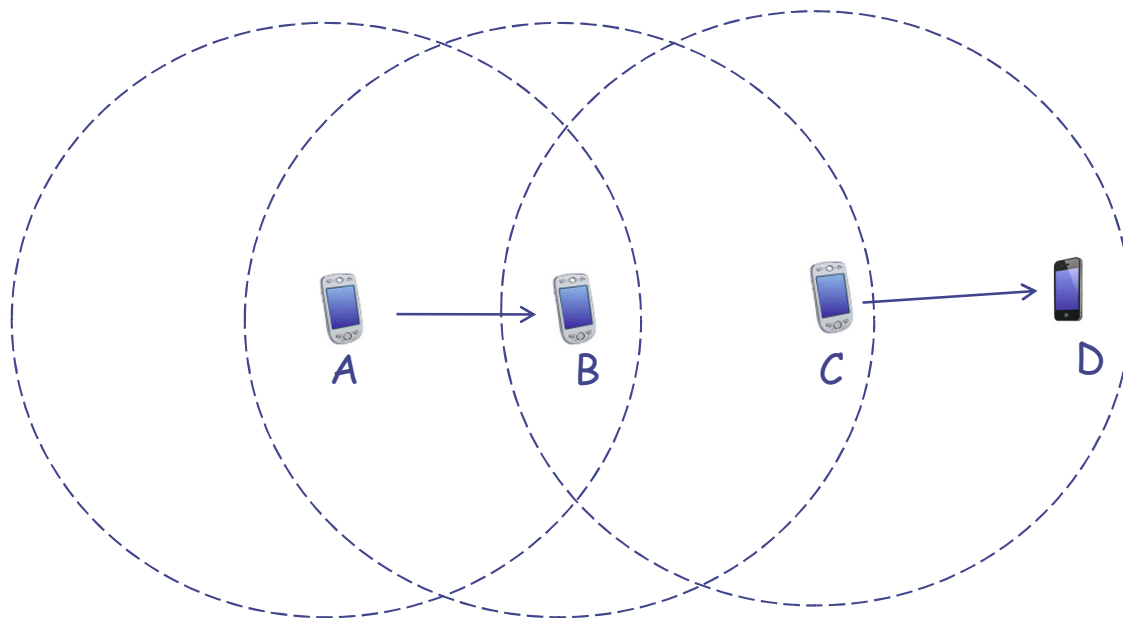
## CSMA/CA

Czasy oczekiwania do sprawdzenia stanu kanału generowane są losowo rosnąco do pewnej wartości, potem malejąco . . .

Po uzyskaniu dostępu do łącza wysyłana jest ramka do końca

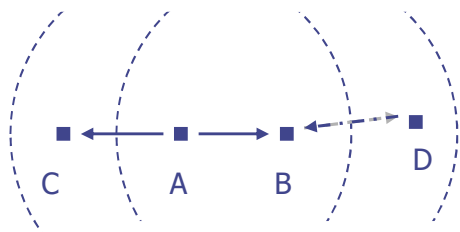
Algorytm stosowany w sieciach WiFi (802.11), komunikacja radiowa nie pozwala na wykrywanie kolizji.

CSMA/CA w sieci radiowej nie gwarantuje całkowicie braku kolizji - problem ukrytej stacji.



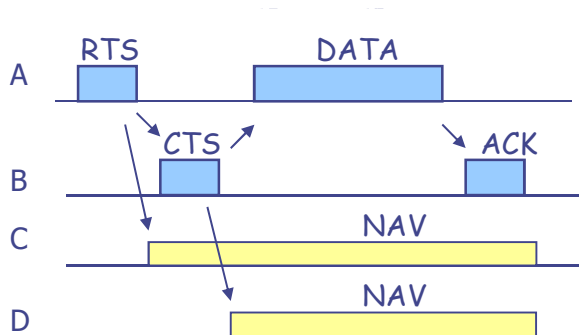
Stacja A wysyła ramki do stacji B. Stacja C jest poza zasięgiem A, może rozpocząć transmisję do D - kolizja ramek przy stacji B.

Aby wyeliminować te problemy, algorytm CSMA/CA został uzupełniony o mechanizm rezerwacji kanałów poprzedzający właściwą transmisję.



Stacja A wysyła do B. C chce wysłać do A, słyszy transmisję, wstrzymuje się.  
C - exposed station

A wysyła dane do B. D nic nie słyszy, rozpoczyna nadawanie.  
D - hidden station



A wysyła ramkę RTS, informuje C o planowanej transmisji.

B odpowiada ramką CTS, informuje D.

D, C ustawiają sygnał zajętości kanału (NAV) rezerwujący czas dla transmisji DATA i ACK.

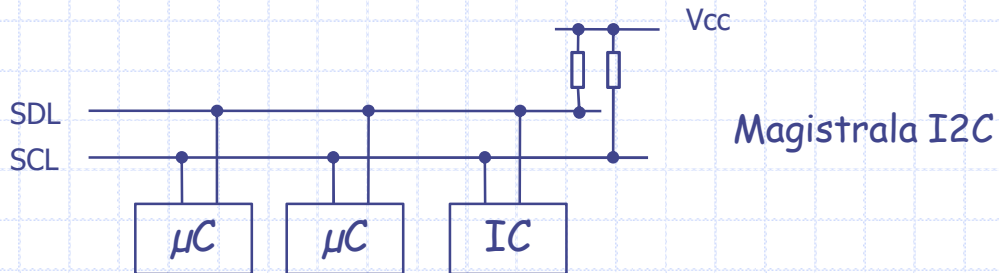
NAV służy jako wirtualny sygnał zajętości kanału.

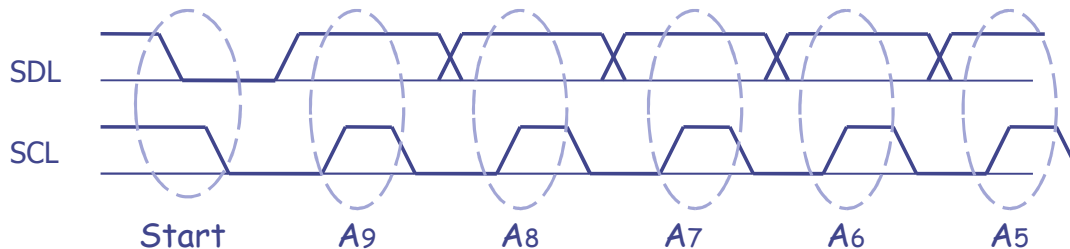
# Carrier Sense Multiple Access with Collision Resolve (CSMA/CR)

Metoda kontroli dostępu do łącza wykorzystująca własności kanału transmisji (przewagę energetyczną jednego ze stanów) do rozstrzygania kolizji dostępu.

Stosowana np. w magistrali I2C, CAN - przesył dwoma liniami typu OC - SDL, SCL.

W stanie spoczynku obie linie podparte są przez R do zasilania. Linia SDL (dane) może zmieniać stan, gdy SCL (clock) jest w stanie niskim, musi być stabilna, gdy jest w stanie wysokim. Do magistrali podłączone są układy  $\mu C$ .





## Format ramki I2C



Urządzenia rozpoczynają transmisję od swojego adresu. Moment startu synchronizuje próbę dostępu do łącza.

Wysyłając kolejne bity adresu sprawdzają wartości widoczne na linii SDL. Stacja, która wykryje różnicę przegrywa arbitraż i wycofuje się z próby nadawania.

„Wygrany” nie zauważa nawet wystąpienia kolizji.

# Protokoły kontrolowanego dostępu

- ❑ Rezerwacyjne
- ❑ Selekcyjne
- ❑ Przekazywania uprawnień

Protokoły rezerwacyjne oparte są o koncepcję „super ramki”. Jej początek wyznacza moment zwolnienia kanału - zakończenie poprzedniej super ramki.

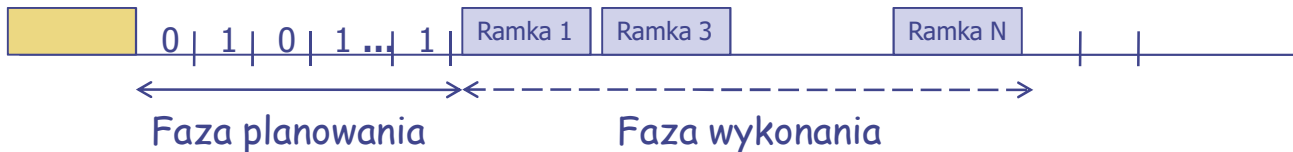
Od tego momentu odliczane są szczeliny czasowe, do których przypisane są poszczególne stacje sieci.

Stacja chcąc uzyskać dostęp do wysłania ramki umieszcza w swojej szczelinie zgłoszenie - np. bit rezerwacji ( = 1)

Po zakończeniu odliczania stacje wysyłają ramki zgodnie z kolejnością zgłoszeń.

Koniec ostatniej transmisji jest początkiem kolejnego cyklu odliczania.





W najprostszym wykonaniu mamy jeden bit na stację, przy dostępie dołącza nie występują kolizje. Ograniczenie na ilość stacji.

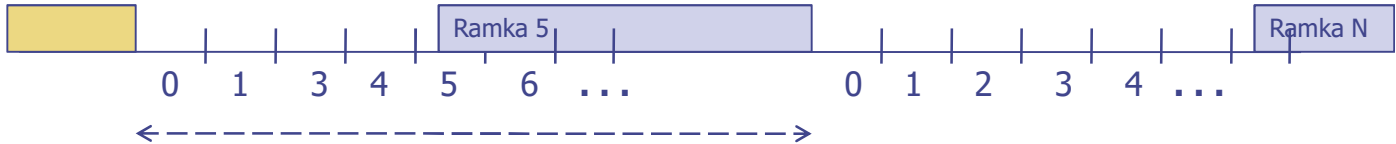
Problemem może być chwila ciszy (brak chętnych do wysłania ramki)

W innym wariantcie mamy mniejszą ilość szczelin na rezerwacje, do których przypisane są grupy stacji.

Przy próbie rezerwacji stacja wysyła w szczelinie swój adres (Id). Jeśli adres jest czytelny, rezerwacja udana.

Jeśli wystąpiła kolizja - nałożenie zapisu w szczelinie 2 lub > adresów, rozstrzygnięcie kolizji zgodnie z algorytmem CSMA/CD. (Internet przez TV kablowa), (komunikacja przez satelitę)

# Protokoły selekcyjne



W algorytmie selekcyjnym stacje przypisane są do szczelin.

Gdy stacja ma ramkę do wysłania, czeka na nadejście swojego numeru szczeliny i rozpoczyna transmisję ramki.

Zakończenie transmisji rozpoczyna proces odliczania szczelin.

Dostęp jest nierównoprawny - początkowe numery szczelin są uprzywilejowane.

# Protokoły kontrolowanego dostępu

- Rezerwacyjne
- Selekcyjne
- Przekazywania uprawnienia

Działa na zasadzie upoważnienia stacji do pełnego zarządzania kanałem na ustalony okres czasu (token hold time *THT*).

Od słów *talk enable* (włącz rozmowę) uprawnienie jest nazywane *token*-em.

Kontrola dostępu na zasadzie przekazywania uprawnienia (*token passing*) w stanie ustalonym sprowadza się do przekazywania *tokenu* pomiędzy stacjami sieci według ustalonej listy.

Stacja po otrzymaniu tokenu może korzystać z uprawnienia do końca czasu *THT* lub wcześniej przekazać token następcy.

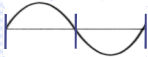

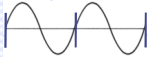
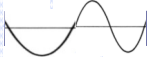

Po dojściu do końca listy token wraca do pierwszej stacji. Działanie sieci jest deterministyczne, stacja otrzymuje ponownie token, max. po czasie  $NTT = n * THT$  (*NTT* - no token time).

# Token-bus IEEE 802.4

Token-bus to rozwiązanie sieci szerokopasmowej o konfiguracji magistralowej z dostępem do łącza opartym na przekazywaniu tokenu.

Kanał transmisji zajmuje pasmo odpowiadające 1 lub 2 kanałom TV w kablu o  $Z_f = 75\Omega$ .

Kodowanie bitów oparto o kluczowanie częstotliwości z zachowaniem ciągłości fazy kodem 1B/2B o tabeli kodowania:

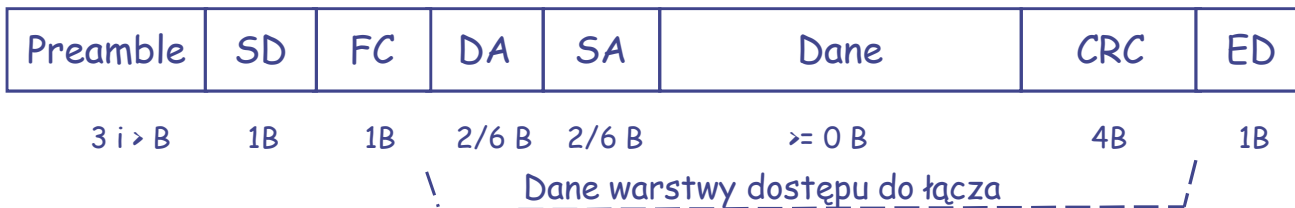
1	LL		
0	HH		H L
N	LH		FL FH
N	HL		
		5 Mbps	5 MHz
		10 MBps	10MHz
			10MHz
			20MHz

Symbole no-data (N) wykorzystane są w znacznikach początku i końca ramki, zapewniając przezroczystość informacyjną protokołu:

Start of Frame Delimiter (SD)    NN0NN000

End of Frame Delimiter (ED)    NN1NN111

Format ramki:



Pole *Frame Control* (FC)

00	CC    CCCC
----	------------

Ramka sterująca MAC

01	MMM    PPP
----	------------

Ramka sterująca LLC

10	MMM    PPP
----	------------

Ramka Zarządzania Stacją

11	
----	--

Rezerwa

## Sterowanie LLC

- PPP - priorytet ramki
- 111 - najwyższy priorytet
- 000 - najniższy priorytet

## MMM

- 000 - polecenie bez odpowiedzi
- 001 - polecenie z odpowiedzią
- 010 - odpowiedź

## Ramki sterujące MAC

CC CCCC - kod ramki sterującej

- 0 0 - CT (Claim Token)
- 0 1 - SS1
- 0 2 - SS2
- 0 3 - WF (Who Follows)
- 0 4 - RC (Resolve contentions)
- 0 8 - T (Token)
- 0 C - SS (Set Successor)

Adresacja sieci - są trzy typy adresów

1	
---	--

Adresy 16 bitowe

0	1	
---	---	--

Adresy 48 bitowe, administrowane lokalnie

0	0	
---	---	--

Adresy 48 bitowe, administrowane globalnie

## Algorytmy:

- (Re)start sieci - tworzenie tokenu
- Przekazywanie tokenu
- Opuszczanie sieci

Przekazywanie tokenu w sieci odbywa się zgodnie z ustaloną listą. Każda stacja pamięta dwa elementy listy: adres poprzednika (od kogo otrzymała Token) i adres następcy (komu ma przekazać Token).

Przy starcie sieci lub po stanach awaryjnych (zgubienie tokenu, zdublowanie tokenu) lista jest pusta, i trzeba ją odtworzyć.

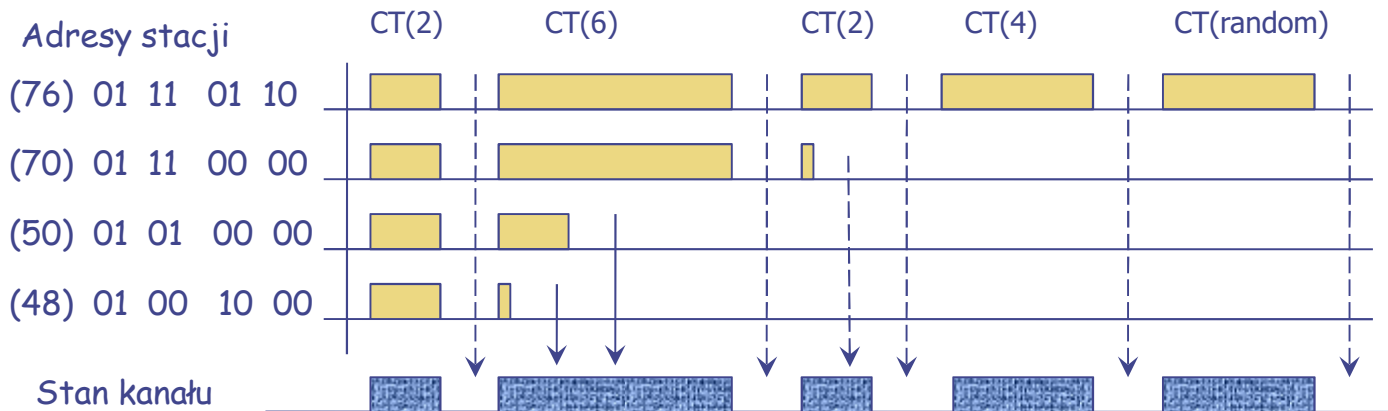
Pierwszym posiadaczem tokenu zostaje stacja o najwyższym adresie. Jej wybór odbywa się w sieci przez „głosowanie” kolejnych par bitów adresu, zaczynając od najstarszej pary.

Po stwierdzeniu upadku sieci (timer NTT) stacja wysyła ramkę CT (claim token) i jej długość ustala na  $0, 2, 4$  lub  $6 * T_s$  zależnie od wartości najstarszych dwóch bitów adresu.

Jeżeli po czasie  $T_s$  od zakończenia wysyłania swojej ramki nie słyszy w sieci transmisji, kontynuuje z kolejną parą bitów adresu, jeśli trwa transmisja, wycofuje się z głosowania.

Proces wygrywa stacja, która po wysłaniu CT w oparciu o ostatnią parę bitów adresu po czasie  $T_s$  nie słyszy żadnej transmisji.

Aby upewnić się, że nie zachodzi błąd zdublowania adresu, stacja jeszcze raz generuje ramkę CT o losowej długości. Jeśli po zakończeniu nadawania nie słyszy innej transmisji, stacja stała się posiadaczem Tokenu i może rozpocząć odtwarzanie listy stacji.



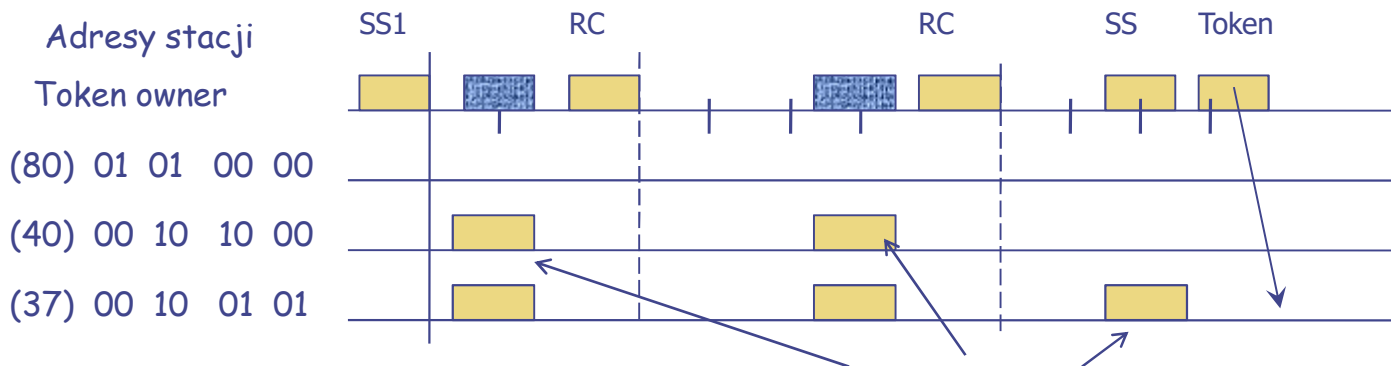
Posiadacz tokenu może zacząć wykorzystywać token, lub od razu rozpocząć proces budowania rozproszonej listy stacji do których zostanie przesłany token.



Budowa listy odbywa się przez zapraszanie stacji do wpisania się na listę. Ramka zaproszenia (Solicit Successor 1 - SS1) wysyłana jest na adres stacji, do której ma zostać przestany token.

Przedział adresów między adresem nadawcy a adresem przeznaczenia określa okno, z którego mogą się zgłaszać kolejne stacje.

W pierwszym kroku ramka SS1 jest wysyłana na własny adres stacji (otwiera okno całej przestrzeni adresów). Wysłanie SS1 uruchamia odliczanie 4 szczelin czasowych, w których mogą rozpocząć wysyłanie zgłoszenia stacje na podstawie 2 najstarszych bitów adresu.



Zgłoszenie stacji na listę ma formę ramki Set Successor (SS).

Jeśli odbiorca odbiera szum (kolizja zgłoszeń), wysyła ramkę Resolve Contention (RC), nakazując powtórzenie zgłoszenia w kolejnej serii szczelin czasowych na podstawie następnej pary bitów adresu, do momentu aż odbierze poprawną ramkę SS od stacji, do której wysłał token.

Algorytm w danym kroku wybiera i dołącza do pierścienia stację o najmniejszym adresie. W efekcie stacje na liście uporządkowane są w kolejności rosnącej.

Algorytm dołączania stacji do pierścienia wykonywany jest przed przekazaniem do następcy tokenu, co pozwala dołączyć nowo uruchomione stacje bez przerywania pracy sieci.

Lista stacji przechowywana jest fragmentami w poszczególnych stacjach. Każda stacja pamięta swojego poprzednika oraz swojego następcę.

## Przekazanie tokenu

Po wykorzystaniu czasu *Token Hold Time* lub wcześniej stacja przekazuje token następcy i odczekuje  $4 T_s$ , czy następca podejmie jakąś aktywność.

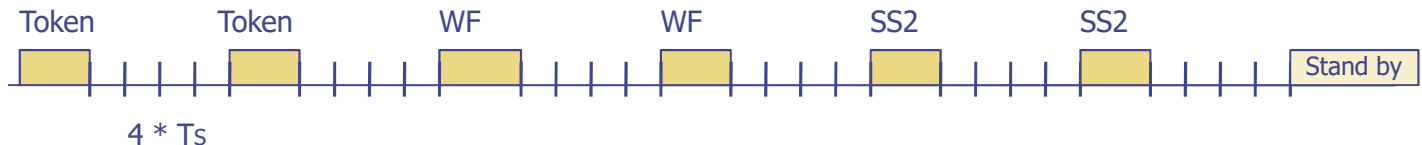
Jeśli cisza, stacja zakłada przekłamanie ramki i retransmituje token, i nadal sprawdza, czy został przyjęty.

Jeśli nadal cisza, stacja zakłada awarię stacji i próbuje znaleźć jej następcę, wysyłając ramkę WF (who follows), po której odczekuje znowu 4 szczeliny czasowe.

Stacja która rozpozna adres z ramki who follows jako adres swojego poprzednika, odpowiada ramką SS. Jeśli nadal cisza, stacja retransmituje ramkę WF i czeka kolejne 4 Ts.

Jeśli brak odpowiedzi, wysyła ramkę SS2 (zaproszenie do zgłoszenie dowolnej stacji) i odczekuje 4 szczeliny czasowe. Jeśli nadal bez skutku, po powtórzeniu transmisji SS2, przechodzi w stan spoczynku i czeka na dalszy rozwój wypadków.

#### Przekazywanie tokenu

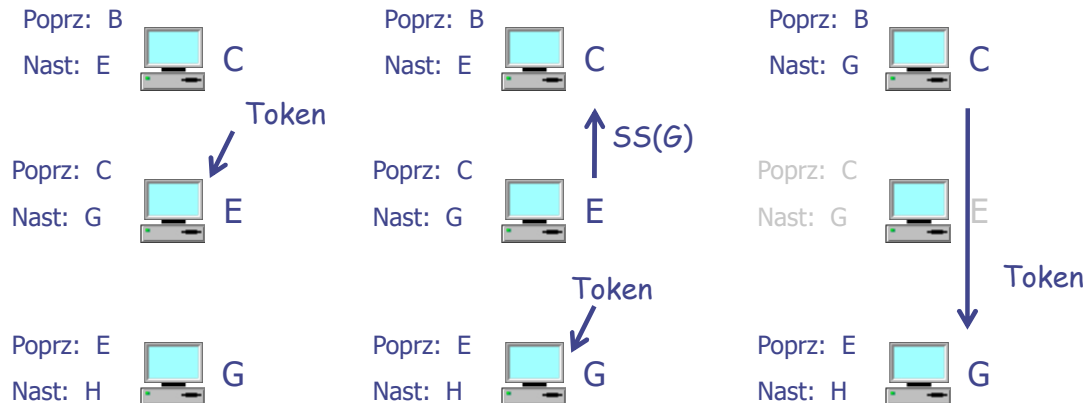


# Opuszczanie pierścienia

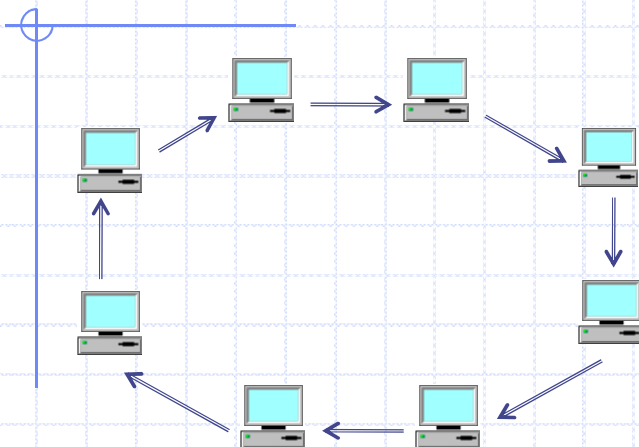
Stacja opuszczająca pierścień czeka do momentu otrzymania tokenu.

Następnie do swojego poprzednika wysyła ramkę SS (set successor z adresem swojego następcy).

Po przekazaniu tokenu dalej odczekuje pełny obieg tokenu i sprawdza, czy zostanie prawidłowo pominięta. Po tym teście może się wyłączyć.



# Topologia pierścieniowa



Komputery połączone są łączyem jednokierunkowym w strukturę fizycznego pierścienia

Dane retransmitowane są ze stacji do stacji.

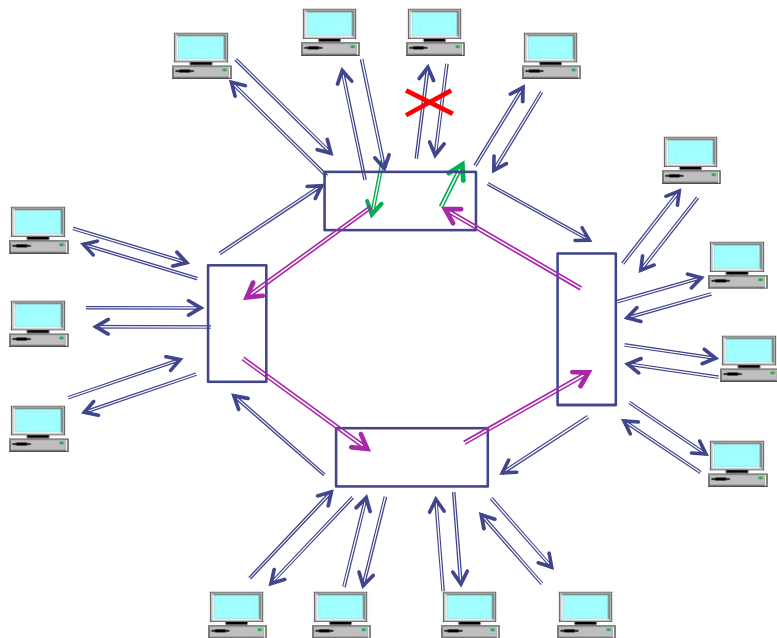
Praktycznie żadna stacja nie zna stanu łącza - ma dostęp tylko do danych przychodzących i danych wysyłanych.

Retransmisja następuje z pewnym opóźnieniem, od jednego do kilku bitów na stację.

Przesyłana informacja nie „wygasa” w sieci, jak np. w magistrali. Któraś stacja musi ją usuwać, aby zrobić miejsce na dalsze informacje.

Rozwiązania: odbiorca, nadawca lub dedykowana stacja monitorująca.

Topologia pierścieniowa jest trudna do serwisowania - w żadnym miejscu sieci nie ma dostępu do informacji o działaniu innych stacji. Przy awarii trudno jest zlokalizować jej przyczynę.



IBM szukając rozwiązania serwisowania topologii pierścienia w swojej sieci Token Ring opracował topologię logicznego pierścienia / fizycznej gwiazdy z aktywnymi centrami (hub / przełącznik).

Elementy aktywne + dodatkowy przeciwbieżny pierścień pozwalają automatycznie skorygować pojedynczą awarię połączeń w pierścieniu.

Łącze sieci pierścieniowej można traktować jak rejestr przesuwany.

Pojemność informacyjna pierścienia N to ilość bitów, które krążą w pierścieniu w trakcie transmisji.

Jest to ilość bitów składających się na opóźnienie wnoszone przez stacje oraz ilość bitów w transmisji w kablu o długości L.

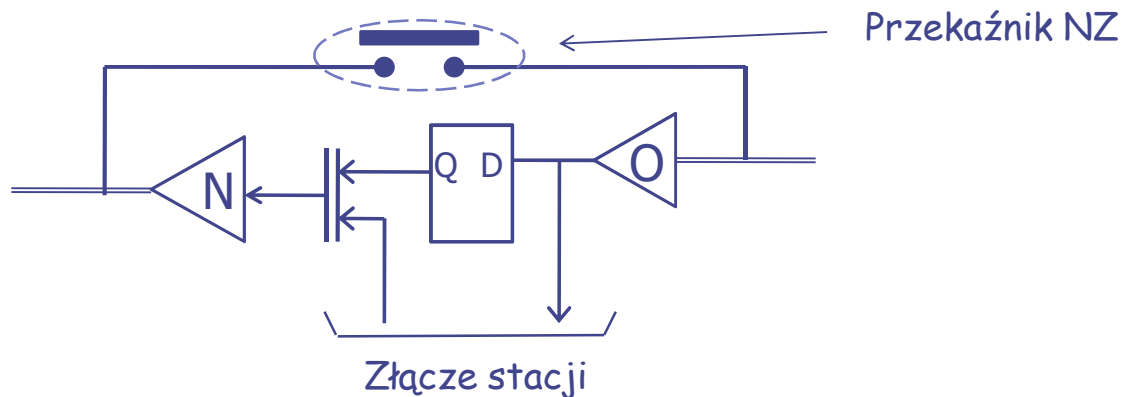
Przy szybkości taktowania F  $N = (L/0.67 \cdot c) \cdot F + n$

n - ilość stacji \* ilość bitów opóźnienia.

Dla działania sieci konieczne jest działanie wszystkich stacji.

Wyłączenie dowolnej stacji powoduje przerwę w przesyłaniu informacji.

Zabezpieczeniem jest specjalny układ przyłącza stacji do sieci.



Przy wyłączeniu stacji styki przekaźnika bocznikują elementy stacji, zwierając odcinki toru ze sobą.

Przyjmuje się, że przy wyłączeniu do 7 sąsiednich stacji transmisja w łączu powinna działać poprawnie - wymagany duży nadmiar mocy sygnału nadawanego.

Jako łącza w sieci pierścieniowej mogą być stosowane tory przewodowe lub światłowodowe.

Protokoły dostępu do łącza:

- Cambridge Ring (protokół wirujących tacek)
- Token Ring, FDDI
- Włączania rejestru
- Rywalizacyjny (CSMA/CD)



# Cambridge Ring

Cambridge Ring jest siecią przesyłu mini-ramek, powstałych z podziału pojemności informacyjnej pierścienia N na bloki 40 bitowe.

Dla prawidłowej pracy sieci N musi być stałe - całość elementów sieci jest centralnie zasilana, taktowana i działa niezależnie od obecności stacji klienta.

S	Z	M	Dest. Addr.	Src. Addr.	Dane.	W <sub>1</sub>	W <sub>0</sub>	P	R <sub>1</sub>	R <sub>0</sub>
1	1	1	8bit	8 bit	16 bit	1	1	1	1	1

S - bit startu

Z - bit zajętości

M - bit monitora

P - bit parzystości

W<sub>1</sub> W<sub>0</sub> - bity dla  
wyższej warstwy

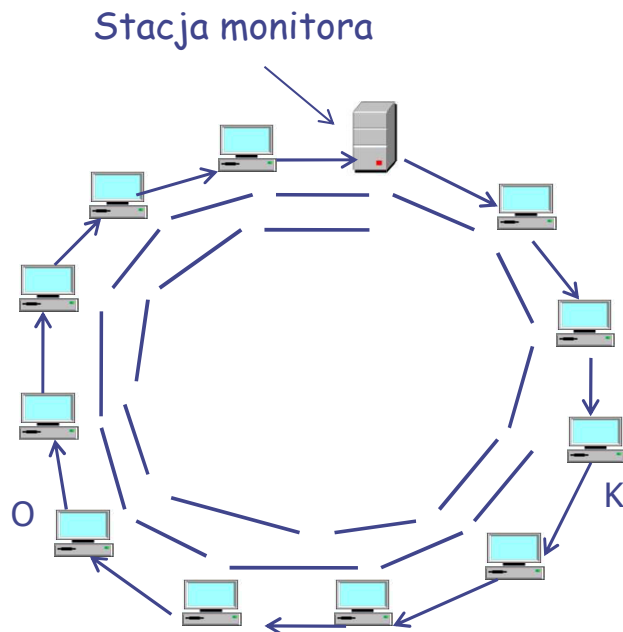
R<sub>1</sub> R<sub>0</sub> - Bity odpowiedzi

0 0 - odbiorca zajęty

0 1 - ramka zaakceptowana

1 0 - ramka odrzucona

1 1 - odbiorca nieaktywny



Stacja monitora generuje wolne ramki informacyjne - jedynek + 39 zer, bez odstępów między ramkami.

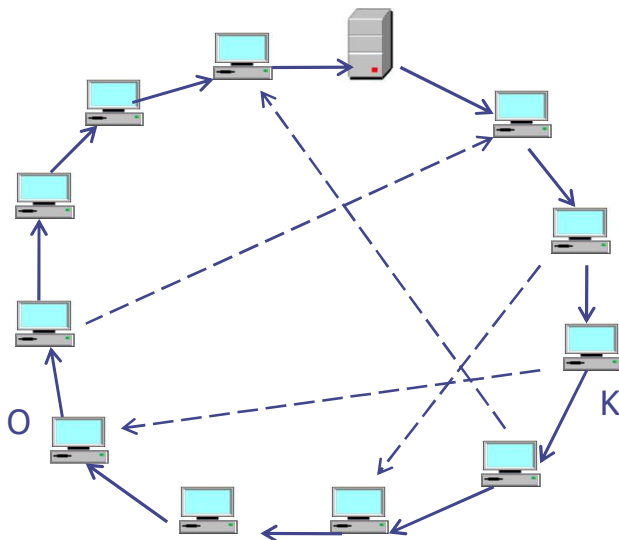
Ramki są retransmitowane przez kolejne stacje.

Stacja (K) mająca dane do wysłania zajmuje najbliższą wolną ramkę, ustawia Z na 1, wypełnia pola adresowe, 2 bajty danych i bity R na 1-ki.

Ramka wędruje wzdłuż pierścienia, dociera do odbiorcy (O), który po ostatnim bicie adresu kopiuje dane i ustawia bity odpowiedzi.

Ramka obiega pierścień, dociera do stacji monitora, która ustawia bit M na 1. Przechodząc dalej dociera do nadawcy - stacji K, która odczytuje bity odpowiedzi. Po ich odbiorze może próbować zająć kolejną wolną ramkę i kontynuować przesył.

Ramka wykonuje drugi obieg i po dojściu do stacji monitora zostaje usunięta i zastąpiona nową wolną ramką (tacką).



Przepustowość kanału łączącego stacje (K → O) wynosi:

$$v = \frac{2 B}{T_{\text{obiegu}}}$$

Cambridge Ring pozwala na równoczesną transmisję pomiędzy wieloma parami stacji.

Przekazywanie token-u było naturalną metodą organizacji dostępu do kanału dla sieci w konfiguracji pierścieniowej - token wędrował do fizycznego sąsiada stacji.

Przekazywanie tokenu było podstawą działania dwóch sieci - Token Ring (IEEE 802.5) i FDDI (Fibre Distributed Digital Interace)

# Token Ring

4/16 Mbps

Data frame:

SD	AC	FC	D. Addr.	S. Addr.	Dane.	CRC	ED	FS
1	1	1	2/6	2/6	4500	4	1	1

Token frame:

SD	AC	ED
----	----	----

AC - access control

PPP	T	M	RRR
-----	---	---	-----

T - token bit (=1 token)

M - monitor bit

FS - frame status

AC	rr	AC	rr
----	----	----	----

A - adres rozpoznany, C - ramka skopiowana

Start delimiter (SD) NN0NN000

End delimiter (ED) NN1NN1IE

I - Intermediate =1, jest więcej ramek  
=0, ostatnia ramka

E - error bit

Frame Control

FF	RRR	ZZZ
----	-----	-----

FF - typ ramki

00 - MAC frame

01 - LLC frame

ZZZ - control bits

RRR - rezerwation

## Działanie protokołu Token Ring

Stacja mająca dane do przesłania oczekuje na odebranie tokenu. Kiedy token pojawi się, stacja dołącza do niego przesyłaną ramkę.

W czasie transmisji stacja usuwa z sieci wracającą ramkę. Po zakończeniu transmisji przesyła dalej token.

Każda ze stacji monitoruje okres pojawiania się tokenu (NTT). Jeśli token nie pojawi się, stacja może wysłać ramkę *claim token* zaadresowaną do siebie. Jeśli ramka wróci do nadawcy, stacja staje się aktywnym monitorem i posiada token.

Stacja odbierająca ramkę *claim token* porównuje zawarty w niej adres MAC z własnym. Jeśli jej MAC adres jest większy, wysyła własne zgłoszenie.

Zależnie od długości łącz w pierścieniu, sieć może działać z jednym tokenem (czas przesyłu ramki  $>$  czasu obiegu pierścienia) lub z wieloma tokenami, dołączanymi na końcu przesyłanej ramki. (w przypadku, gdy czas transmisji ramki  $<<$  czasu obiegu pierścienia).

# Fiber Distributed Data Interface (FDDI)

Siec pierścieniowa na łączach światłowodowych, transmitująca dane z szybkością 100 Mbps, pomyślana jako sieć MAN dla łączenia sieci LAN (Ethernet).

Zaprojektowana jako dwa przeciwbieżne pierścienie łącz, umożliwiające transmisję w obu kierunkach, o maksymalnej długości 200km, umożliwiającą podłączenie do 500 stacji.

Przesył danych kod 4B/5B, kodowanie NRZI, dla synchronizacji odbioru wymaga preambuły.

Preamble	SD	FC	D. Adr.	S. Adr.	Dane.	CRC	ED	FS
1 lub >	1	1	2/6	2/6	< 4500	4	1	1

Preamble	SD	FC	ED	Token
----------	----	----	----	-------

W trakcie normalnej pracy działa jeden pierścień, drugi jako backup pozwala „naprawić” uszkodzenie w pierwszym pierścieniu.

Frame Control: bit 1 = 0 - asynchronous / =1 -synchronous  
bit 2 = 0 - adres 16 bit / =1 - 48 bit  
bit 3-7 - type: LLC, MAC, Mgment

Frame Status: bity A, C, E, jak w token ring. E=1 - wykryto błąd

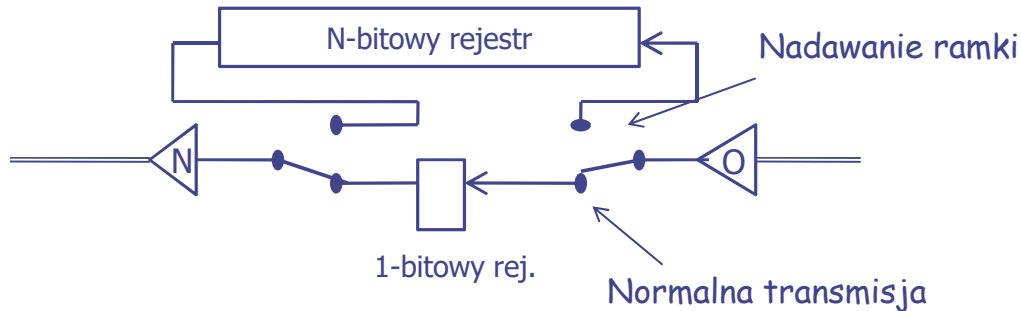
Sieć rozróżnia dwa typy danych - synchroniczne (multimedia) i asynchroniczne. Dla przekazu danych synchronicznych FDDI przy selekcji stacji monitora sieci kieruje się *timed target rotation time* - propozycją ograniczenia na czas obiegu tokenu w sieci jako parametru służącego do selekcji zgłoszeń.

Wybierana jest minimalna zgłaszana wartość, zapewniająca wymagany cykl dostępu stacji transmitujących dane synchronicznie.

W trakcie działania sieci stacje dopasowują okres obiegu tokenu do wymaganej wartości - gdy czas oczekiwania na token zbliża się do TTRT , stacja przekazuje odebrany token dalej, aby umożliwić synchroniczną transmisję stacjom.

## Algorytm włączania rejestru.

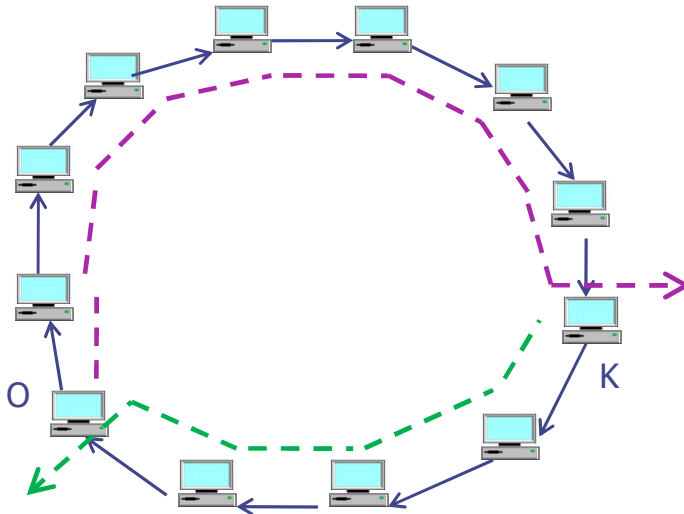
Model optymalizujący czas do nadania ramki. Stacja czeka do momentu zakończenia transmitowanej w pierścieniu ramki, po czym wstawia swoją do łączy, zmieniając jego parametry.



Dla powtórzenia wysłania stacja musi doczekać się „pustego” N-bitowego rejestru, przełączyć układ na 1-bitowy rejestr, i przygotować treść kolejnej ramki.



# Algorytm CSMA/CD



Po odczekaniu do ciszy na łączu stacja K rozpoczyna nadawanie.

Podobnie nadawanie rozpoczyna stacja O.

Każda ze stacji jako nadawca ma usuwać z pierścienia powracającą ramkę, porównując ją z wysłaną.

Obie stacje wykrywają fakt usuwania z pierścienia obcej ramki - wykrycie kolizji przy dostępie do łącza.

Obie stacje generują czas oczekiwania na rozpoczęcie retransmisji, po jego odczekaniu mogą rozpocząć ponowną próbę wysłania ramki.

Próba kończy się sukcesem, gdy po pełnym obiegu pierścienia do stacji dociera początek jej własnej ramki.

Przedstawione algorytmy pozwalają na dostęp do łącza i dostarczenie ramki do stacji w zasięgu topologii danego typu kanału.

Przesył danych na większe odległości wymaga współdziałania stacji ze sobą i wprowadzenia nowych mechanizmów sterowania przesyłami informacji.

Problemy te stanowią treść kolejnej warstwy architektury logicznej sieci - warstwy sieciowej.

Obejmują one organizację współpracy stacji:

- tryby przesyłu informacji (połączeniowy, bezpołączeniowy),
- tryb zestawiania tras przesyłu (komutacja ...),
- problemy wyznaczania drogi (algorytmy teorii grafów)