Sieci komputerowe

Tadeusz Kobus, Maciej Kokociński
Instytut Informatyki, Politechnika Poznańska

Warstwa łącza danych

Warstwa łącza danych

- Zapewnia niezawodne dostarczanie danych przez znajdującą się poniżej fizyczną sieć.
- Komunikacja wyłącznie z urządzeniami połączonymi bezpośrednio do tej samej sieci (segmentu sieci).
- Dwie podwarstwy:
  - logical link control (LLC) – sterowanie połączeniem logicznym,
  - media access control (MAC) – sterowanie dostępem do mediów.
- Przykładowe standardy:
  - MAC/LLC
  - PPP
  - ATM
  - Frame Relay
  - HDLC
  - 802.1q
  - 802.3
  - 802.11a/b/g/n MAC/LLC

Podwarstwy LLC i MAC

Logical Link Control (LLC) – sterowanie połączeniem logicznym:

- rozdzielanie i łączenie danych transmitowanych różnymi protokołami (np. IP, IPX, Appletalk) przez warstwę MAC (multiplexing, demultiplexing; np. na podstawie nagłówka, określa do jakiego protokołu warstwy 3 przekazać otrzymaną),
- sterowanie przepływem, wykrywanie błędów, retransmisja danych (w zależności od technologii i protokołów).

Media Access Control (MAC) – sterowanie dostępem do mediów:

- kontrola (wielo)dostępu do medium transmisji (interfejs dla LLC),
- dzielenie na ramki i kontrola poprawności,
- adresacja komputerów w segmencie i przekazywanie informacji adresowych.

Adresacja w warstwie łącza danych

- Sześć par hexadecymalnych cyfr rozdzielonych dwukropkiem (lub myślnikiem):
  - `2f:de:47:00:32:27`,
  - `ff:ff:ff:ff:ff:ff` – adres rozgłoszeniowy,
  - `01:00:5e:00:00:00` – `01:00:5e:7f:ff:ff` – adresy multicast (najmniej znaczący bit pierwszego oktetu równy 1, mapowanie multicast IP-MAC $\longrightarrow$ link).
- Urządzenie odbiera ramki, które są przeznaczone dla jego adresu MAC, na adres rozgłoszeniowy, lub na adres multicast w którym się zawiera.
- Karta sieciowa w trybie `promiscuous` odbiera ramki kierowane do wszystkich adresów MAC.
- Producenci sprzętu posiadają przydzielone klasy adresów (link 1, link 2).

Adres MAC karty sieciowej (1)

```
# ip link show
1: lo: <LOOPBACK,UP,LOWER_UP> mtu 65536
    qdisc noqueue state UNKNOWN mode DEFAULT group default
    link/loopback 00:00:00:00:00:00 brd 00:00:00:00:00:00
2: eth0: <BROADCAST,MULTICAST,UP,LOWER_UP> mtu 1500
    qdisc mq state UP mode DORMANT group default qlen 1000
    link/ether 84:3a:4b:71:94:5c brd ff:ff:ff:ff:ff:ff
# ip link set dev eth0 down
# ip link set dev eth0 address aa:bb:cc:dd:ee:ff
# ip link show dev eth0
2: eth0: <BROADCAST,MULTICAST,UP,LOWER_UP> mtu 1500
    qdisc mq state UP mode DORMANT group default qlen 1000
    link/ether aa:bb:cc:dd:ee:ff brd ff:ff:ff:ff:ff:ff
# ip link set dev eth0 up
```

```
# ethtool -P eth0
Permanent address: 84:3a:4b:71:94:5c
```

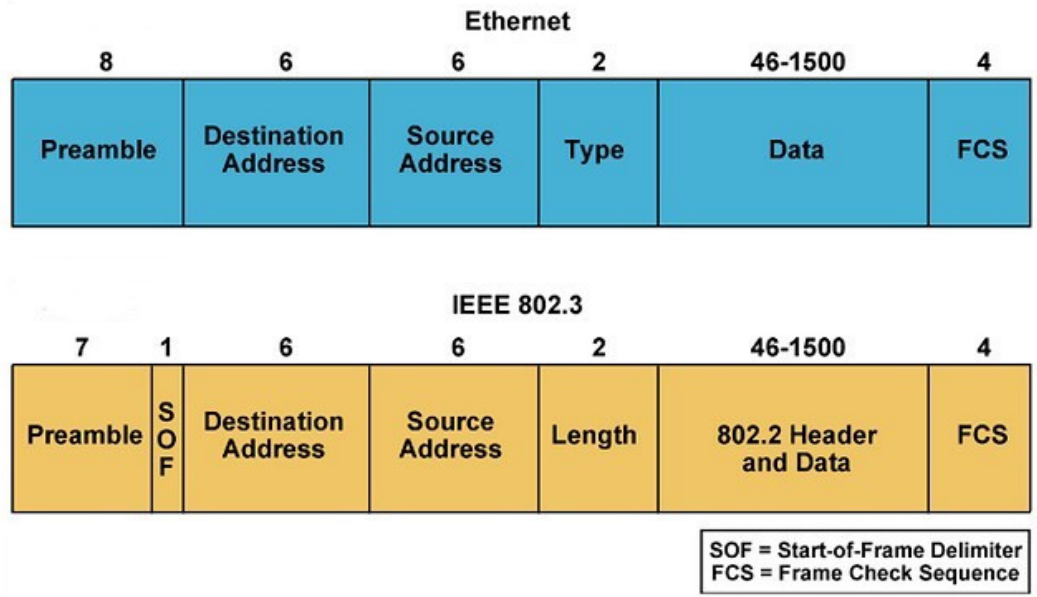
Adres MAC karty sieciowej (2)

```
# ifconfig
lo: flags=73<UP,LOOPBACK,RUNNING>  mtu 65536
        inet 127.0.0.1  netmask 255.0.0.0
        inet6 ::1  prefixlen 128  scopeid 0x10<host>
        loop  txqueuelen 0  (Local Loopback)
        RX packets 4755  bytes 407972 (398.4 KiB)
        RX errors 0  dropped 0  overruns 0  frame 0
        TX packets 4755  bytes 407972 (398.4 KiB)
        TX errors 0  dropped 0 overruns 0  carrier 0  collisions 0

eth0: flags=4163<UP,BROADCAST,RUNNING,MULTICAST>  mtu 1500
        inet 192.168.1.103  netmask 255.255.255.0  broadcast 192.168.1.255
        ether 84:3a:4b:71:94:5c  txqueuelen 1000  (Ethernet)
        RX packets 3020949  bytes 3781419997 (3.5 GiB)
        RX errors 0  dropped 0  overruns 0  frame 0
        TX packets 2068340  bytes 289950531 (276.5 MiB)
        TX errors 0  dropped 0 overruns 0  carrier 0  collisions 0
# ifconfig eth0 down
# ifconfig eth0 hw ether aa:bb:cc:dd:ee:ff
# ifconfig eth0 up
# ifconfig
...
        ether aa:bb:cc:dd:ee:ff  txqueuelen 1000  (Ethernet)
```

Standard Ethernet (IEEE 802.3) (1)

- Obejmuje zarówno warstwę fizyczną jak i łącza danych.
- Struktura ramki (długości pól w bajtach/oktetach):



- Rozmiar: od 64B do 1500B.

Standard Ethernet (IEEE 802.3) (2)

- W Ethernet (v2) długość ramki 'zakodowana' jest w danych interpretowanych przez warstwę wyższą.
- Jak zbadać z ramką jakiego typu mamy do czynienia?

Standard Ethernet (IEEE 802.3) (2)

- W Ethernet (v2) długość ramki 'zakodowana' jest w danych interpretowanych przez warstwę wyższą.
- Jak zbadać z ramką jakiego typu mamy do czynienia?
- Kodowanie typu – wartości większe niż 1500:
  `0x0800`: IPv4
  `0x0806`: ARP
  `0x86DD`: IPv6
  ...
- FCS – algorytm Cyclic Redundancy Check (CRC):
  - detekcja wszystkich pojedynczych, podwójnych, potrójnych przekłamań,
  - detekcja ciągów długości n jednobitowych przekłamań, $n \leqslant 32$,
  - prawdopodobieństwo, że losowe przekłamanie bitów będzie niewykryte jest równe 2^{-10}.

Zadanie 1

1. Przy pomocy programu `wireshark` przeanalizuj ruch w sieci pod kątem występowania ramek Ethernet 802.3 i Ethernet v2.
2. W przypadku jakich pakietów daje się zaobserwować ramki Ethernet 802.3?

Urządzenia warstwy łącza danych

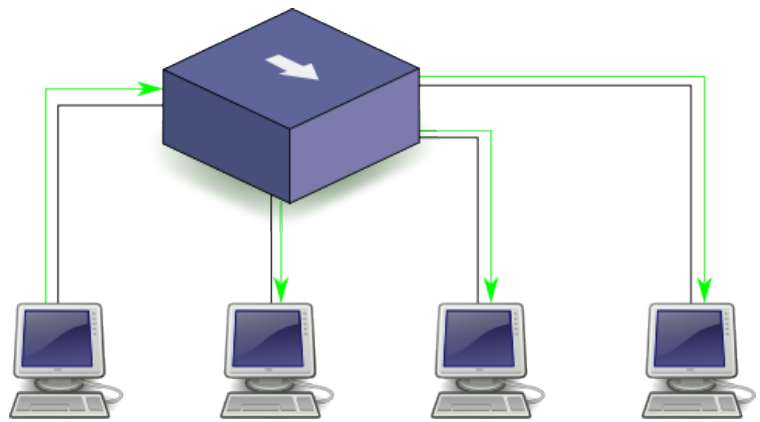
Podstawowe urządzenia warstwy łącza danych (w tym Ethernetu):

- koncentratory (hubs)*,
- przełączniki (switches),
- mostki (bridges),
- ...

*Koncentratory tak naprawdę funkcjonują w warstwie fizycznej, bo w żaden sposób nie dokonują analizy zawartości ramek.

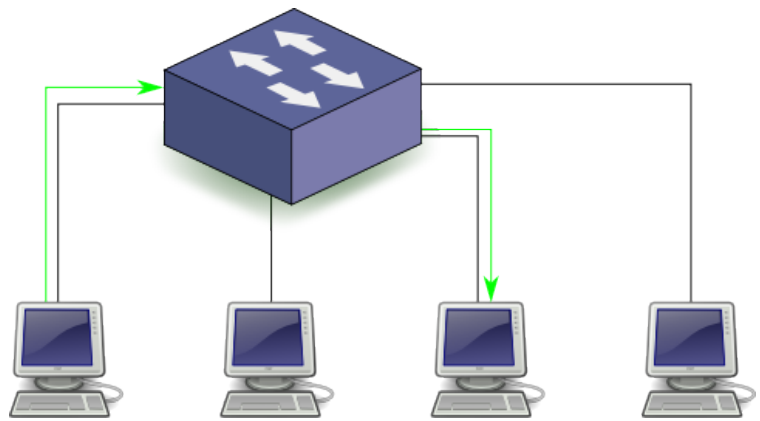
Koncentrator (hub)

- Wzmacnia sygnał i kieruje ramkę na wszystkie porty.
- Komputery współdzielą pasmo – pojedyncza domena kolizyjna (i za razem pojedyncza domena rozgłoszeniowa):
  - karty sieciowe urządzeń podłączonych do koncentratora muszą radzić sobie z występowaniem kolizji,
  - Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection (CSMA/CD) (na kartach sieciowych, a nie na koncentratorze):
    - transmisja jest zamykana po wykryciu kolizji,
    - wysyłany jest tam sygnał *zagłuszający*,
    - następuje retransmisja po czasie losowej długości.



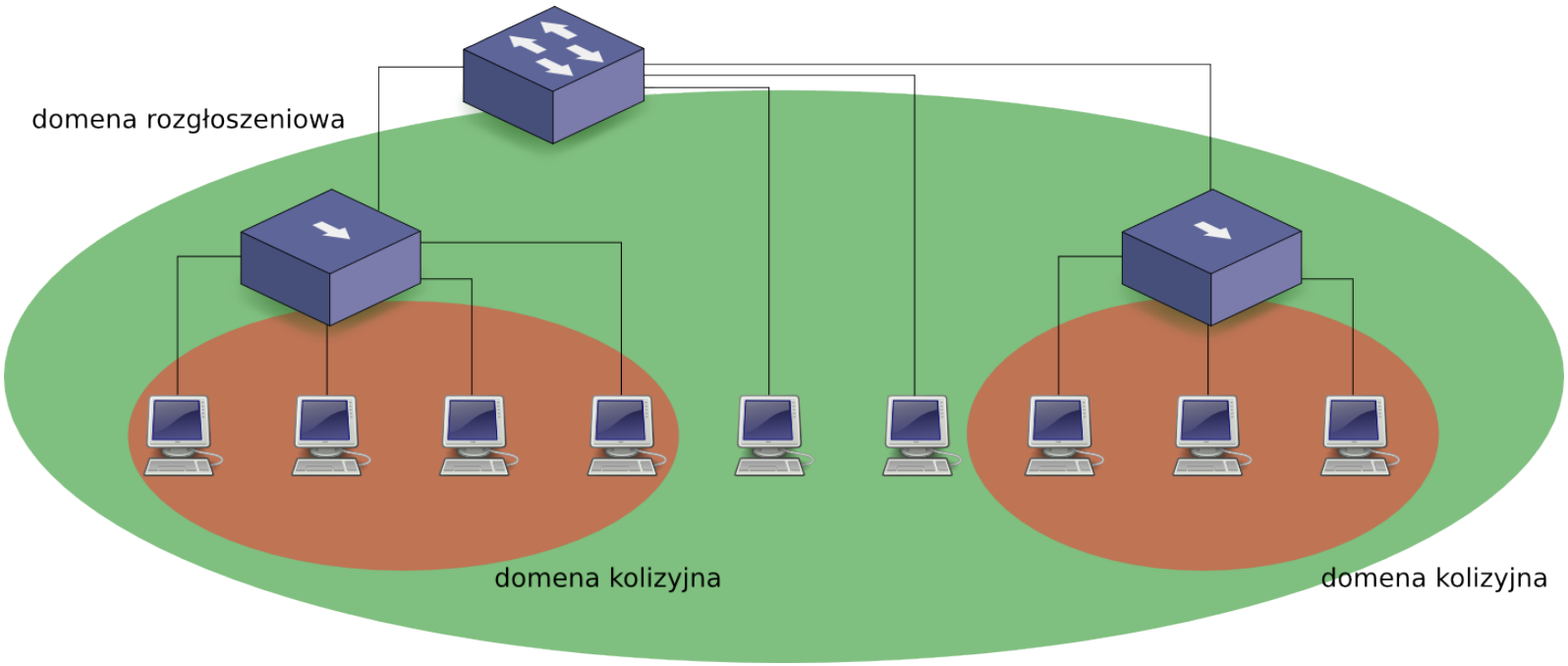
Przełącznik (switch) (1)

- Kieruje ramkę do właściwego portu.
- Uczy się adresów MAC kryjących się za określonymi portami (algorytm Transparent Bridging lub Backward Learning):
  - tablica par (adres MAC, numer portu), gdzie zapamiętuje adresy źródłowe wyciągnięte z ramek,
  - jeśli docelowy adres MAC nie jest zapisany, ramka wysyłana jest na wszystkie porty oprócz źródłowego pod adres rozgłoszeniowy (`ff:ff:ff:ff:ff:ff`),
  - przestarzałe adresy są usuwane.



Przełącznik (switch) (2)

- Jedna domena rozgłoszeniowa – wiadomość wysłana pod adres rozgłoszeniowy MAC trafi do każdego komputera,
- Separacja domen kolizyjnych (w przeciwieństwie do koncentratora).



Zadanie 2

1. Podłącz swój komputer (poprzez port `p4p1`) do koncentratora (na zapleczu).
2. Skonfiguruj interfejs `p4p1`, tak by wszystkie komputery w rzędzie działały w jednej sieci (unikalne sieci między rzędami).
3. Przy pomocy programu `wireshark` przeanalizuj ruch na interfejsie `p4p1`. Czy daje się zaobserwować pakiety z innych sieci (w szczególności komunikaty protokołu telnet)?

Pomiar prędkości

```
# netserver -D
Starting netserver with host 'IN(6)ADDR_ANY' port '12865' and
family AF_UNSPEC


(na innym komputerze)
# netperf -H 192.168.1.101
MIGRATED TCP STREAM TEST from 192.168.1.103 port 0 AF_INET to 192.168.1.101
port 0 AF_INET
Recv   Send    Send
Socket Socket  Message  Elapsed
Size   Size    Size     Time     Throughput
bytes  bytes   bytes    secs.    10^6bits/sec

 87380  16384  16384    10.00    941.83
```

Zadanie 3

1. W jednej chwili (wraz z koleżankami/kolegami) dokonaj pomiaru prędkości transmisji z sąsiednim komputerem z tego samego rzędu.
2. Wraz z innymi studentami zbadaj sumaryczną przepustowość koncentratora.

Zadanie 4

1. Przepnij (na zapleczu) swój komputer do wspólnego przełącznika i dokonaj ponownie pomiaru prędkości (jak w poprzednim zadaniu).
2. Skąd wynikają różnice w osiąganych prędkościach?
3. Czy w programie `wireshark` można zobaczyć pakiety z innych sieci? Jeśli tak to jakie?

Zadanie 5

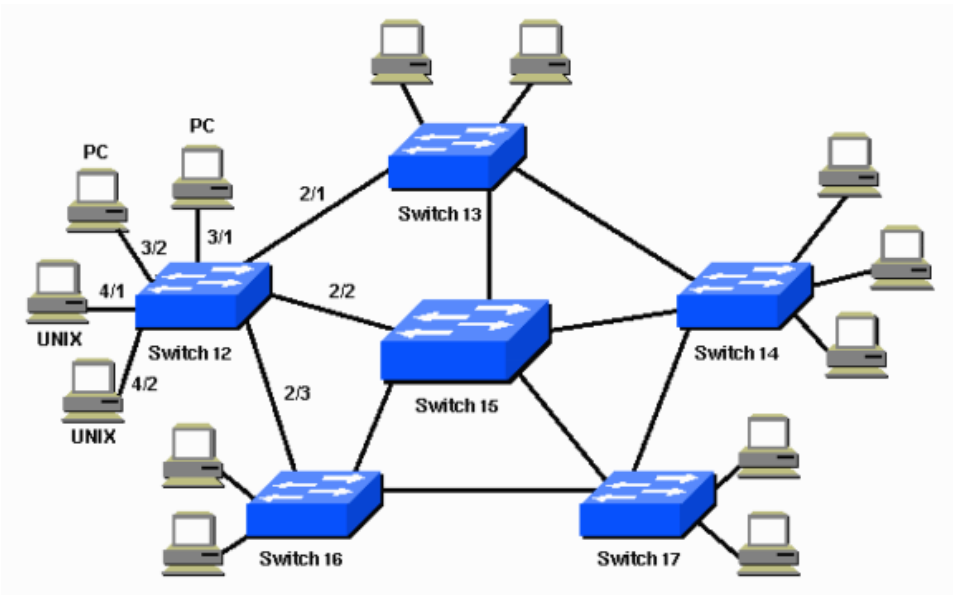
1. Wraz z koleżankami/kolegami przepnij połowę komputerów do drugiego przełącznika, tak by komputery w parach były podłączone do różnych przełączników.
2. Przełączniki połącz ze sobą kablem (krosowanym).
3. Dokonaj ponownie pomiaru prędkości (jak w poprzednim zadaniu).
4. Skąd wynikają różnice w osiąganych prędkościach?
5. Czy można łatwo zwiększyć przepustowość?

Zadanie 6

1. Dokonaj pomiaru prędkości transmisji do adresu `127.0.0.1`.
2. Czy do tej transmisji angażowana jest karta sieciowa?

Spanning Tree Protocol (1)

- W celu zwiększenia niezawodności, między przełącznikami używa się więcej połączeń niż trzeba.
- Skąd wiadomo którędy powininna wędrować ramka?



Spanning Tree Protocol (2)

- Spanning Tree Protocol (STP) – protokół drzewa rozpinającego graf $\longrightarrow$ eliminacja cykli z sieci połączonych ze sobą przełączników,
- Algorytm:
  1. Wybór korzenia: ten przełącznik, którego numer seryjny (unikalny w skali światowej) jest najmniejszy.
  2. Wyznaczanie najkrótszych ścieżek od korzenia do wszystkich innych przełączników.
  3. Deaktywacja połączeń, które nie występują w zbiorze najkrótszych ścieżek.
  4. W przypadku awarii któregoś z połączeń, wykonanie algorytmu ponownie.

Zadanie 7 (1)

1. Podepnij swój komputer na porcie `p4p1` do przełącznika, tak by jeden przełącznik przypadał na jeden rząd w laboratorium. Upewnij się, że działa połączenie z innymi komputerami w rzędzie.
2. Zepnij dwoma kablami przełącznik, do którego jest podłączony Twój komputer z przełącznikiem odpowiadającym sąsiedniemu rzędowi.
3. Odpowiednio skonfiguruj interfejs `p4p1` by móc skomunikować się z siecią z sąsiedniego rzędu lub by dało się zaobserwować jakikolwiek ruch w tamtej sieci.
4. Podglądaj ruch na interfejsie `p4p1` przy pomocy programu `wireshark` (najlepiej robić to tylko na jednym lub dwóch wybranych komputerach w rzędzie).

Zadanie 7 (2)

1. Jeden z komputerów w rzędzie podepnij do wejścia konsolowego przełącznika i uruchom (jako root) polecenie `picocom /dev/ttyS0`. Zmień ustawienia/wykonaj polecenia na przełączniku:
   - `terminate auto install: yes`
   - `enter auto configuration: no`
   - `enable`
   - `configure terminal`
   - `no spanning-tree vlan 1`
2. Jeśli nie działoby się nic spektakularnego, wykonaj komendę `ping` na adres z sieci zdefiniowanej dla rzędu, ale który jest nieprzydzielony żadnemu komputerowi w laboratorium.