

SIECI KOMPUTEROWE

wykład dla kierunku informatyka

semestr 4 i 5

dr inż. Michał Sajkowski

Instytut Informatyki PP

pok. 227G PON PAN, Wieniawskiego 17/19

Michal.Sajkowski@cs.put.poznan.pl

tel. +48 (61) 8 582 100

<http://www.man.poznan.pl/~michal/>

zakres wykładów

- 1. Podstawy
- 2. Sieci łączy bezpośrednich
- 3. Komutacja pakietów
- 4. Współdziałanie sieci
- 5. Protokoły końcowe
- 6. Rozległe sieci komputerowe
- 7. Operacje na danych
- 8. Kontrola przeciążenia i zarządzanie siecią
- 9. Szybkie sieci komputerowe

literatura do wykładu

- **podstawowa (textbook):**

L.L. Peterson, B.S. Davie

Sieci komputerowe - podejście systemowe

Nakom, Poznań 2000

- **uzupełniająca (references):**

V.Amato, W. Lewis (red)

Akademia sieci Cisco, Mikom Warszawa 2001

D.E. Comer

Sieci i intersieci, WNT Warszawa 2000

sieci komputerowe

wykład 1 - podstawy

literatura podstawowa

wykład prawie w całości przygotowany na podstawie
tekstu i rysunków
z rozdziału 1 w książce:

L.L. Peterson, B.S. Davie
„Sieci komputerowe. Podejście systemowe”
Wydawnictwo Nakom, Poznań 2000

definicja sieci komputerowej

- system wzajemnych powiązań stacji roboczych, urządzeń peryferyjnych i innych urządzeń

Akademia Sieci Cisco 2001

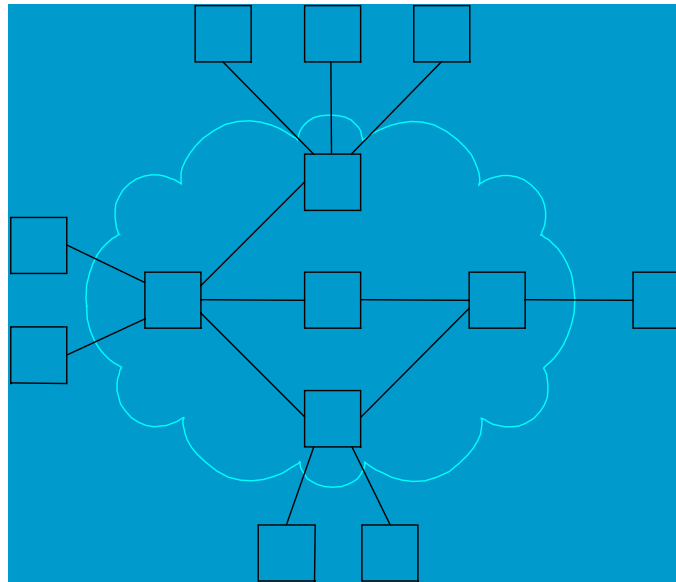
- zbiór zlokalizowanych oddzielnie komputerów połączonych w celu wykonania określonego zadania

Tanenbaum 1996

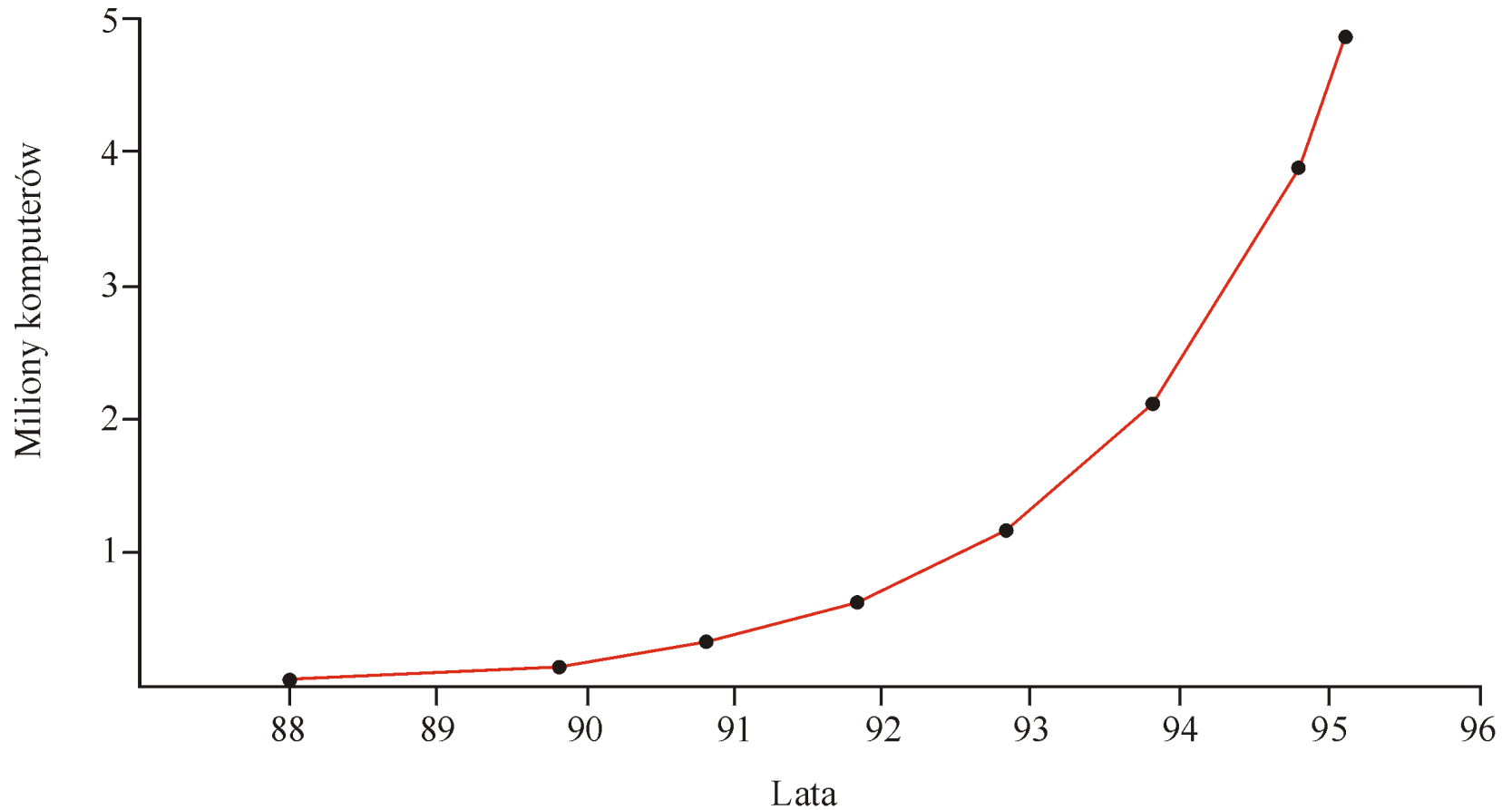
- zbiór komputerów połączonych podsiecią komunikacyjną

Wielka księga Internetu 1997

ilustracja definicji sieci komputerowej



motywacja - lawinowy przyrost sieci



motywacja - lawinowy przyrost sieci

- **nowe funkcje w aplikacjach** - dodawane w prosty sposób
- **nowe funkcje wewnątrz sieci** - np. wybór trasy w rozsyłaniu grupowym → telekonferencje
- **przyrost mocy obliczeniowej** → odtwarzanie dźwięku z pełną szybkością

motywacja - protokół przesyłania plików

```
% ftp
```

```
ftp> open ds.internic.net
```

```
Connected to ds.internic.net
```

```
[...]
```

```
220 ds.internic.net FTP server ready.
```

```
Name (ds.internic.net: bsd): anonymous
```

```
331 Guest login o.k. send ident as password.
```

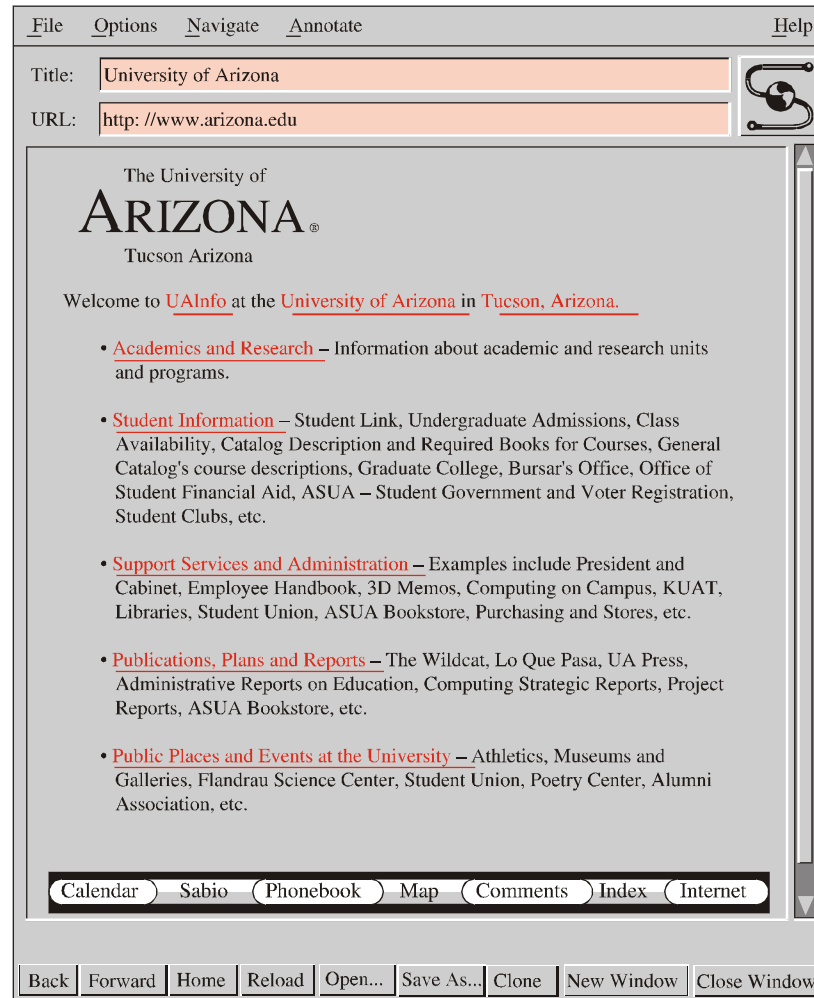
```
Password:
```

```
230 Guest login ok, access restriction apply.
```

motywacja - protokół przesyłania plików

```
ftp> cd rfc
250 CWD command successful.
ftp> get rfc-index.txt
200 PORT command successful.
150 Opening ASCII mode data connection for rfc-
    index.txt (245544 bytes).
226 Transfer complete.
local: rfc-index.txt  remote: rfc-index.txt
251257 bytes received in 1.2e+02 seconds (2
    Kbytes/s)
ftp> close
221 Goodbye.
```

motywacja - przeglądanie zasobów sieci

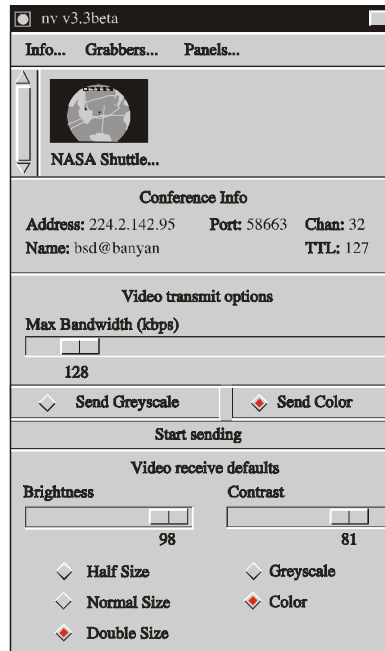


motywacja - przeglądanie zasobów sieci

<http://www.cs.princeton.edu>

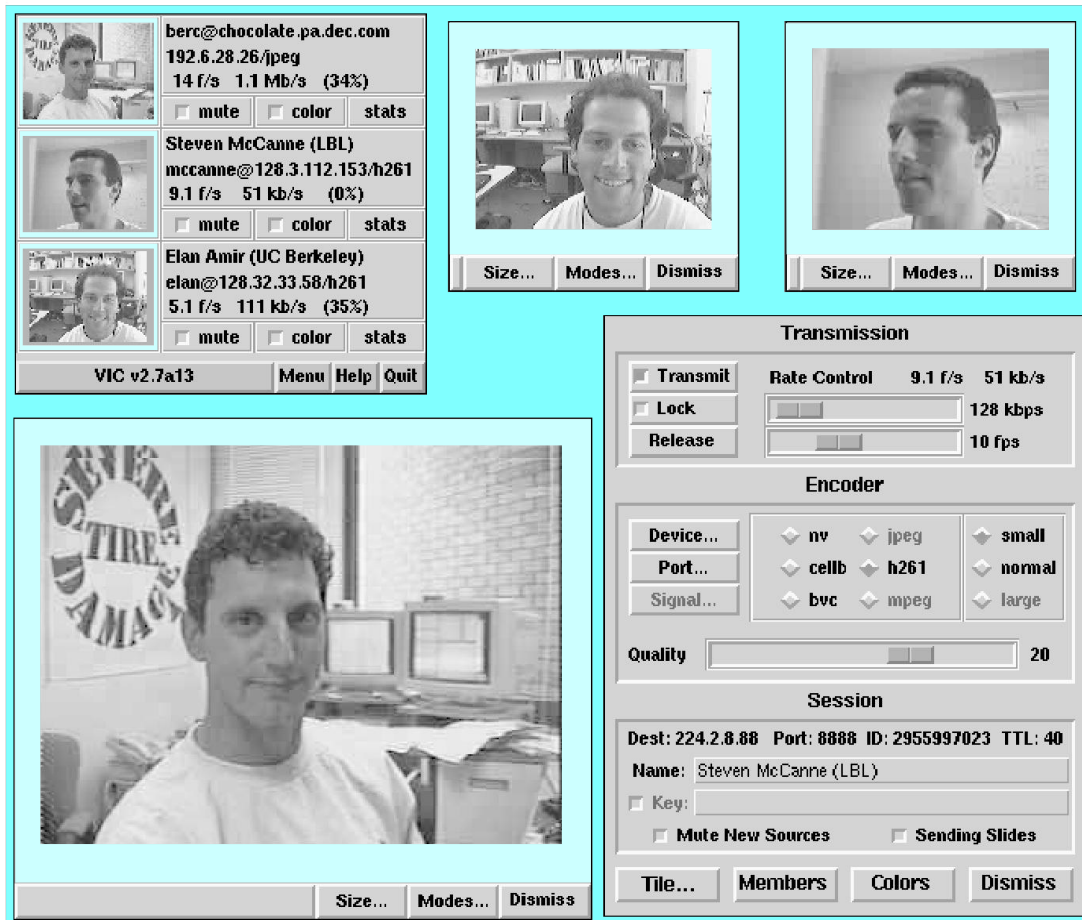


motywacja - rozsyłanie i odtwarzanie filmów



motywacja - wideokonferencja

<http://www.mkp.com/> Peterson&Davie, Computer Networks: A Systems Approach, 2nd ed.



podjęcie systemowe

- przeprowadzana na bieżąco *analiza efektywności* omawianych aktualnie składników sieci
- zrozumienie pojęć podstawowych i odpowiedź na pytanie:
dlaczego sieci są projektowane w taki sposób jaki są
- stałe odwoływanie się do zestawu *zasad projektowania*

czego oczekujemy od sieci?

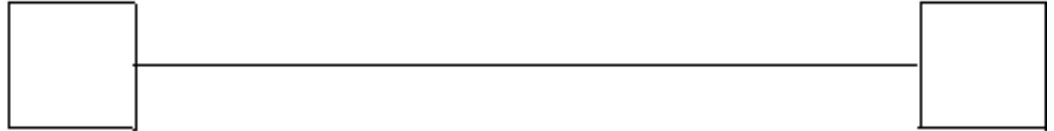
- z punktu widzenia:
 - użytkownika** (usługi i gwarancje)
 - projektanta** (efektywne wykorzystanie zasobów)
 - dostawcy** (łatwe zarządzanie i naprawa)
- cechy wymagane od sieci:
 - spójność**
 - wydajny podział zasobów**
 - funkcjonalność**
 - efektywność**

spójność

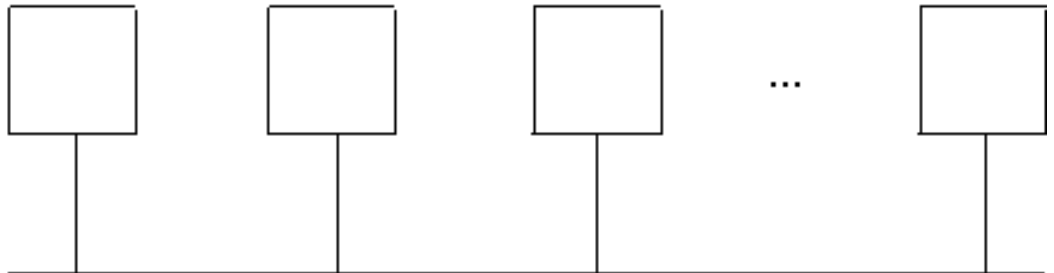
- **spójność** - połączenie między zbiorem komputerów
- **skalowalność** - powiększanie systemu do dowolnego rozmiaru
- **poziomy połączeń:**
najniższy: medium fizyczne zwane **łączem**,
łączy komputery, zwane **węzlami**

łącza bezpośrednie

- dwupunktowe:

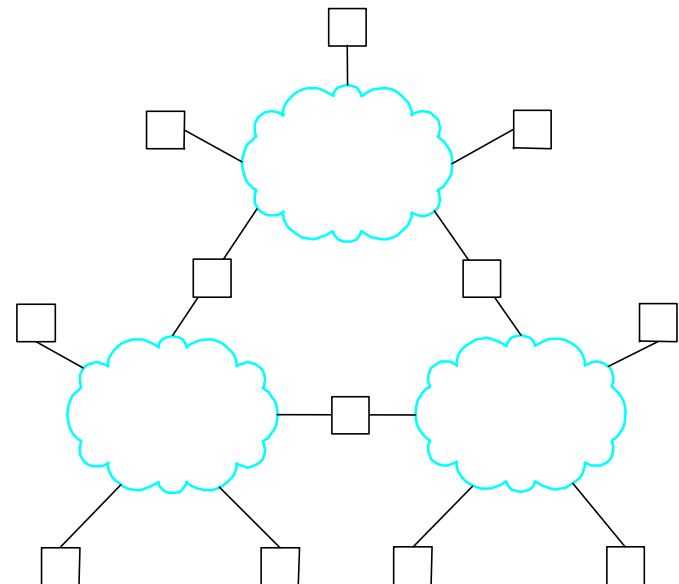
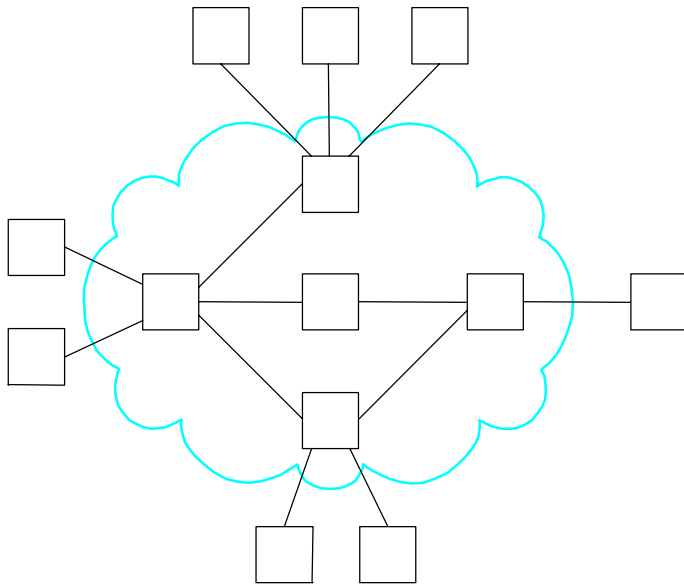


- wielodostępne:

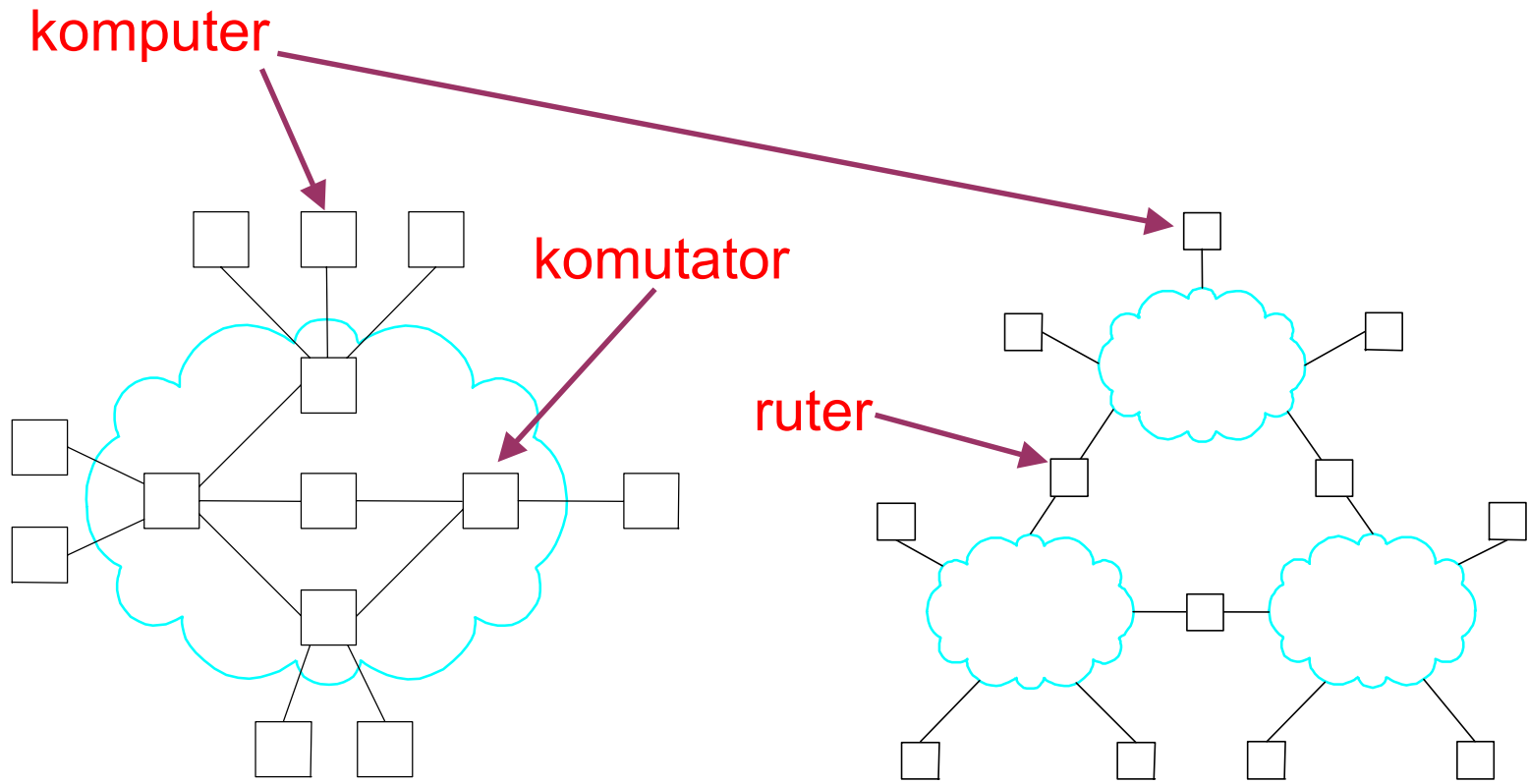


sieć komutowana

- Sieć można zdefiniować rekursyjnie jako...
 - co najmniej dwa węzły połączone łączem
 - co najmniej dwie sieci połączone przez co najmniej jeden węzeł



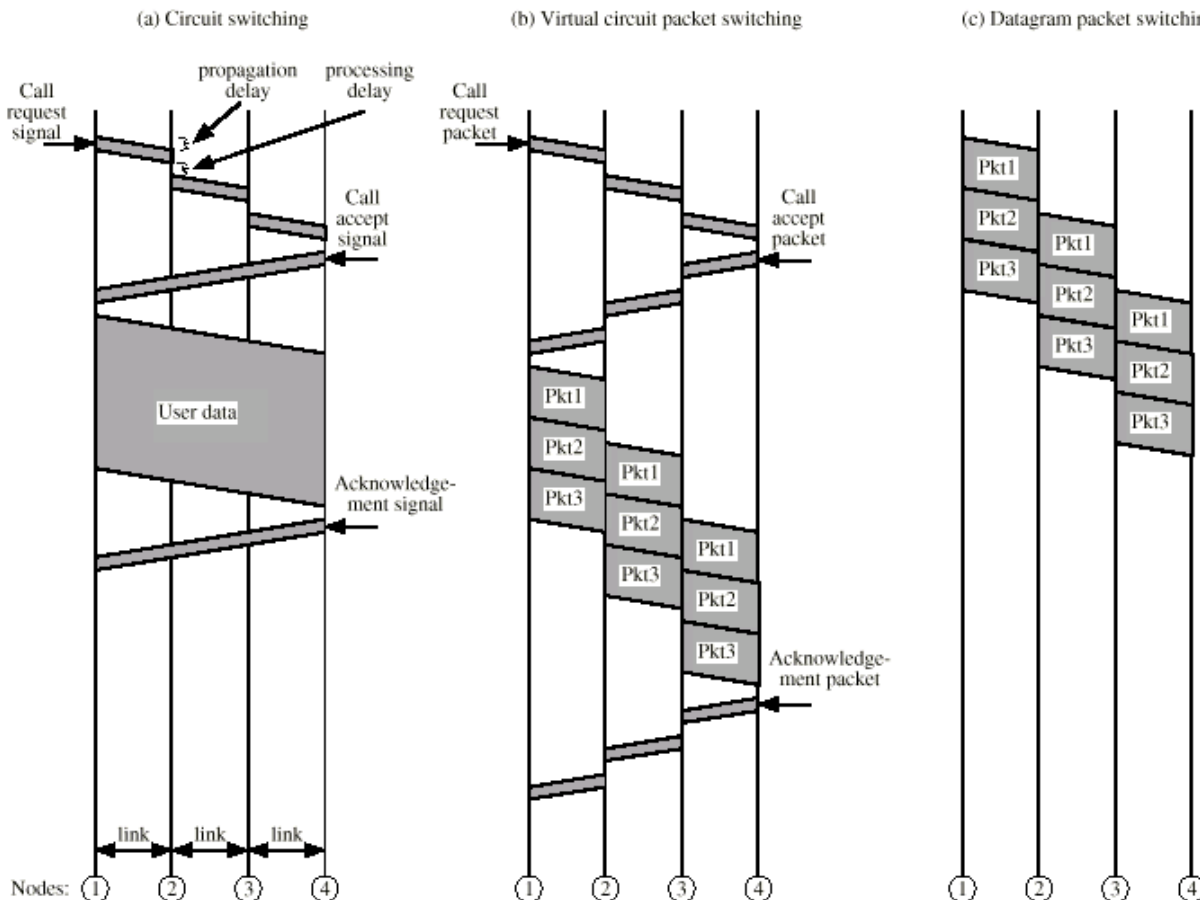
komputer, komutator, ruter



sieć komutowana - rodzaje

the figure from: <http://WilliamStallings.com/DCC6e.html>

sieć z komutacją kanałów sieć z komutacją pakietów
kanałów kanały wirtualne datagramy

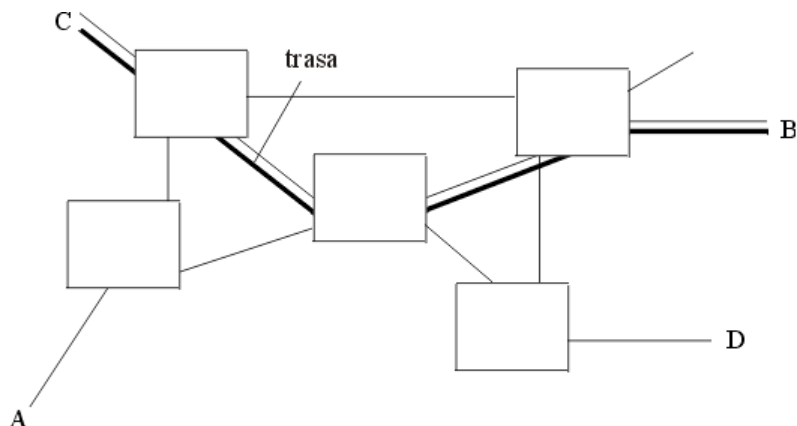


sieć komutowana

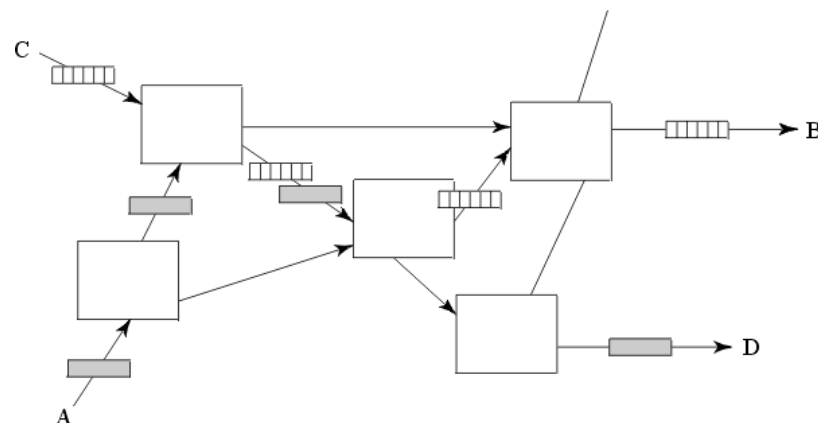
the figures from: <http://www.mkp.com/>: Walrand&Varaiya, High-Performance Communication Networks, 2nd ed., Morgan Kaufmann Publishers 1999

- **dwie najpopularniejsze**

- **sieć z komutacją kanałów**



- **sieć z komutacją pakietów**



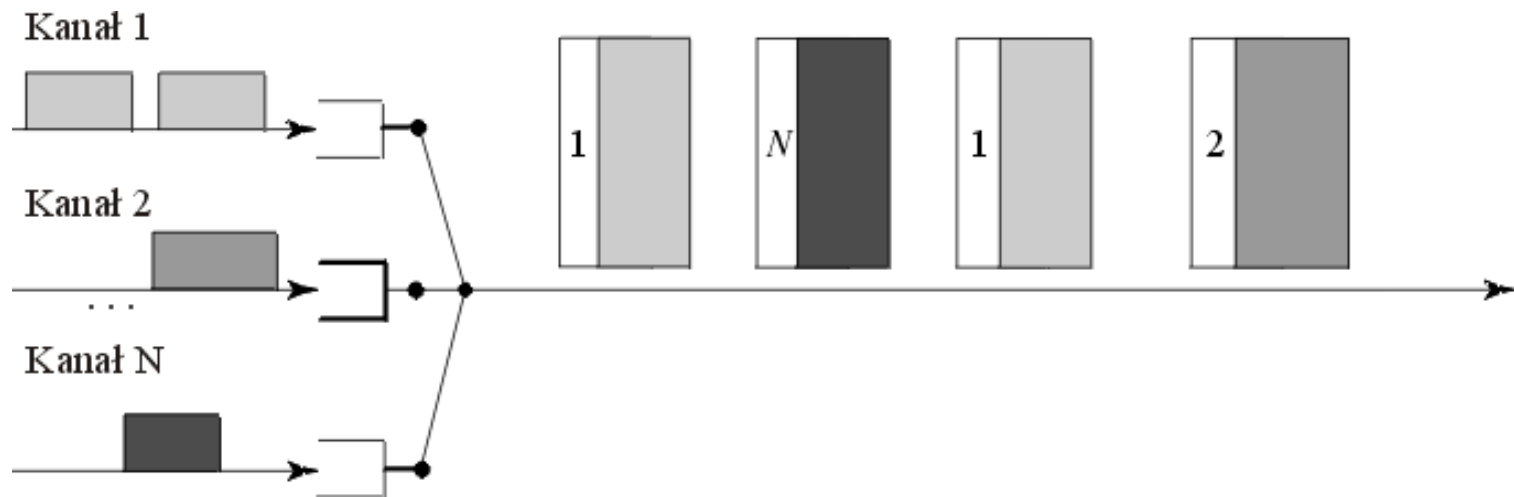
komutacja kanałów a komutacja pakietów

- Komutacja kanałów
 - komunikat przesyłany w całości
 - wydzielony kanał jako sekwencja kolejnych łączy
 - kanał ustanowiony na czas trwania połączenia
 - małe opóźnienie przetwarzania
- komutacja pakietów
 - komunikat podzielony na pakiety o zmiennym rozmiarze
 - strategia *zapamiętaj i prześlij*
 - opóźnienia przetwarzania i kolejkowania różnią się dla pojedynczego węzła i pakietu

komutacja pakietów

the figure from: <http://www.mkp.com/> Walrand&Varaiya, High-Performance Communication Networks, 2nd ed., Morgan Kaufmann Publishers 1999

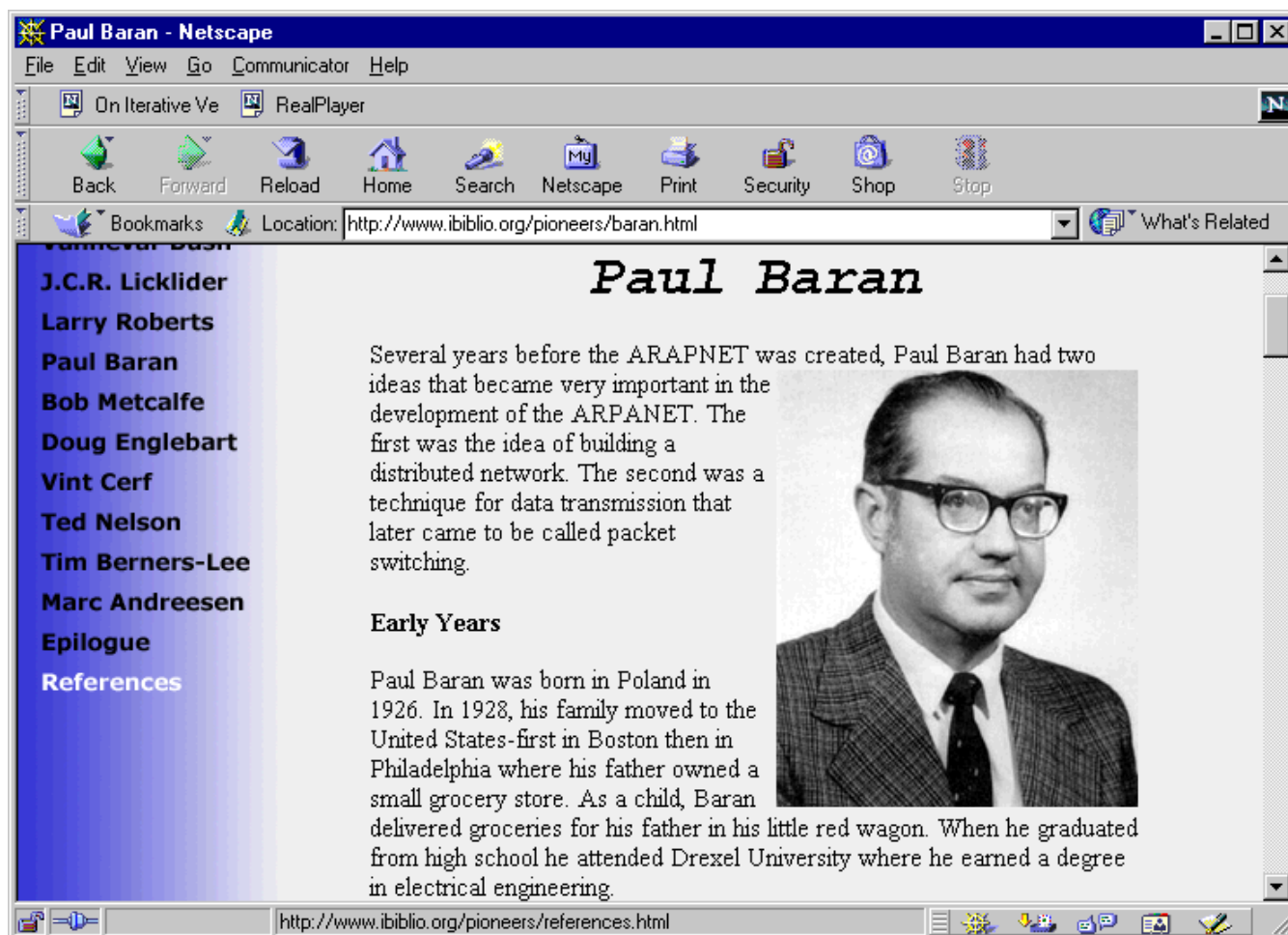
- jest najlepszą strategią realizującą efektywność sieci komputerowej - wykorzystuje **multipleksację statystyczną (SM)** (Peterson& Davie, str. 34)



Paul Baran

idea komutacji pakietów (1964)

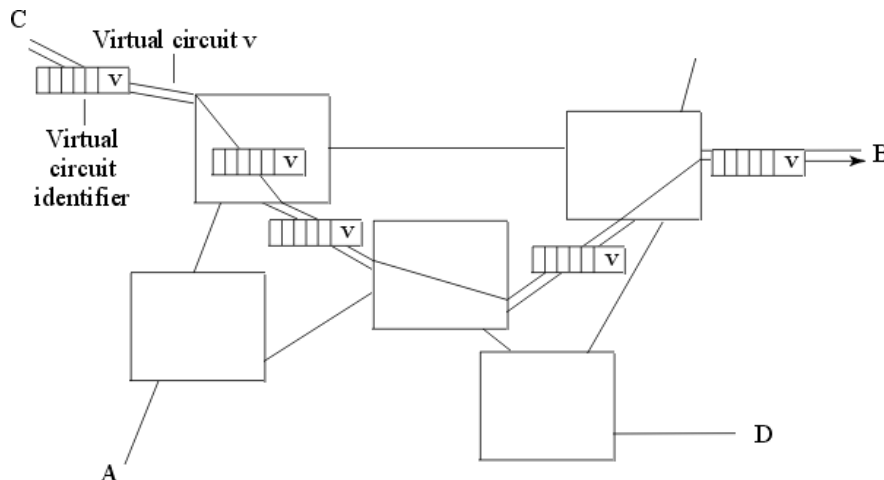
<http://www.ibiblio.org/pioneers/>



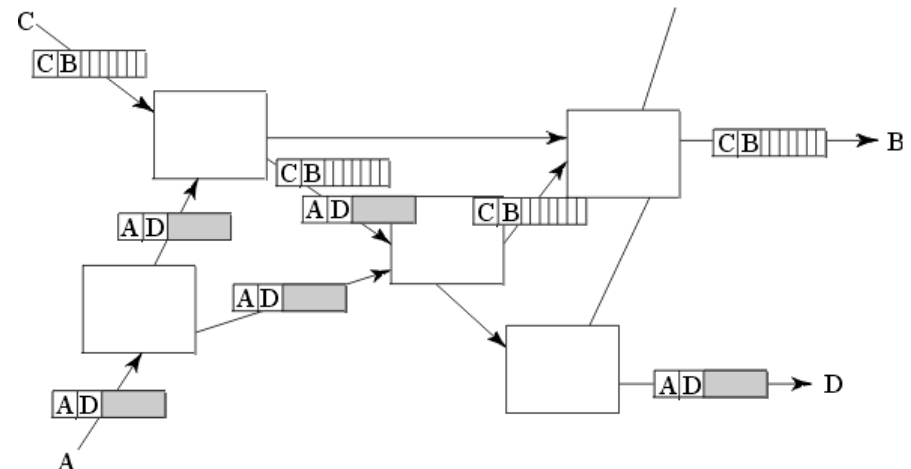
dwa rodzaje komutacji pakietów

the figures from: <http://www.mkp.com/>: Walrand&Varaiya, High-Performance Communication Networks, 2nd ed., Morgan Kaufmann Publishers 1999

– kanały wirtualne



– datagramy



kanały wirtualne a datagramy

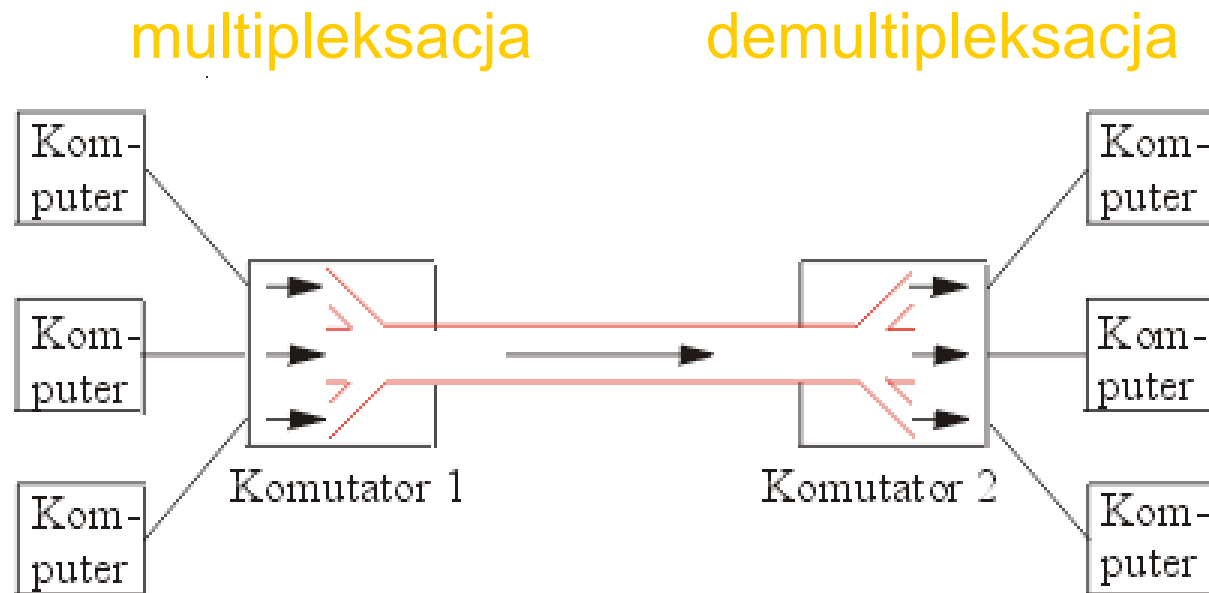
- kanały wirtualne
 - sieć zapewnia *kolejność* i *kontrolę błędów*
 - pakiety można kierować *szybciej* (nie ma decyzji o wyborze trasy)
 - *bardziej zawodne* (strata węzła prowadzi do straty wszystkich kanałów przechodzących przez ten węzeł)
- datagramy
 - *brak fazy nawiązywania połączenia* (lepsze dla kilku pakietów, każdy pakiet wymaga decyzji o wyborze trasy)
 - *elastyczniejsze* (wybór innej trasy w celu uniknięcia przeciążonej części sieci)

wydajny podział zasobów

- efektywność - jest kluczowym wymaganiem nakładanym na sieć komputerową - stąd *komutacja pakietów* i *multipleksacja*
- multipleksacja
- demultipleksacja
- synchroniczna multipleksacja z podziałem czasu (STDM)
- multipleksacja z podziałem częstotliwości (FDM)
- multipleksacja statystyczna (SM)

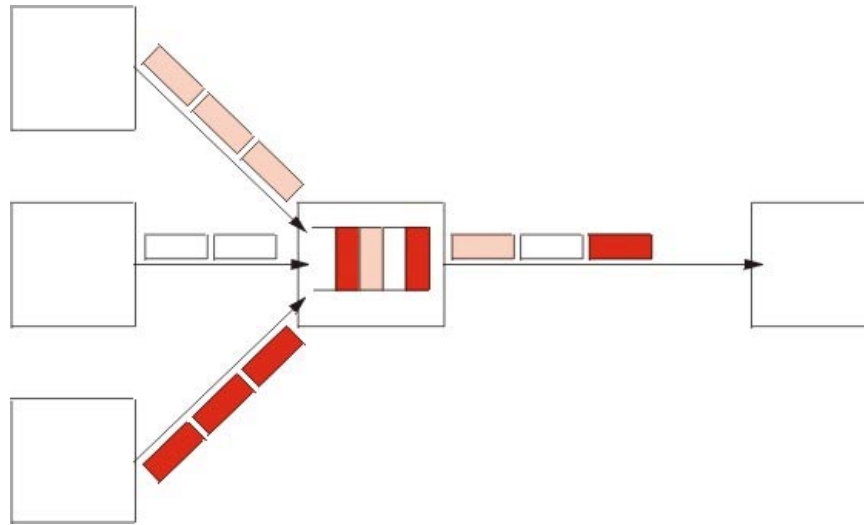
ogólna zasada multipleksacji

- *multipleksacja* wielu logicznych przepływów *na* jednym łączu fizycznym:



synchroniczna multipleksacja z podziałem czasu (STDM)

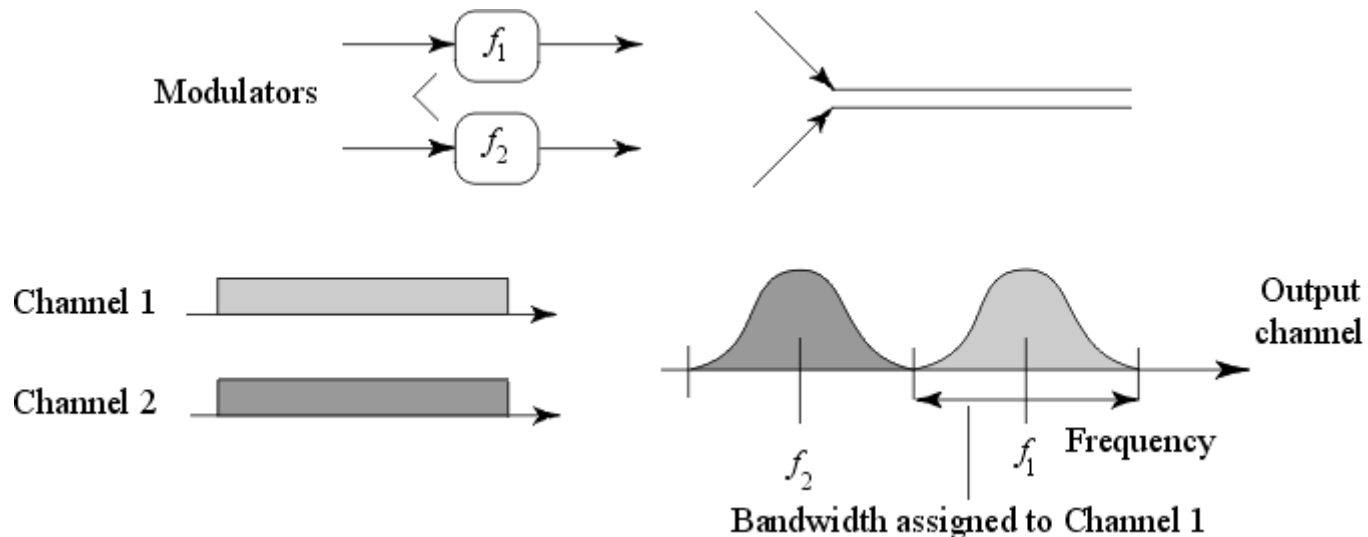
- podział czasu na kwanty o jednolitym rozmiarze i danie szansy każdemu przepływowi na przesłanie danych przez łącze fizyczne w trybie karuzelowym (round-robin) (zastosowanie: sieci telefoniczne)



multipleksacja z podziałem częstotliwości (FDM)

the figure from: <http://www.mkp.com/> Walrand&Varaiya, High-Performance Communication Networks, 2nd ed., Morgan Kaufmann Publishers 1999

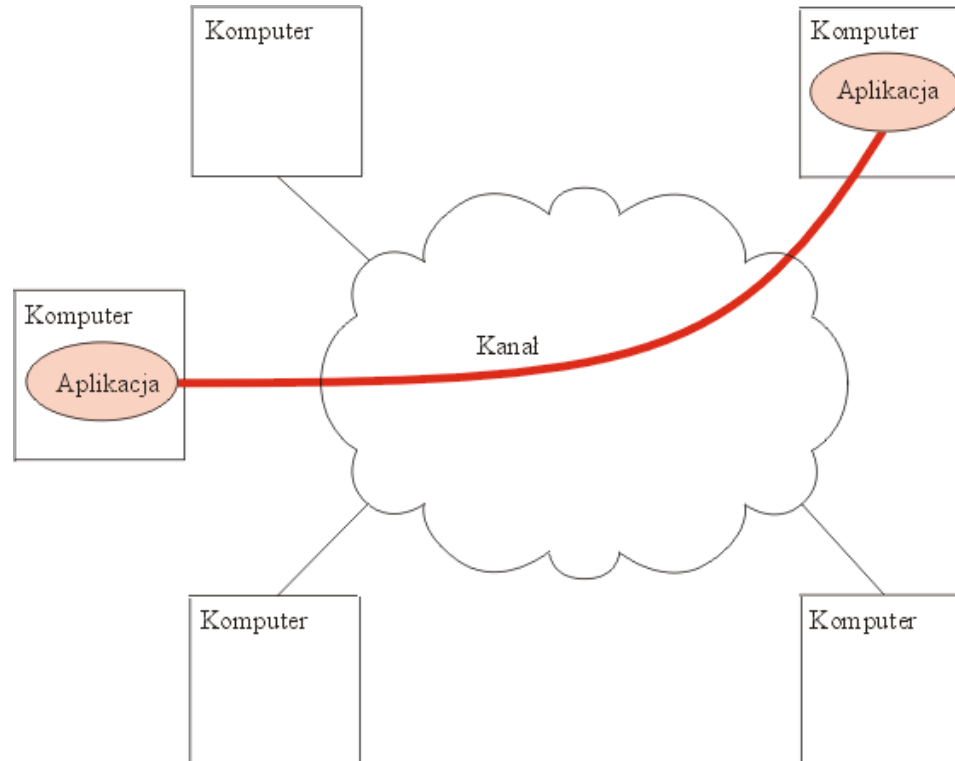
- nadawanie każdego przepływu na łączu fizycznym z różną częstotliwością (zastosowanie: telewizja)



funkcjonalność

- identyfikacja wspólnych wzorców komunikacji
- niezawodność

cel: porozumiewanie się aplikacji:



funkcjonalność

- identyfikacja wspólnych wzorców komunikacji (kanałów abstrakcyjnych) dla aplikacji
- kanał abstrakcyjny typu *żądanie/odpowiedź*:
zastosowanie: *przesyłanie plików, biblioteka cyfrowa*
- kanał abstrakcyjny typu *strumień komunikatów*:
zastosowanie: *wideo na żądanie, telekonferencja*
- **tendencja**: jak najmniejsza liczba typów kanałów abstrakcyjnych

niezawodność

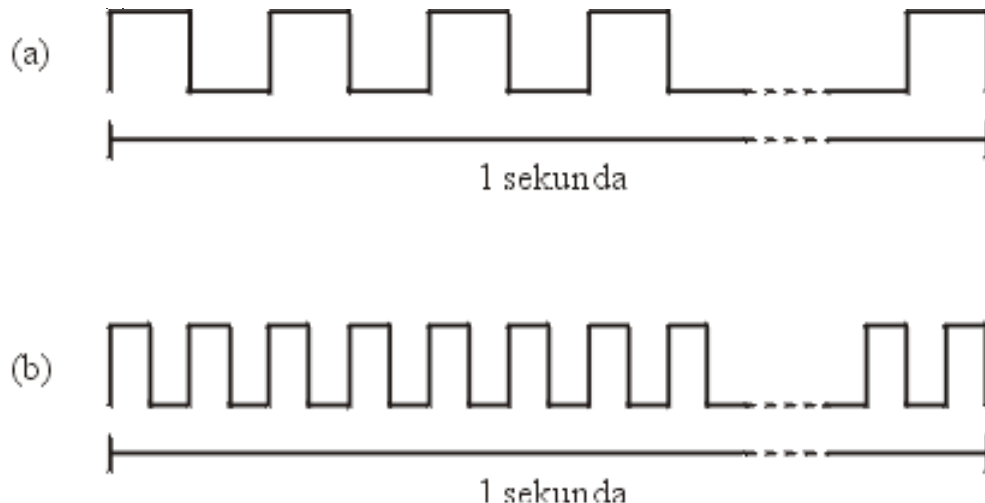
- 3 klasy uszkodzeń:
- **poziom bitu** (błąd bitu):
 - jeden bit (zamiana 0 i 1 lub odwrotnie)
 - kolejne bity (błąd seryjny)
 - 10^{-6} - 10^{-7} (**miedź**), 10^{-12} - 10^{-14} (**światłowód**)
- **poziom pakietu** (błąd pakietu):
 - cały pakiet stracony (nienaprawialny, źle skierowany, odrzucony z powodu przeciążenia)
- **poziom węzła i łącza** (błąd węzła i łącza):
 - awaria komputera, łącze przecięte

efektywność

- skuteczność obliczeń rozproszonych zależy bezpośrednio od wydajności, z jaką sieć dostarcza dane
- efektywność sieci mierzymy na podstawie dwóch wielkości: *szerokości pasma* i *opóźnienia*

szerokość pasma

- *szerokość pasma* jest wyrażona przez liczbę bitów, które mogą być przesłane przez sieć w pewnym czasie (*szerokość pasma* można wyobrazić sobie za pomocą ilości czasu, jaki zajmuje sieci przesłanie każdego bitu danych: $1\mu\text{s}$ dla 1Mb/s , $0.5\mu\text{s}$ dla 2Mb/s)



szerokość pasma a przepustowość

- *szerokość pasma* i *przepustowość* są mylone
- szerokość pasma *łącza analogowego* (Hz), np. głosowe łącze telefoniczne: 3300Hz-300Hz=3000 Hz
- szerokość pasma *łącza cyfrowego* (b/s), np. Ethernet 10 Mb/s
- przepustowość odnosi się do *mierzonej efektywności systemu*, np. łącze o szerokości pasma 10 Mb/s może osiągnąć przepustowość jedynie 2 Mb/s, ze względu na określone uwarunkowania implementacji
- wymagania na przepustowość *ze strony aplikacji*

opóźnienie

- dotyczy *czasu*, w jakim pojedynczy bit *przemieszcza się z jednego końca sieci na drugi*
 - *czas podróży w obie strony* (*round_trip time*, RTT)
 - *opóźnienie* = opóźnienie propagacji + czas transmisji + czas kolejkowania
 - *opóźnienie propagacji* = odległość/prędkość światła*
 - *czas transmisji* = rozmiar/szerokość pasma
- * w kablu miedzianym $2,3 \cdot 10^8$ m/s
- * w światłowodzie $2,0 \cdot 10^8$ m/s
- * w próżni $3,0 \cdot 10^8$ m/s

obserwowane opóźnienie w funkcji RTT

obiekt 1MB

istotna

prędkość łącza,
nieistotny RTT

obiekt 2kB

prędkość łącza

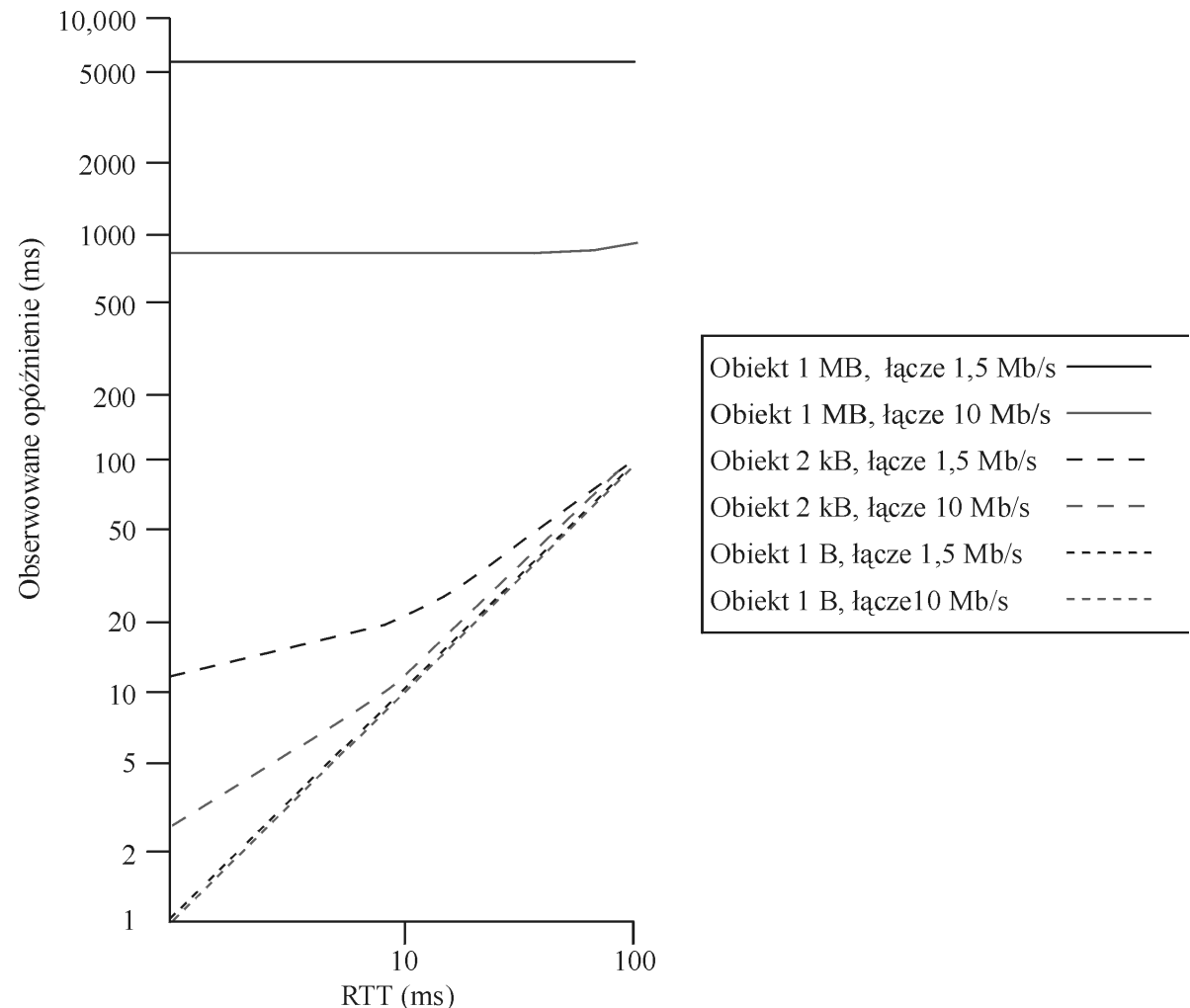
istotna dla $RTT=1ms$,
nieistotna dla
 $RTT=100ms$

obiekt 1 bajt

opóźnienie równe

RTT, nieistotna

prędkość łącza



iloczyn opóźnienie \times szerokość pasma

- sieć interpretowana jako *rura*:
- iloczyn opóźnienie \times szerokość pasma daje *objętość rury*, czyli *liczbę bitów, którą może ona pomieścić*



- jest to ilość bitów, jaką nadajnik musi wysłać, zanim pierwszy bit dotrze do odbiornika
- np. dla $d=50\text{ms}$ i $b=45\text{ Mb/s}$, $d \times b = 50 \cdot 10^{-3}\text{s} \cdot 45 \cdot 10^6\text{ b/s} = 2,25 \cdot 10^6\text{ b} \sim 280\text{kB}$
- przy transmisji w obie strony ilość ta się podwaja

wymagania aplikacji na efektywność

- wymagania aplikacji na *szerokość pasma*: określenie *średnich* wymagań
- wymagania aplikacji na *opóźnienie*: określenie *fluktuacji opóźnienia* (opóźnienia z pakietu na pakiet), mówimy wtedy, że *sieć ma wprowadzoną fluktuację opóźnienia*
- *przykład*: jeżeli ramka wideo przychodzi *wcześniej*, jest zapamiętana do chwili odtworzenia, jeżeli *później*, jakość obrazu spada.
- *rozwiązanie problemu*: opóźnić odtwarzanie filmu wideo.

ile to jest jedno mega?

- 2^{20}

rozmiar komunikatu w megabajtach:

$$1\text{MB} = 2^{20} \text{ bajtów}$$

- 10^6

prędkość łącza w megabitach na sekundę:

$$1\text{Mb/s} = 10^6 \text{ bitów/s}$$

- podobnie:

$$1\text{kB} = 2^{10} \text{ bajtów}, 1\text{kb/s} = 10^3 \text{ bitów/s}$$

architektura sieci

- w celu uporania się ze złożonością sieci, stworzono ogólne ramy dla projektu sieci, zwane *architekturą sieci*
- *identyfikacja abstrakcji* dających użyteczną usługę i realizowalnych przez system (np. *kanal*)
- *abstrakcja* w sposób naturalny prowadzi do *warstw*
- *ogólny pomysł*: rozpoczęcie od usług świadczonych przez sprzęt i dodawanie kolejnych warstw
- *usługi świadczone przez wyższe warstwy* są realizowane za pomocą usług świadczonych przez niższe warstwy

warstwowy system sieciowy

programy aplikacyjne
kanały między procesami
łączność między komputerami
sprzęt

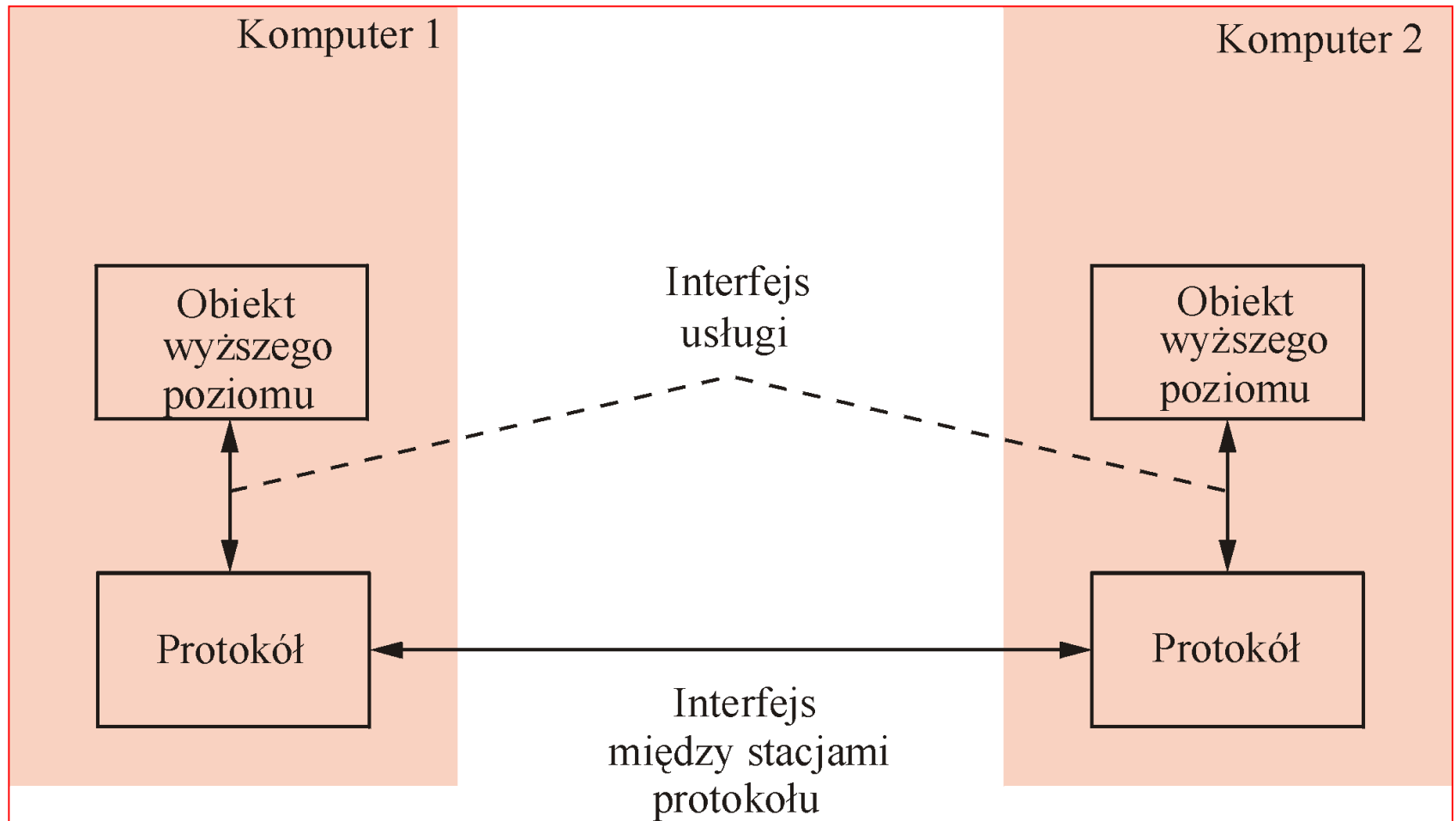
warstwowy system sieciowy z alternatywnymi abstrakcjami

programy aplikacyjne	
kanał żądanie/odpowiedź	kanał strumień komunikatów
łączność między komputerami	
sprzęt	

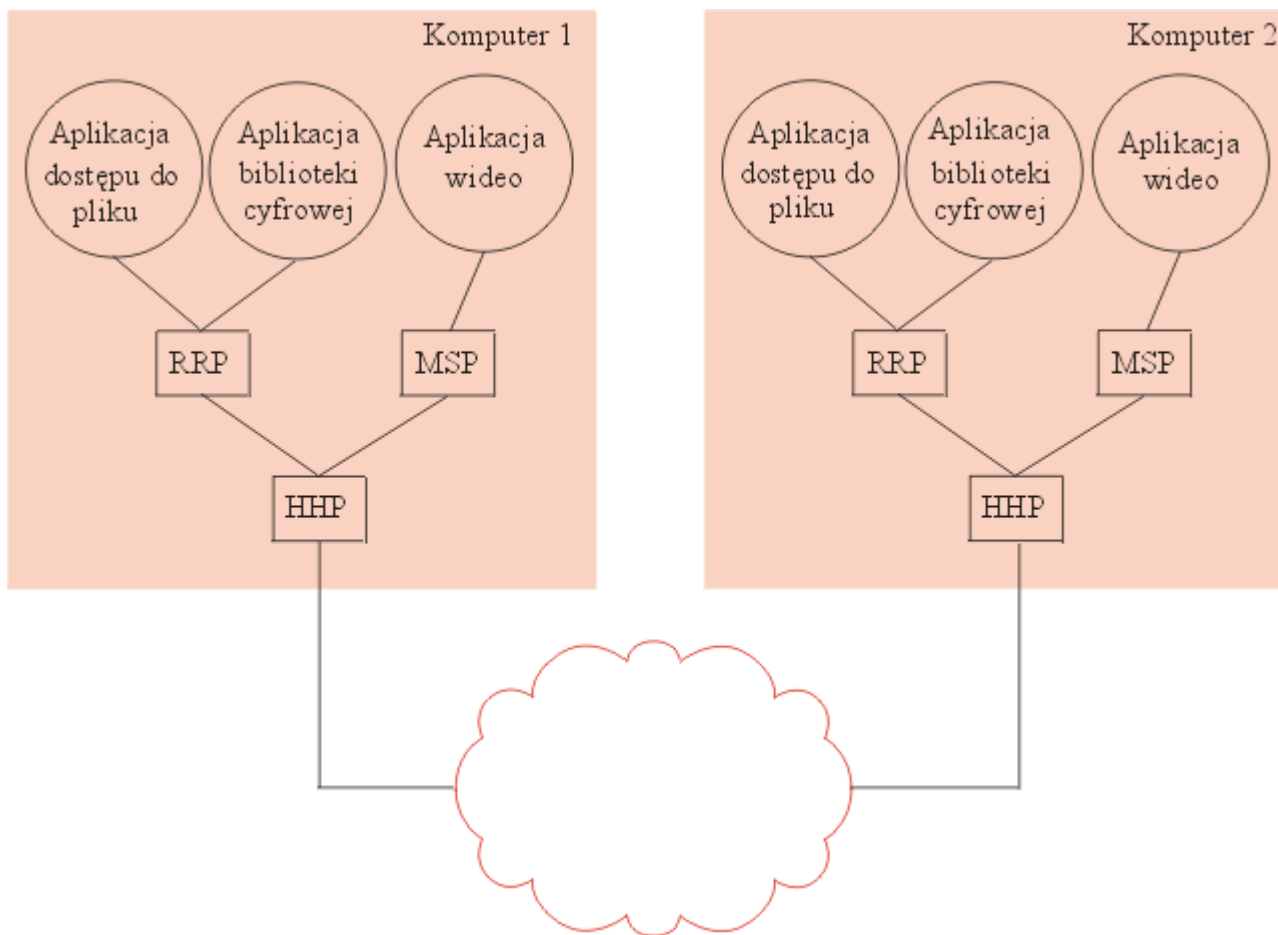
protokół

- obiekt abstrakcyjny tworzący warstwę systemu sieciowego nazywa się *protokołem*
- protokół wyświadcza *usługę komunikacyjną*, którą obiekty na wyższym poziomie (procesy aplikacyjne albo protokoły wyższego poziomu) stosują do wymiany komunikatów
- interfejsy: *interfejs usługi* do innych obiektów w tym samym komputerze, *interfejs stacji protokołu* do odpowiednika tego protokołu (*stacji protokołu*) w innym komputerze

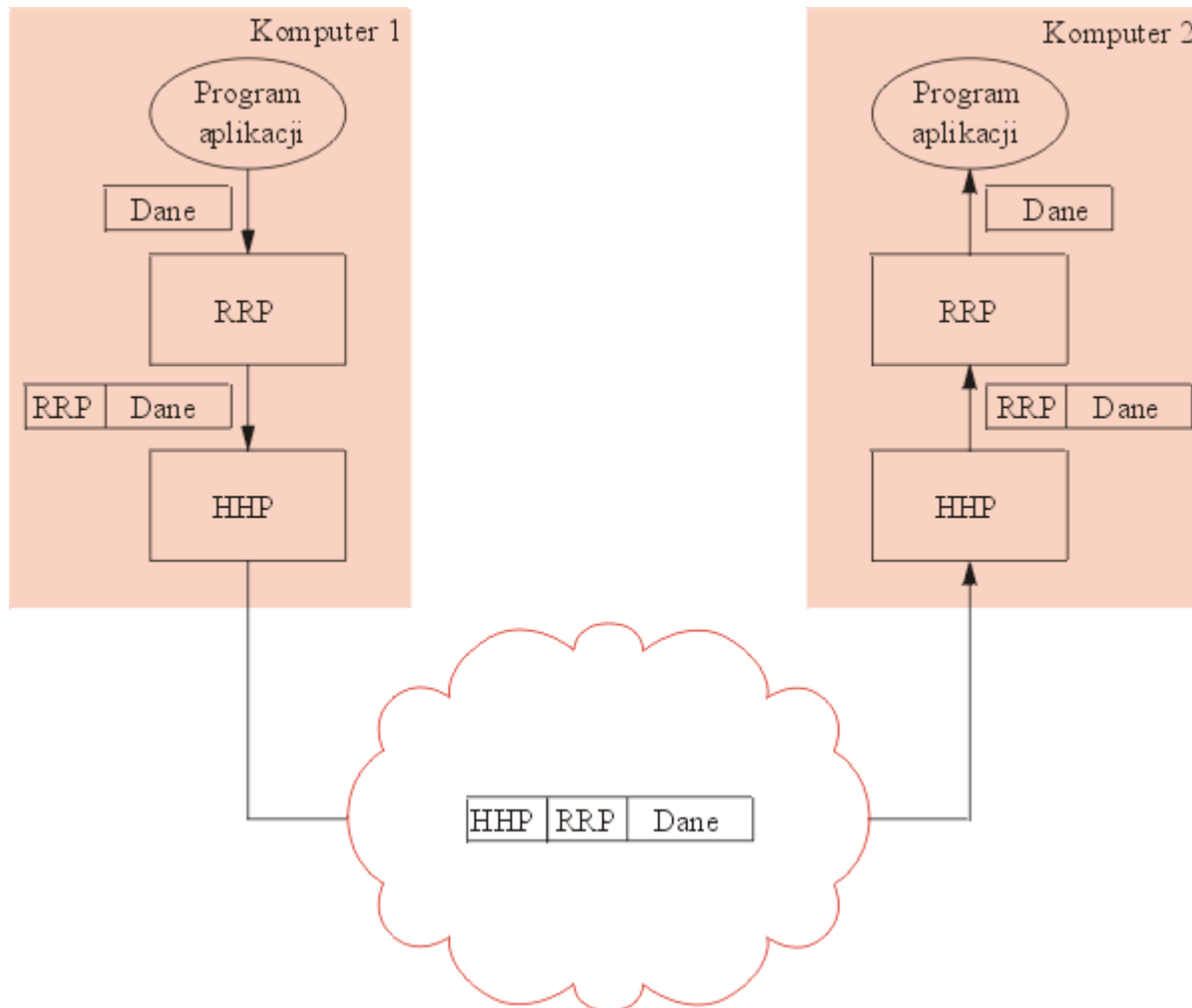
interfejsy definiowane przez protokół



graf protokołów

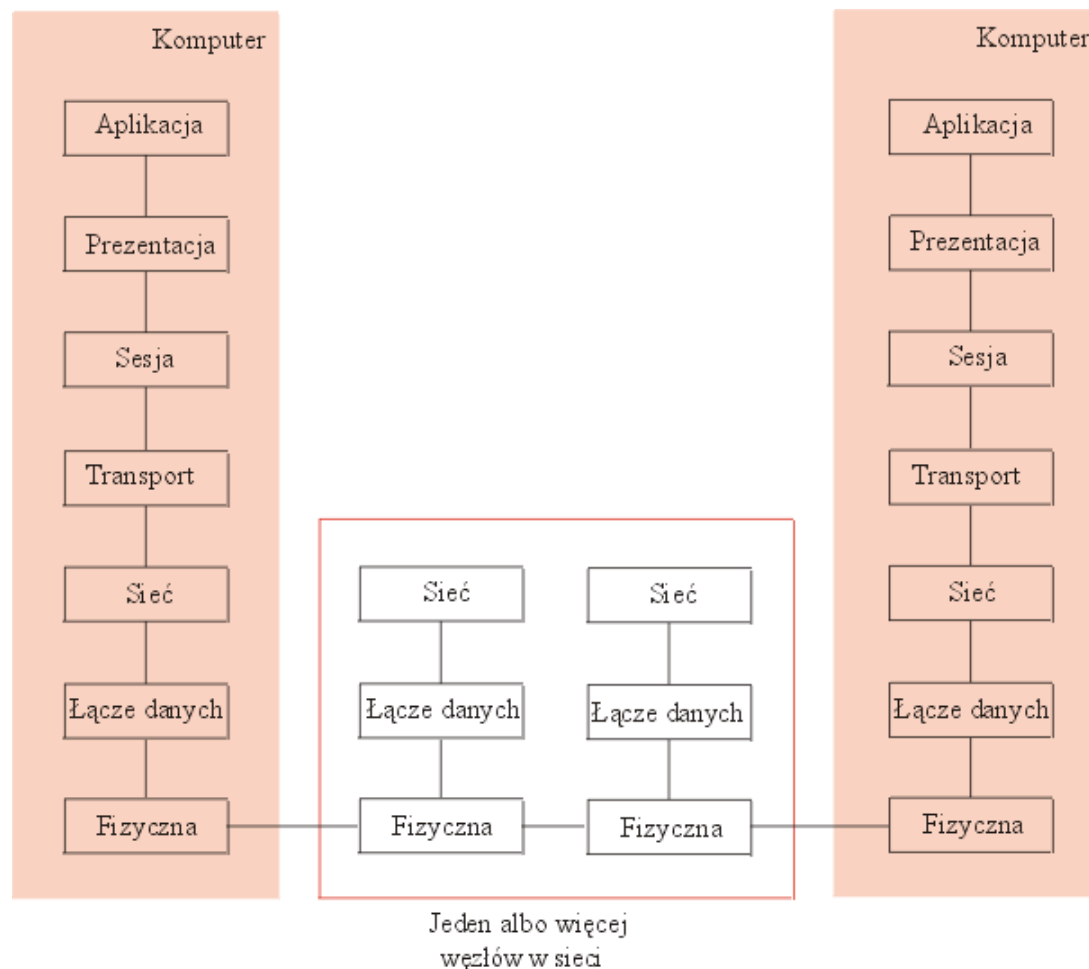


kapsułkowanie komunikatów

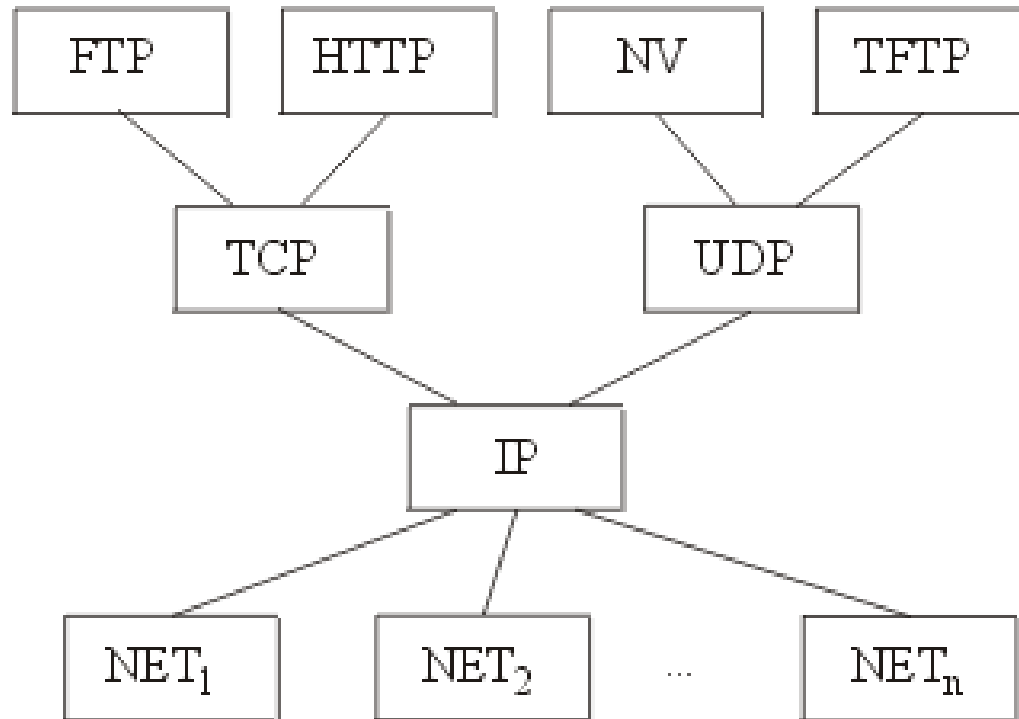


architektura OSI

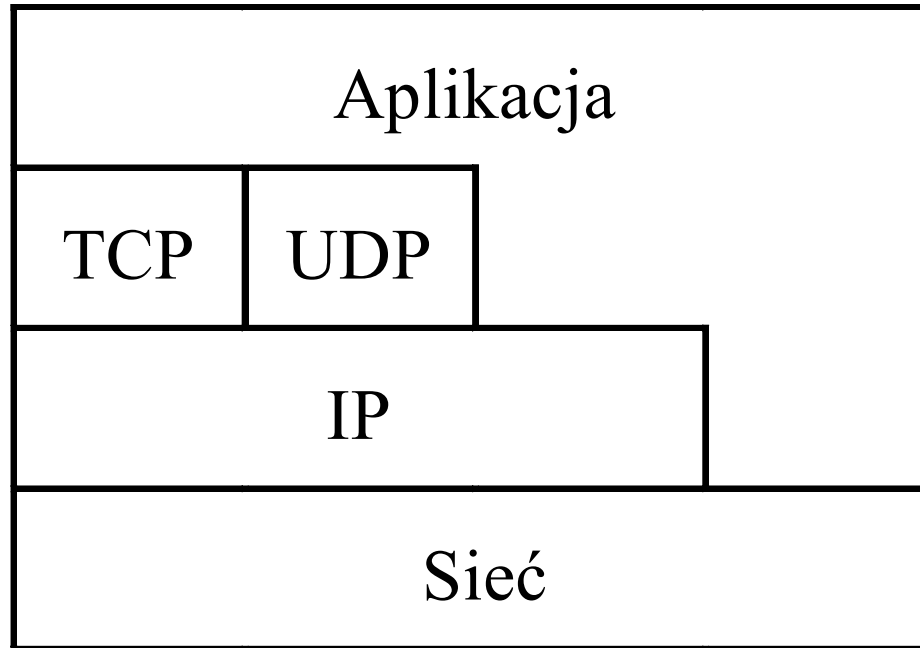
(Open Systems Interconnection architecture)



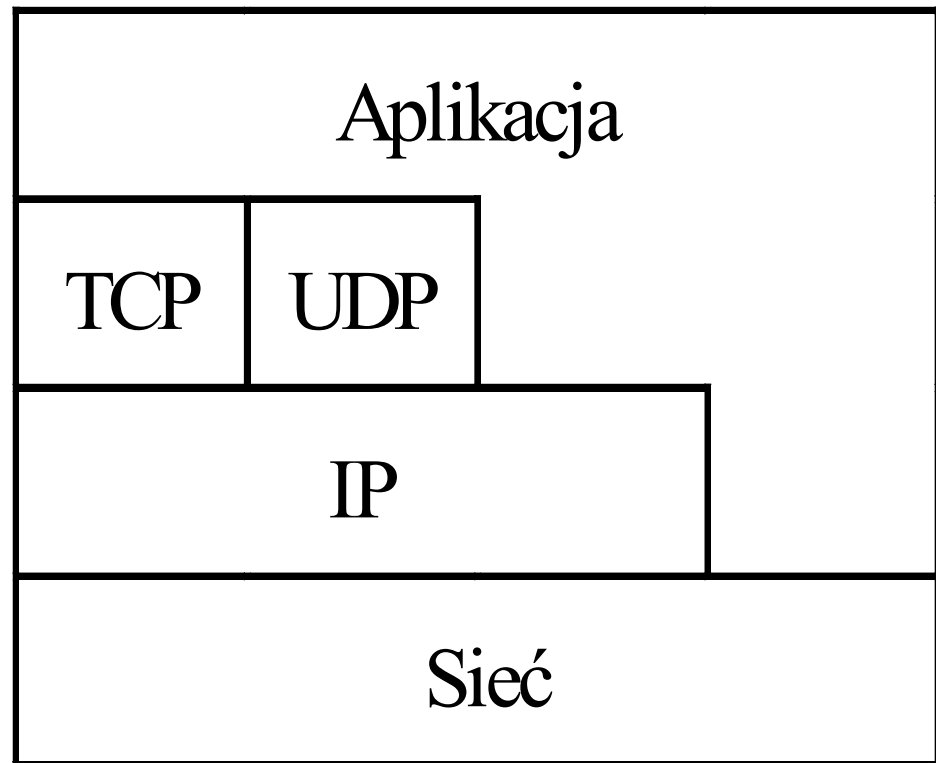
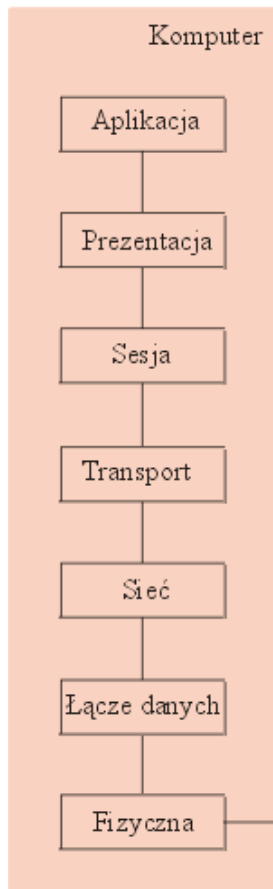
graf protokołów Internetu



architektura Internetu



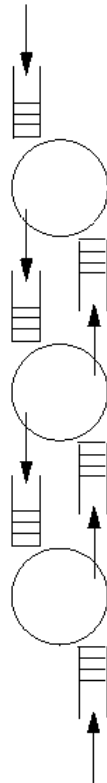
porównanie architektur OSI i Internetu



implementacja protokołu

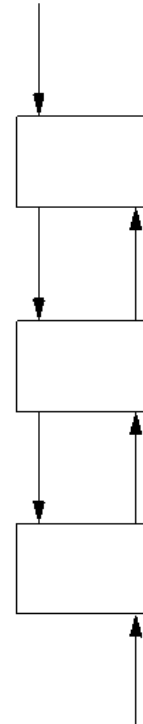
- Modele protokołu wykorzystujące pojęcie *procesu*:

*jeden proces
na protokół*



(a)

*jeden proces
na komunikat*



(b)

implementacja protokołu

- działania na komunikatach unikają *kopiowania danych*
- *zasada projektowa: operacje na komunikatach nie ruszają danych w komunikacie, operują jedynie na wskaźnikach*
- *zastosowanie:*
 - *dodawanie i usuwanie nagłówek*
 - *fragmentacja i składanie komunikatów*
 - *zagnieżdżanie danych w komunikatach*