

Tomasz Kacprzak

Bezprzewodowe sieci telekomunikacyjne

Analiza ruchu i protokoły komunikacyjne

Zadanie nr 30 – Dostosowanie kierunku Elektronika i Telekomunikacja
do potrzeb rynku pracy i gospodarki opartej na wiedzy



KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY



Prezentacja multimedialna
współfinansowana przez Unię Europejską
w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego
w projekcie

*„Innowacyjna dydaktyka bez ograniczeń
– zintegrowany rozwój Politechniki Łódzkiej –
zarządzanie Uczelnia,
nowoczesna oferta edukacyjna
i wzmacniania zdolności do zatrudniania
osób niepełnosprawnych”*



Politechnika Łódzka
Instytut Elektroniki

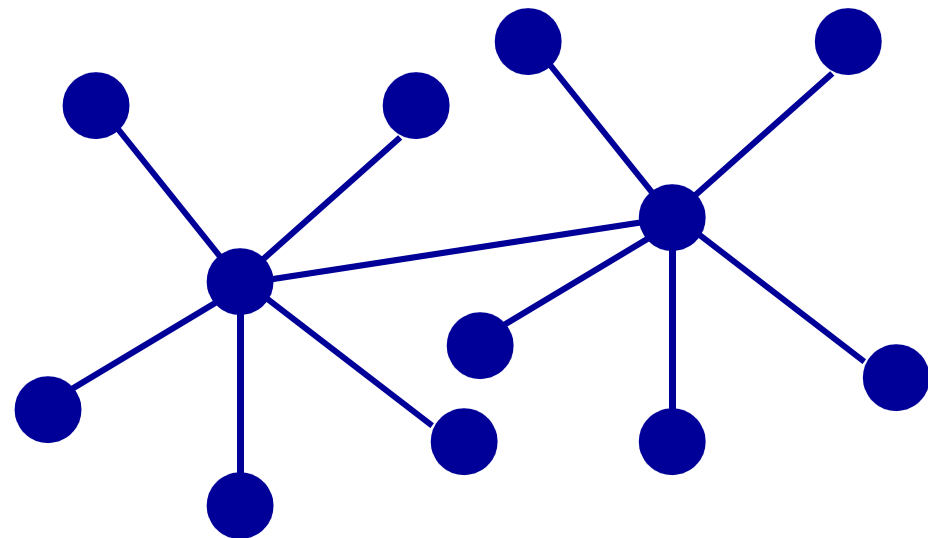
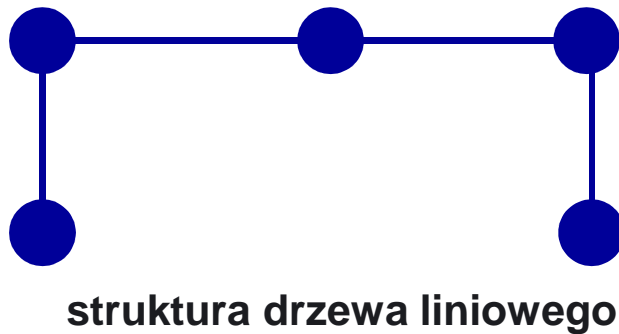
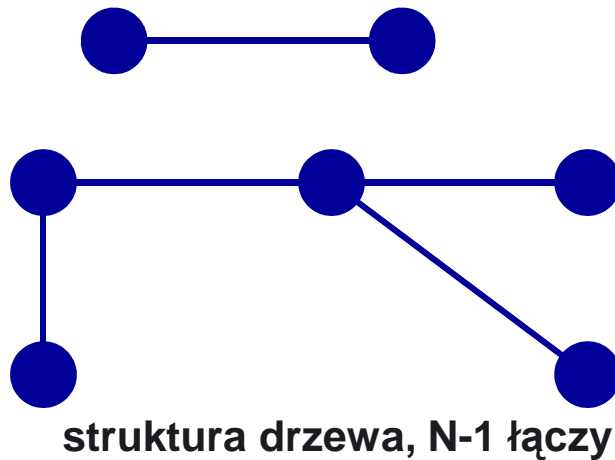
90-924 Łódź, ul. Żeromskiego 116,
tel. 042 631 28 83
www.kapitalludzki.p.lodz.pl



Topologie sieci telekomunikacyjnych (1)

Sieci bez nadmiarowości

N – liczba węzłów
 n – liczba łączy

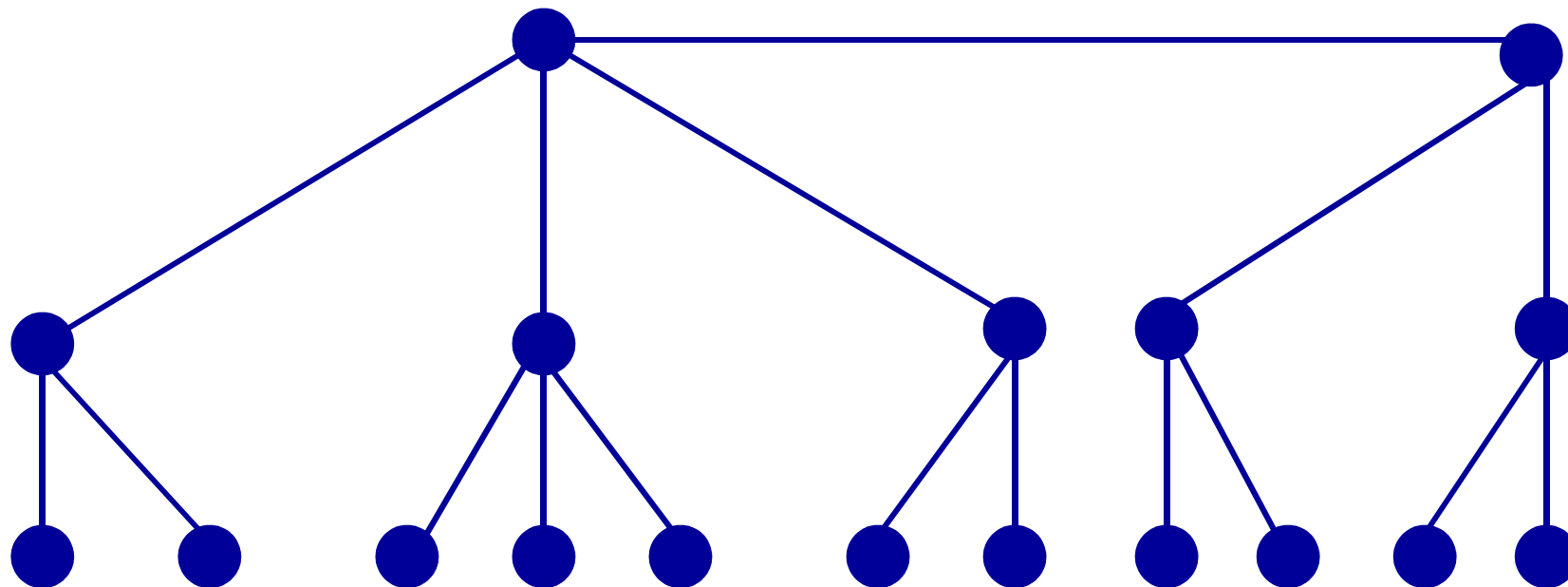


struktura wielogwiazdzista





Topologie sieci telekomunikacyjnych (2)

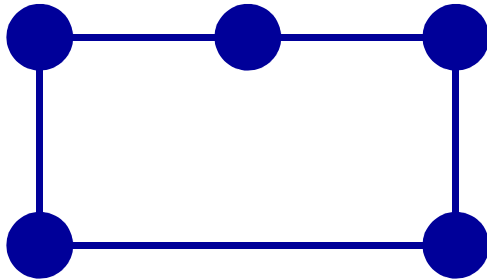


Struktura hierarchiczna (drzewiasta)

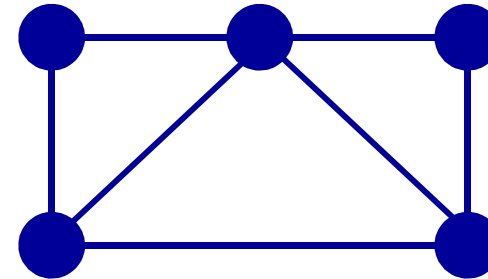


Topologie sieci telekomunikacyjnych (3)

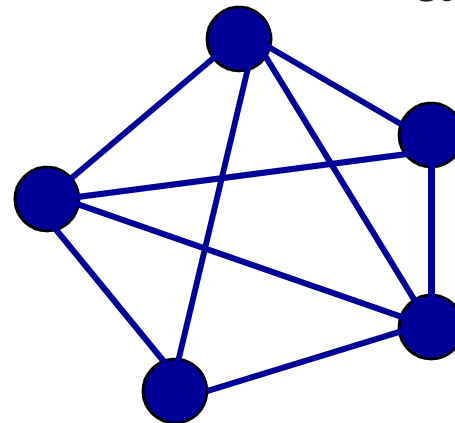
Sieci z nadmiarowością



struktura pierścieniowa, N łączy



struktura niezupełna $N < n < \frac{N(N-1)}{2}$



$$n = \frac{N(N-1)}{2}$$

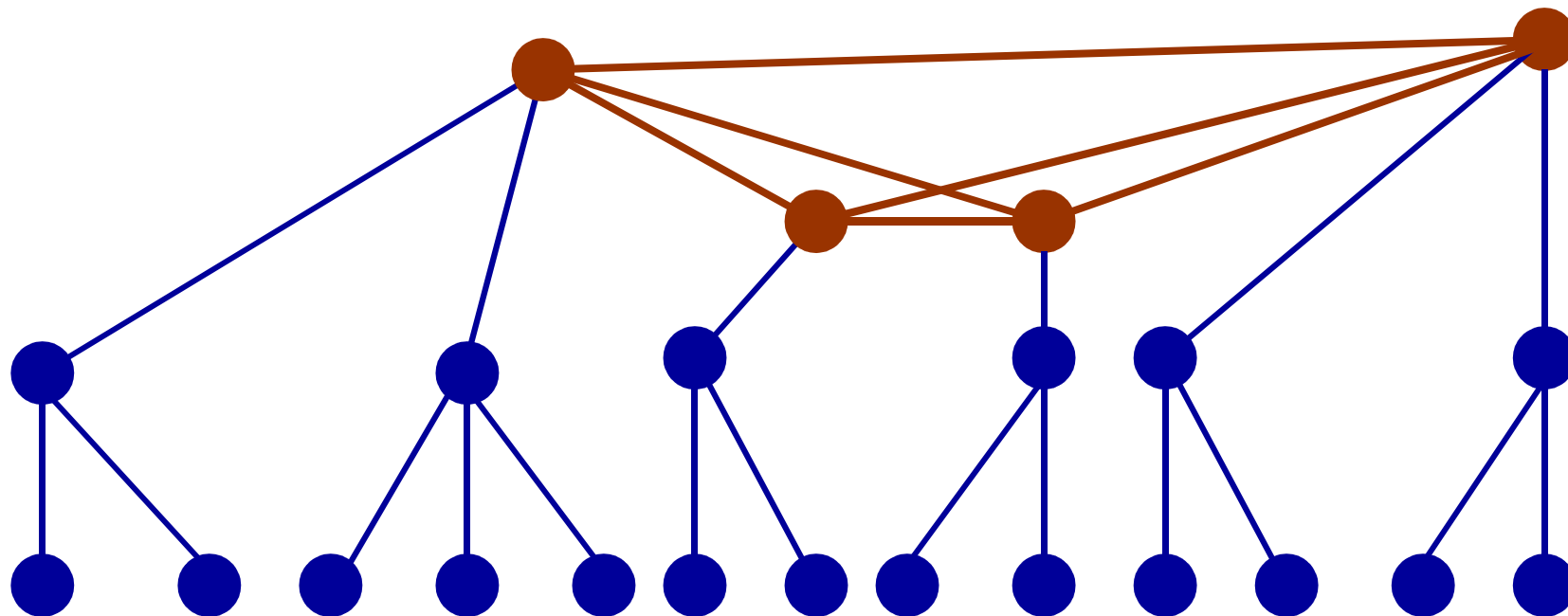
struktura zupełna





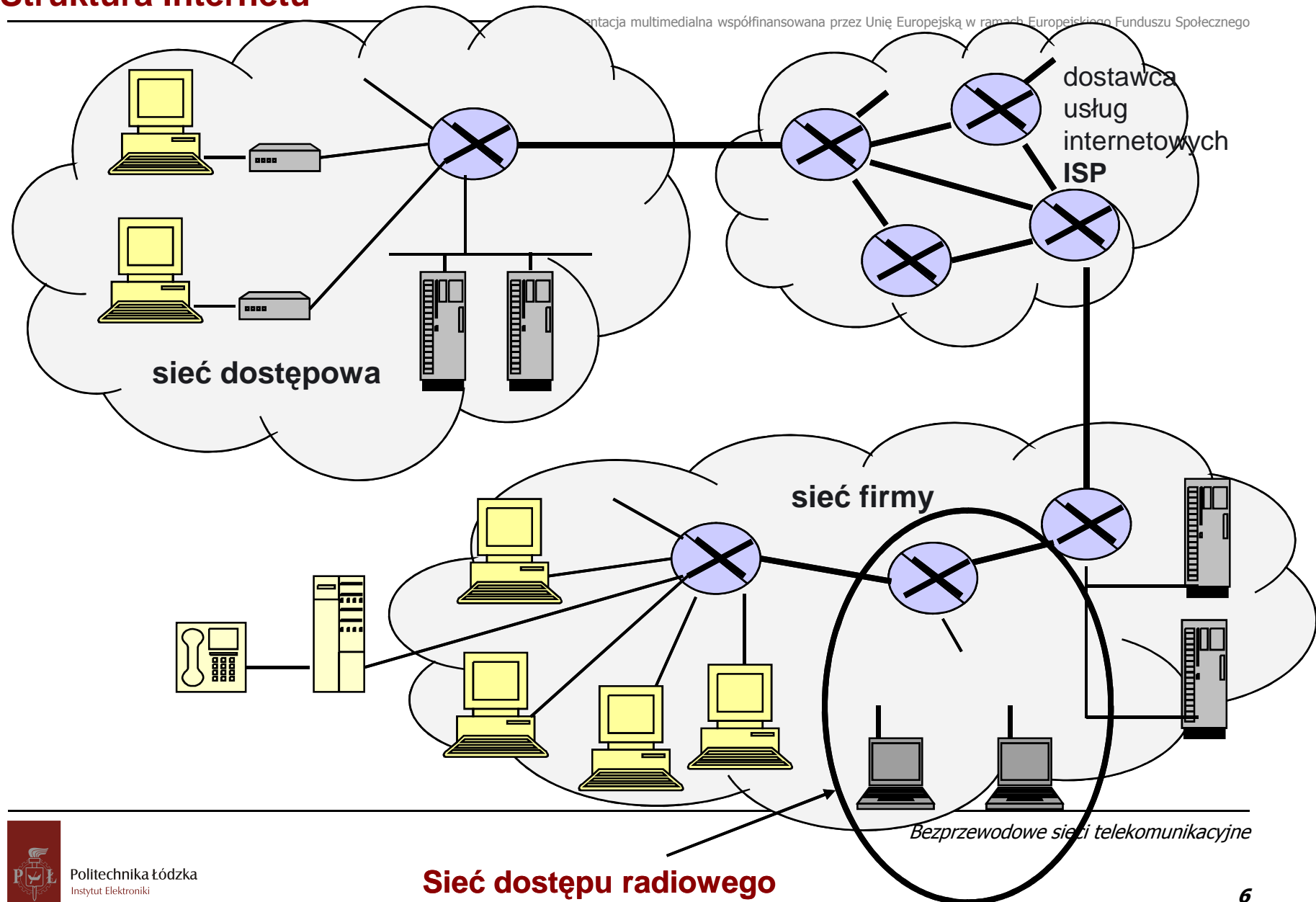
Topologie sieci telekomunikacyjnych (5)

**Sieć mieszana – hierarchiczna i zupełna,
np. PSTN**





Struktura Internetu





Techniki komutacji (1)

- Jest to sposób zestawiania połączenia i zapewnienia transmisji informacji pomiędzy użytkownikami (abonentami) w sieci.
- Są dwa podstawowe rodzaje komutacji:
 1. komutacja łączy
 2. komutacja pakietów
- Pakiet – jest to jednostkowa porcja danych (bitów) przesyłanych przez sieć. Struktura pakietu obejmuje: nagłówek z informacjami adresowymi i sterującymi oraz przestrzeń informacji użytkownika.

Nagłówek

Przestrzeń informacyjna

- Są różne formaty pakietów, np. pakiet internetowy, komórka sieci ATM, itp.





Techniki komutacji (2)

Komutacja łączy – sposób łączenia i rozdzielania kanałów rozmównych między abonentami sieci telekomunikacyjnej, stosowany w centralach telefonicznych. Kanał jest zajęty przez cały czas trwania sesji wyłącznie przez jedno połączenie (dwóch abonentów sieci).

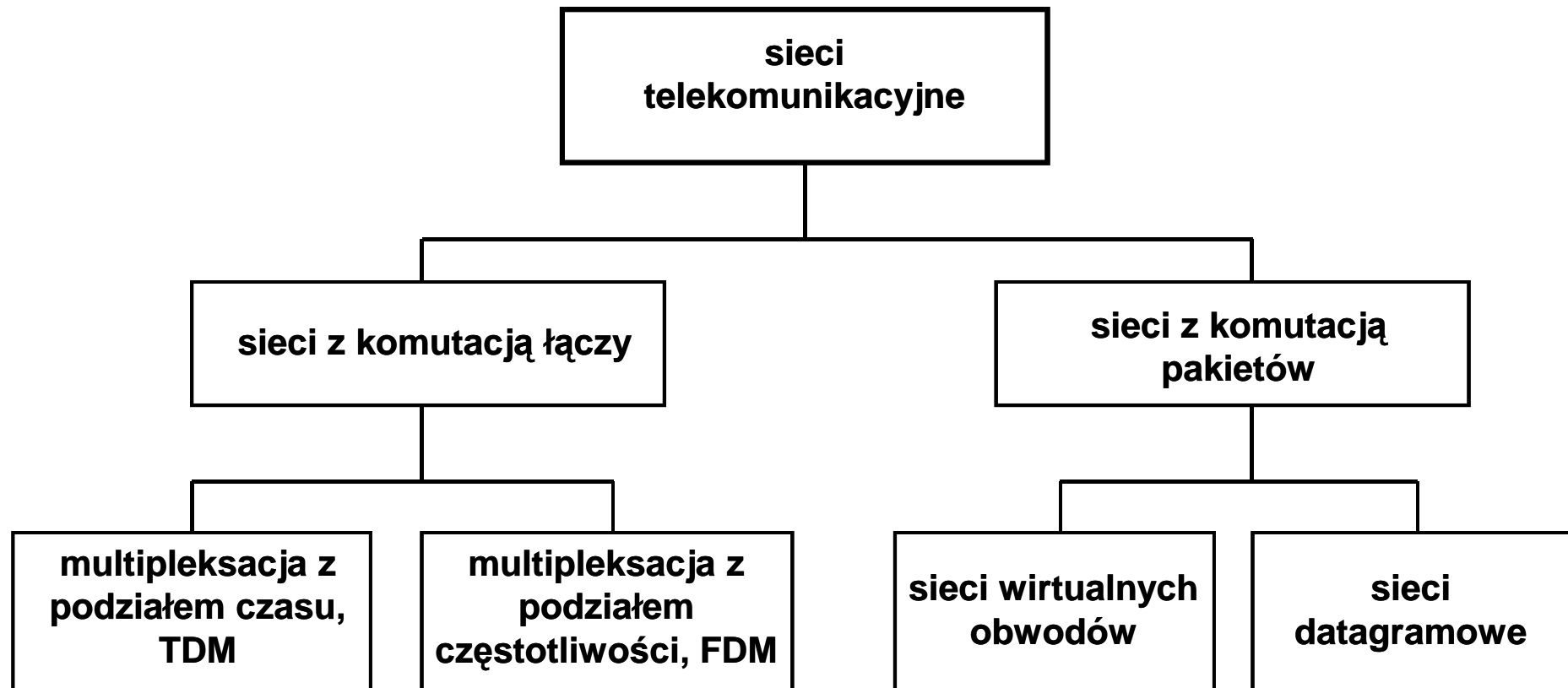
Komutacja pakietów – technika transmisji informacji różnymi łączami komunikacyjnymi, w wyniku przełączania pakietów w węzłach. Łącze komunikacyjne jest zajmowane częściowo w czasie i przestrzeni, co pozwala na korzystanie z tego samego traktu komunikacyjnego przez wielu użytkowników sieci jednocześnie.





Techniki komutacji (3)

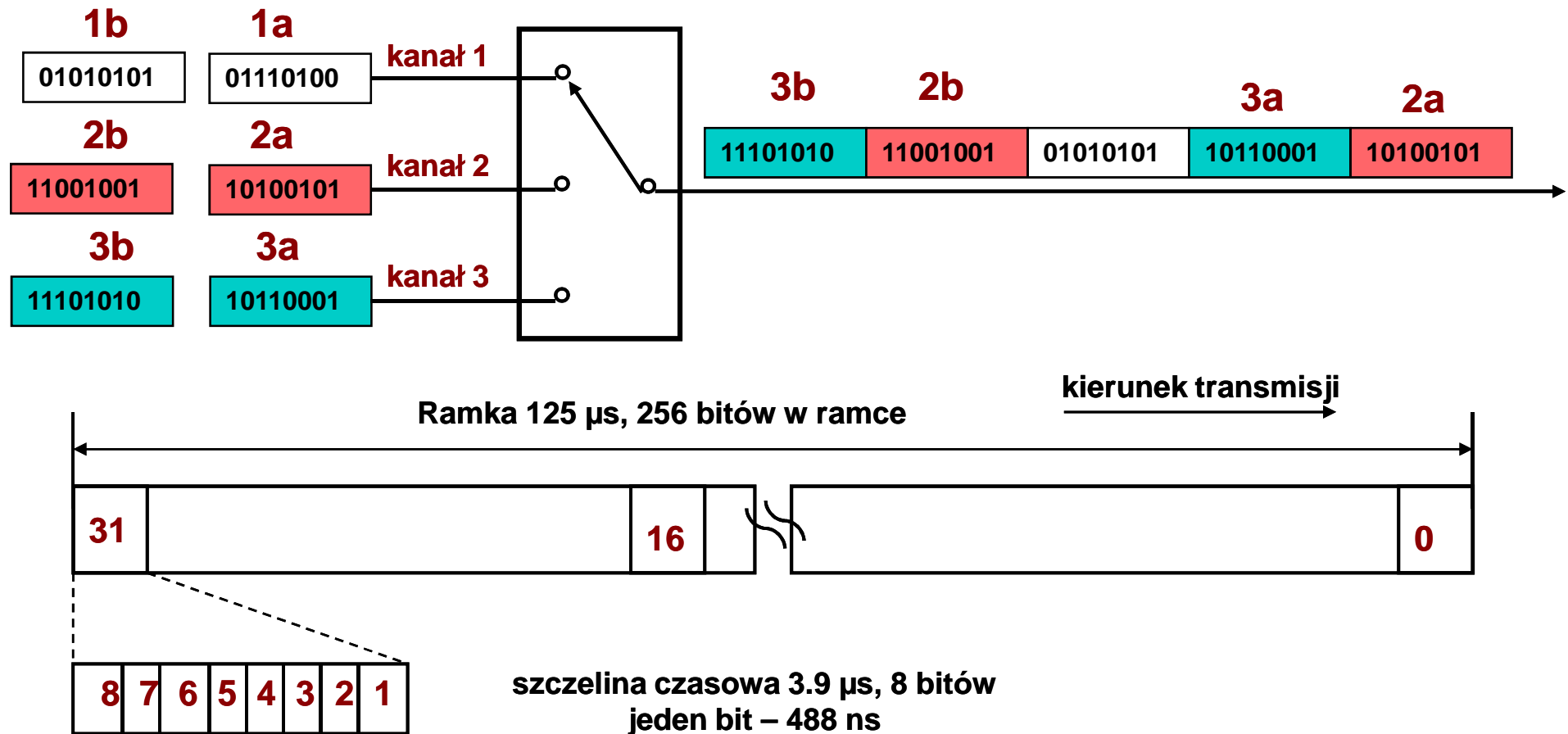
Systematyka sieci telekomunikacyjnych





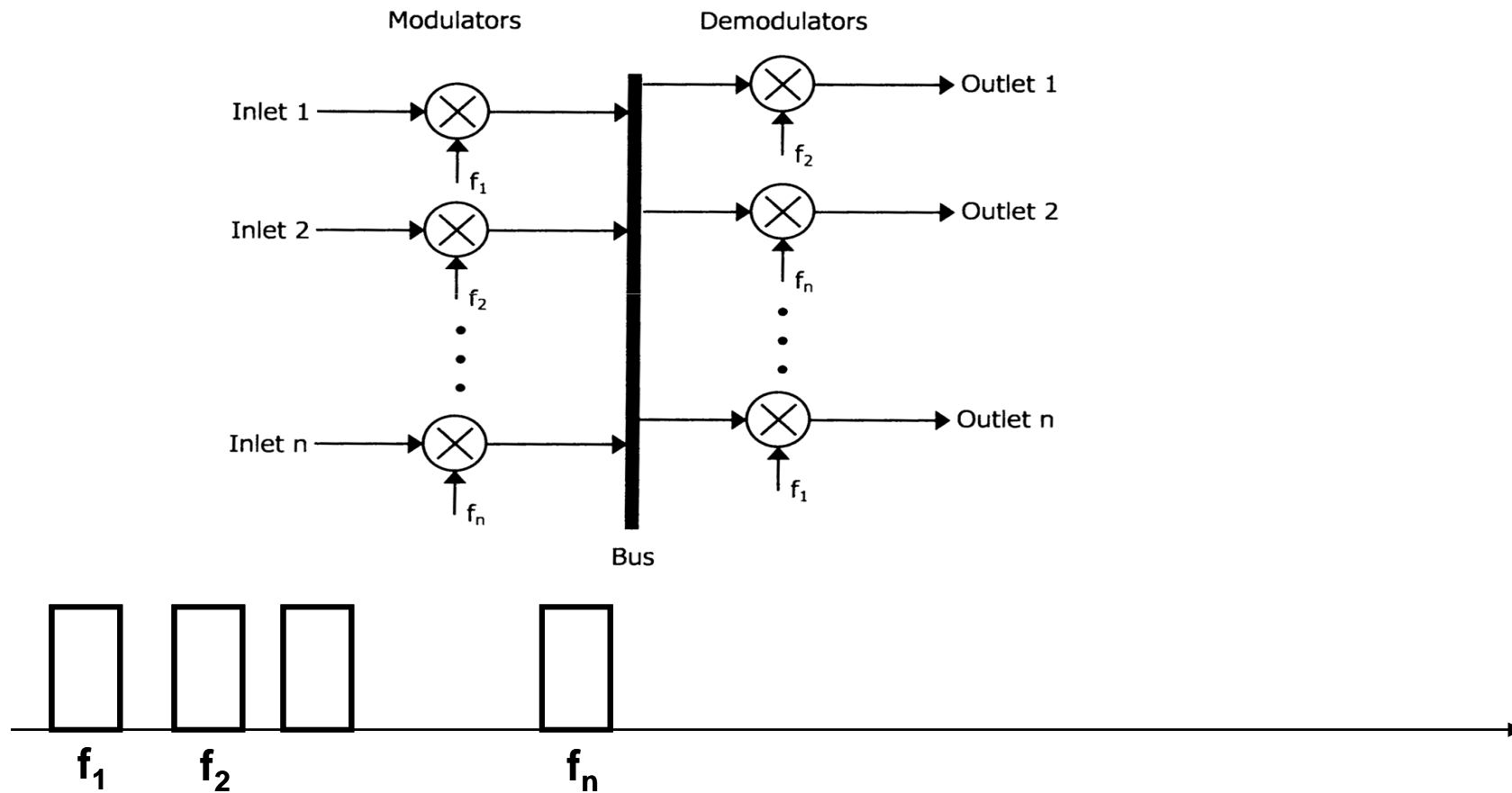
Techniki komutacji (4)

Zasada multipleksacji z podziałem czasu – ramka traktu PCM



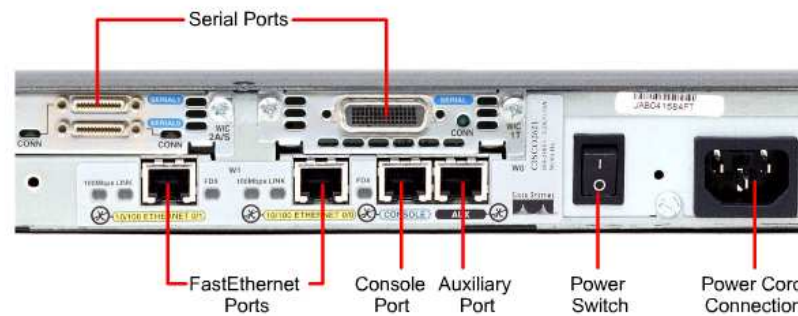
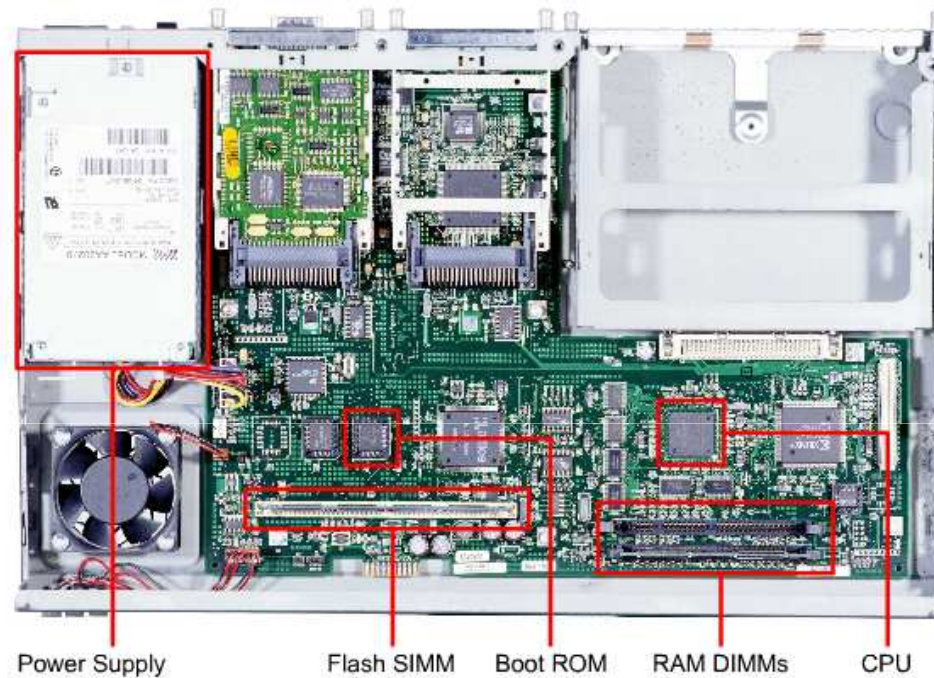
Techniki komutacji (5)

Zasada multipleksacji z podziałem częstotliwości





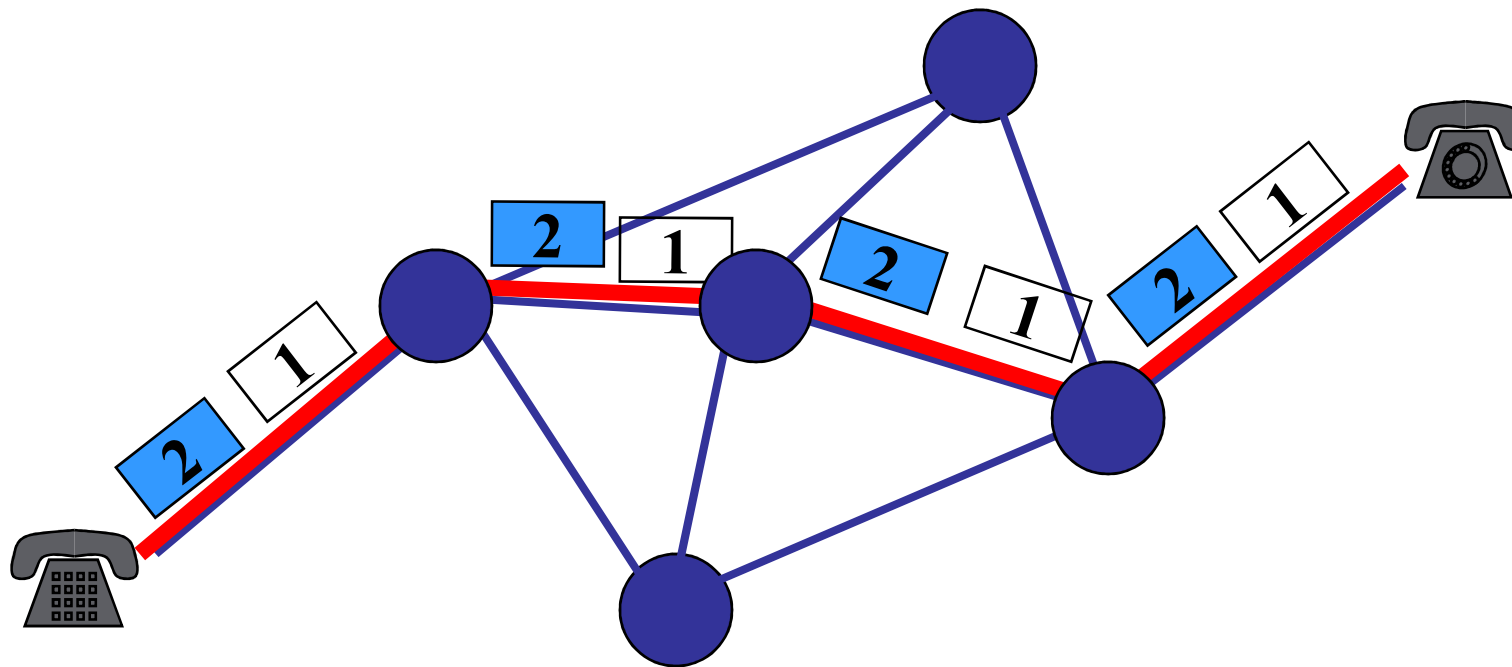
Węzeł sieci pakietowej - przełącznik





Techniki komutacji

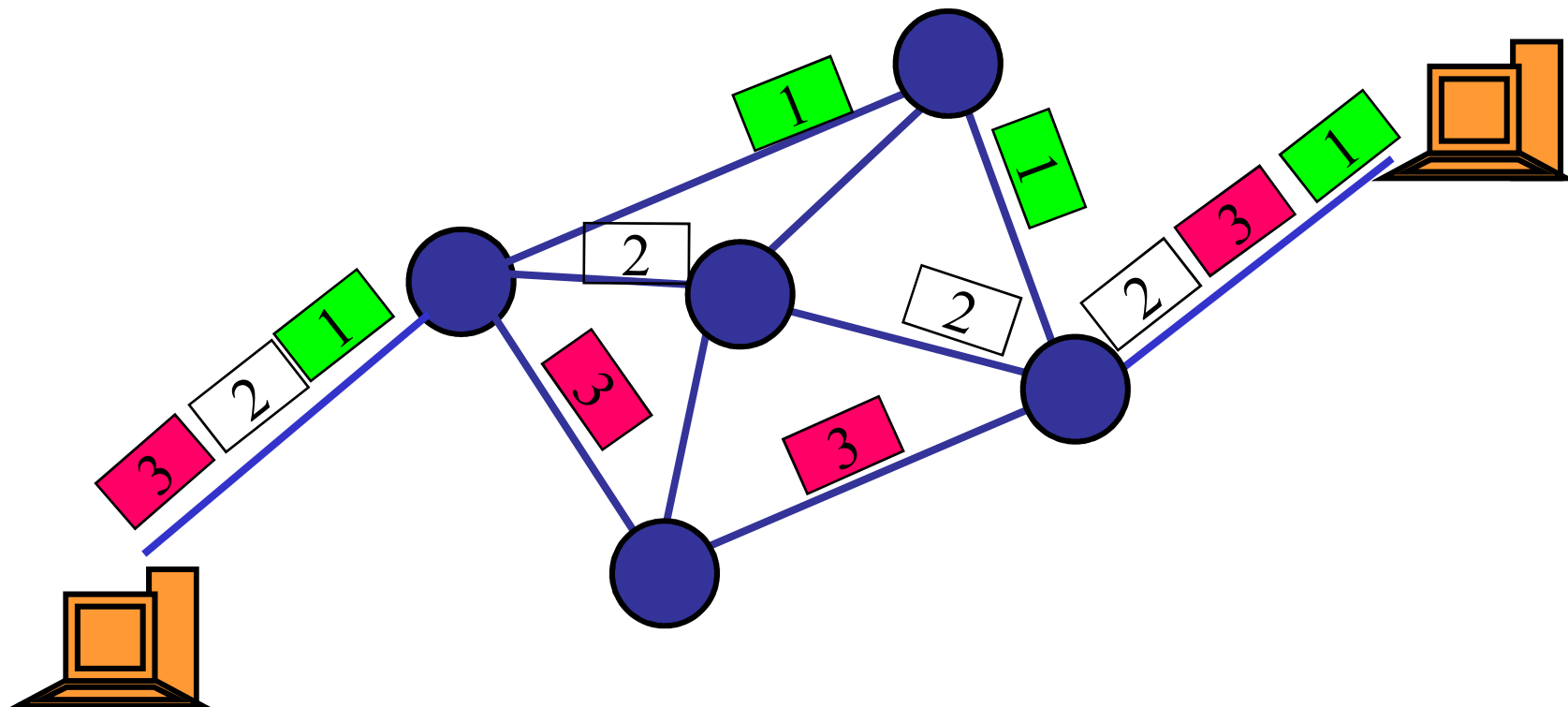
Sieć z komutacją łączy, np. sieć telefoniczna PSTN





Techniki komutacji

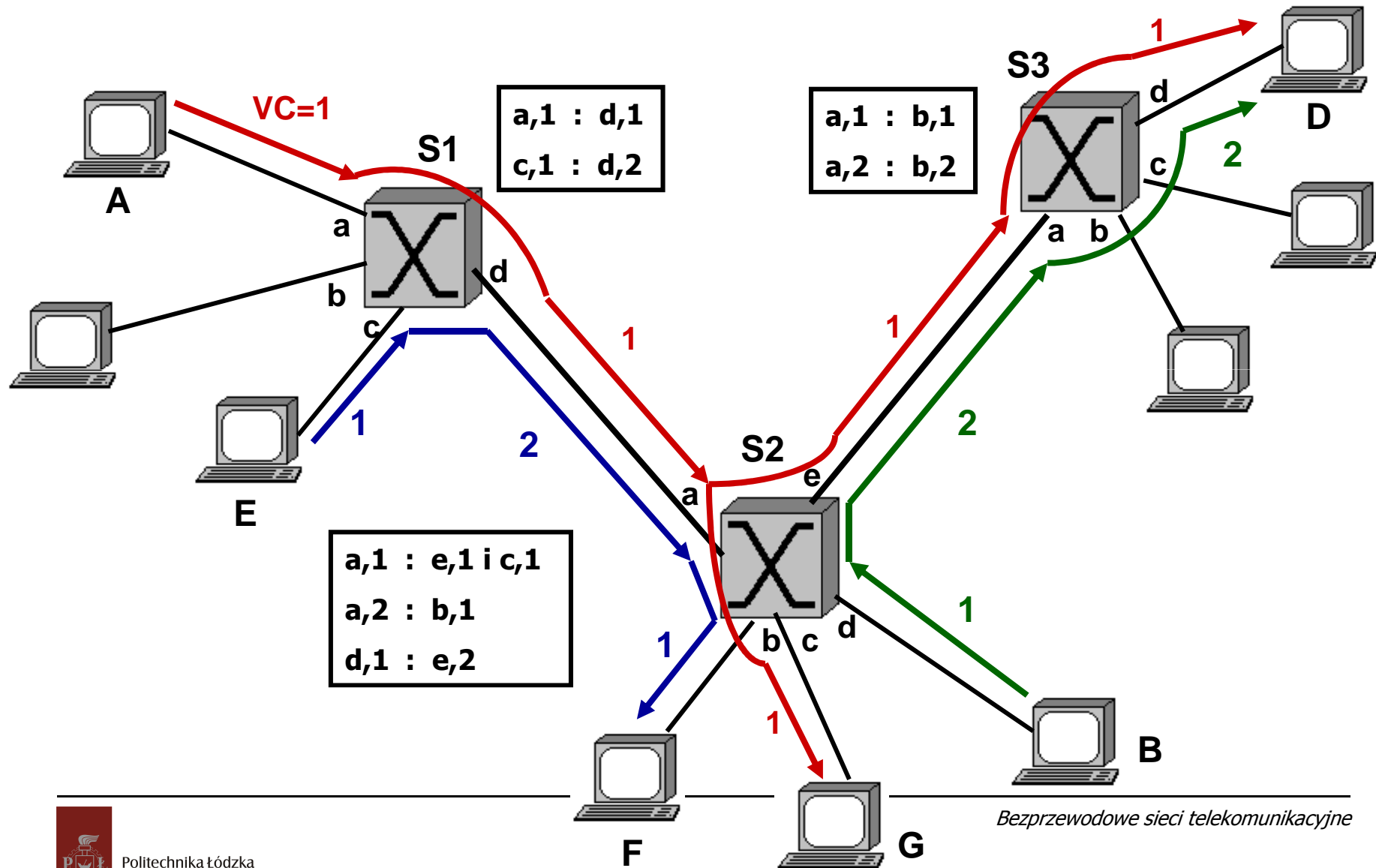
Sieć z komutacją pakietów, np. Internet





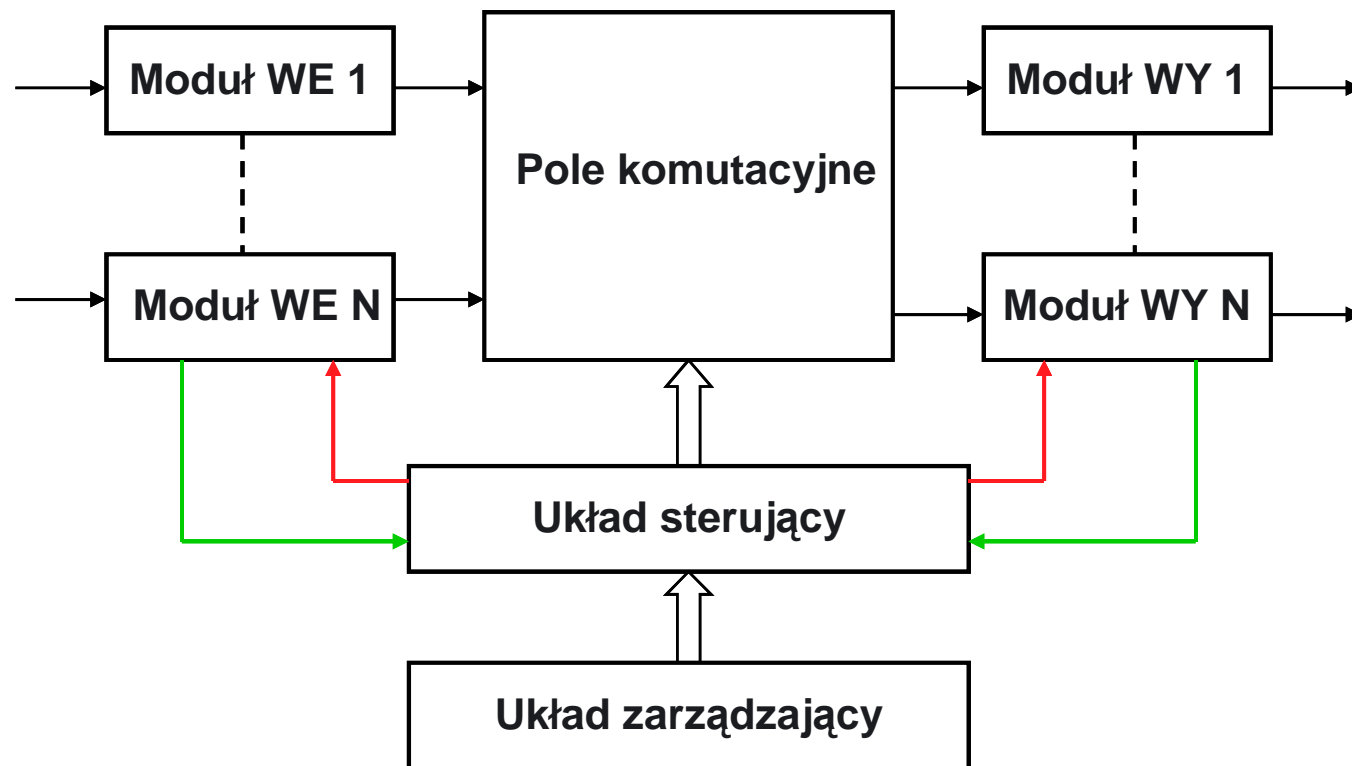
Sieć z komutacją komórek ATM

Prezentacja multimedialna współfinansowana przez Unię Europejską w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego





Budowa węzła komutacyjnego





Funkcje węzła komutacyjnego

Moduł wejściowy – konwertuje (zamienia) sygnały odebrane z linii wejściowej na sygnały odpowiednie do przesłania polem komutacyjnym (synchronizuje ramkę, wyciąga informacje sygnalizacyjne i przekazuje do układu sterowania, przygotowuje dane do transmisji przez pole komutacyjne).

Pole komutacyjne – przesyła sygnały z wejść do żądanych wyjść przez drogę połączeniową zestawioną do tego celu.

Moduł wyjściowy – sygnały odebrane z pola komutacyjnego są przygotowywane do dalszej transmisji łączem wychodzącym z węzła (tworzy odpowiednią ramkę transmisyjną, wprowadza informacje sygnalizacyjne do następnego węzła przekazuje do układu sterowania, przygotowuje dane do transmisji przez pole komutacyjne).





Funkcje węzła komutacyjnego

Układ sterowania – obsługuje połączenia, wybiera i zestawia drogę połączeniową w polu komutacyjnym, przetwarza informacje sygnalizacyjne, obsługuje błędy w trakcie realizacji połączeń oraz realizuje funkcje zarządzające.

Układ zarządzania – zarządza konfiguracją węzła, testuje układy, zarządza bezpieczeństwem systemu oraz nalicza opłaty.

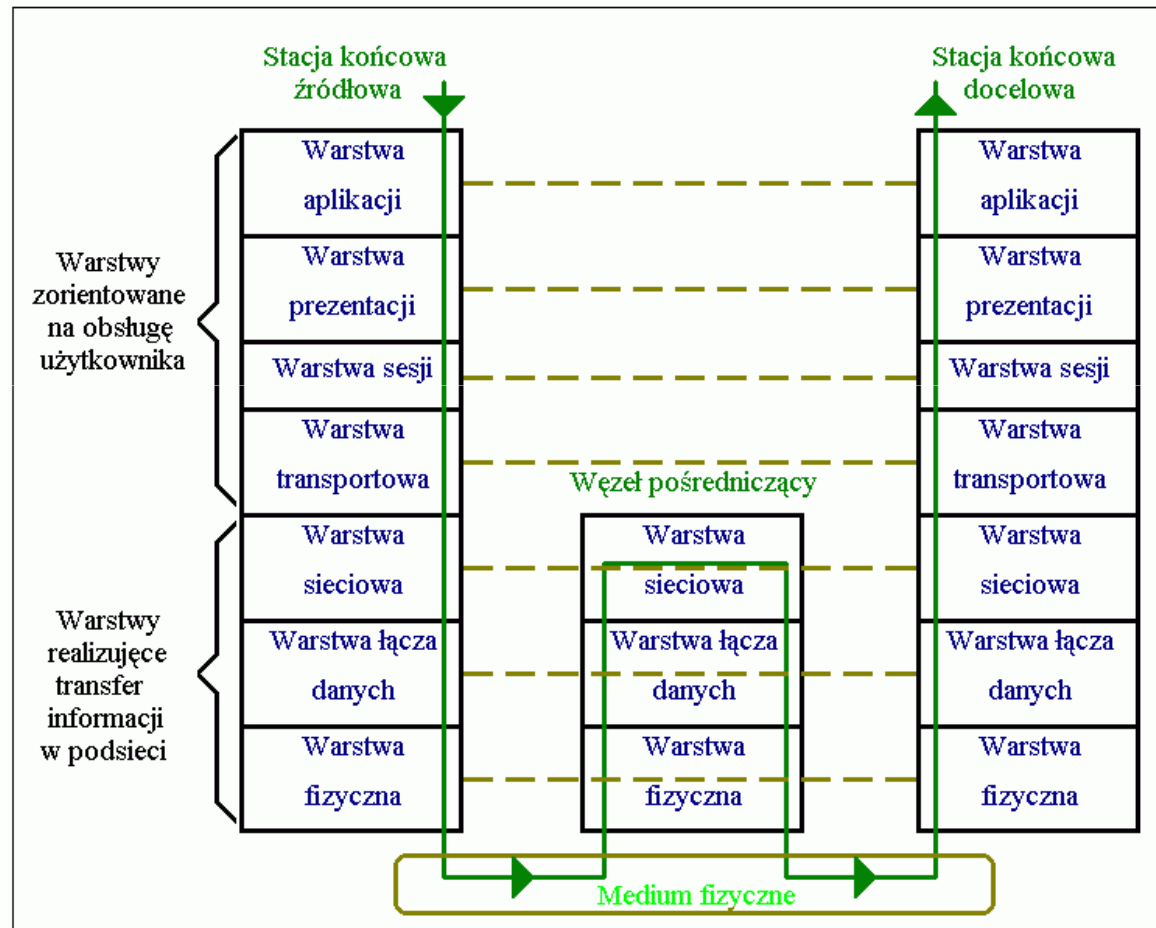
Rodzaje węzłów komutacyjnych:

- centrale telefoniczne
- przełącznice cyfrowe
- przełącznice optyczne
- przełączniki ATM
- routery IP



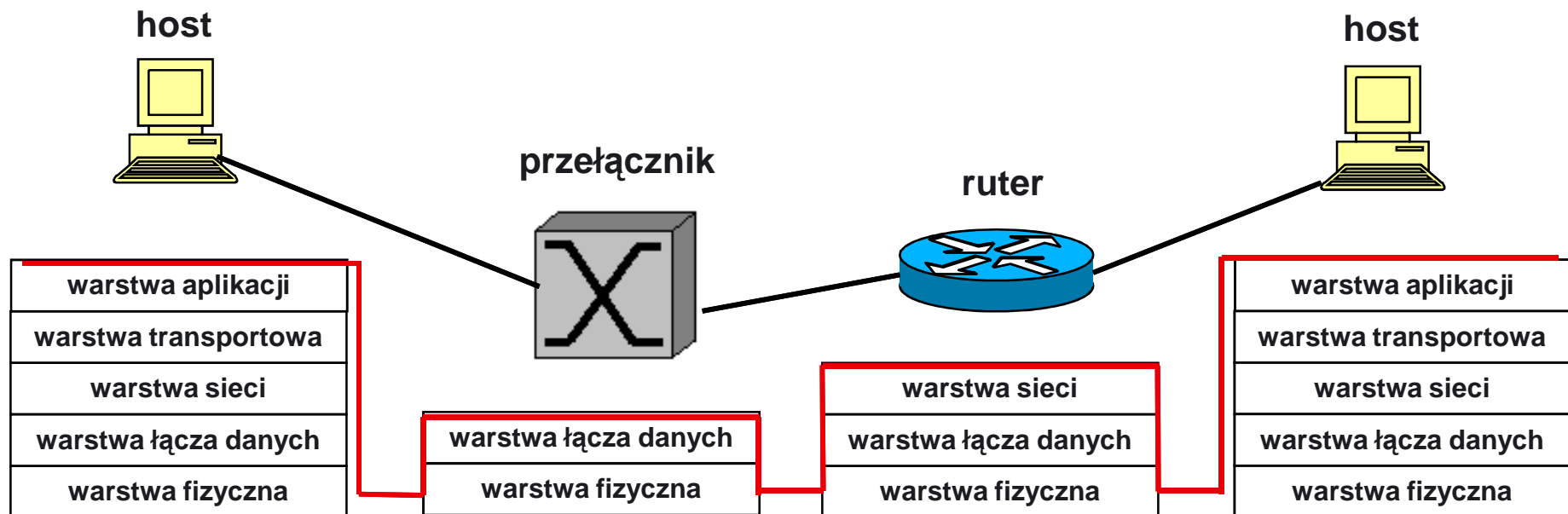


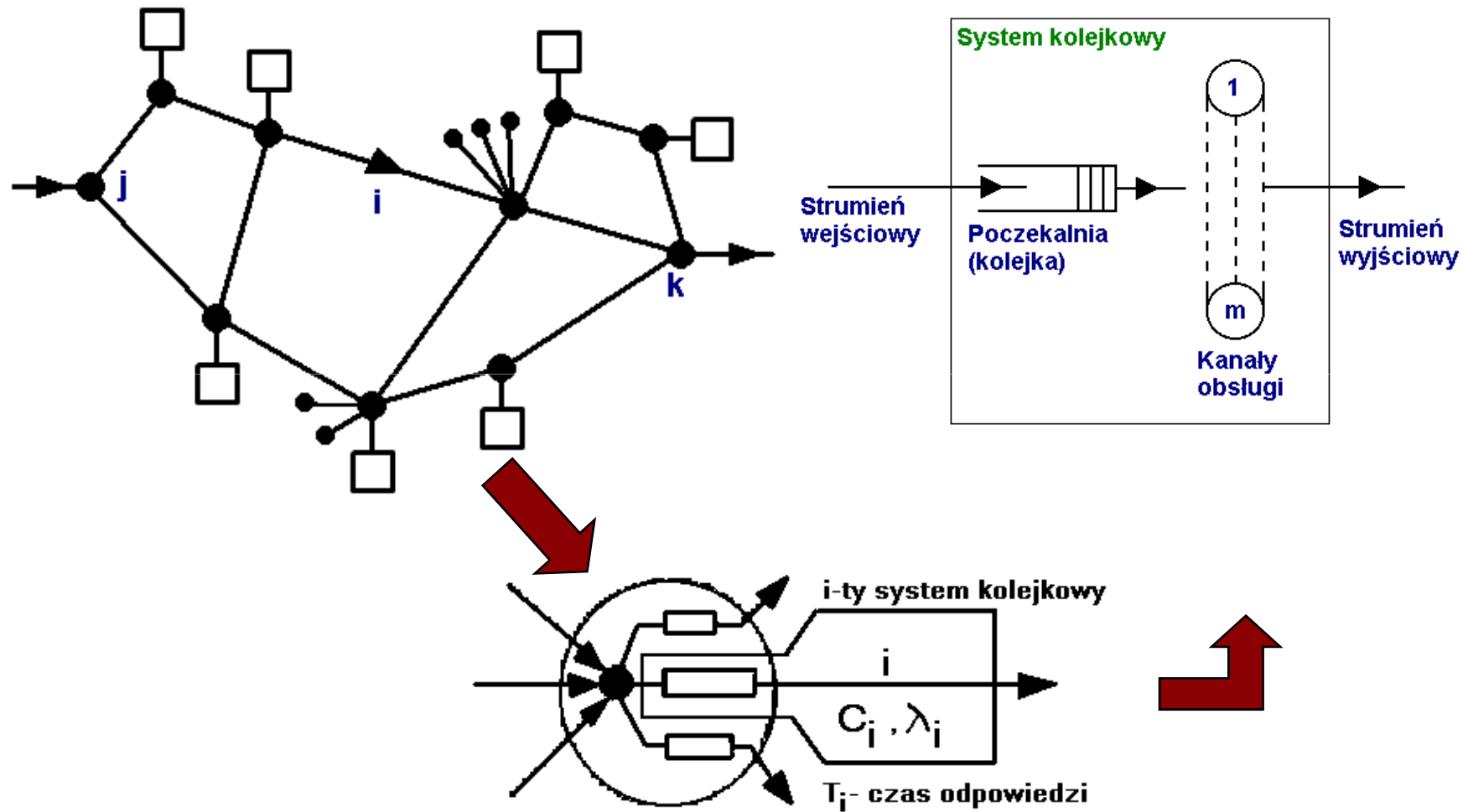
Model siedmiowarstwowy





Przetwarzanie pakietów przez hosty, przełączniki i routery





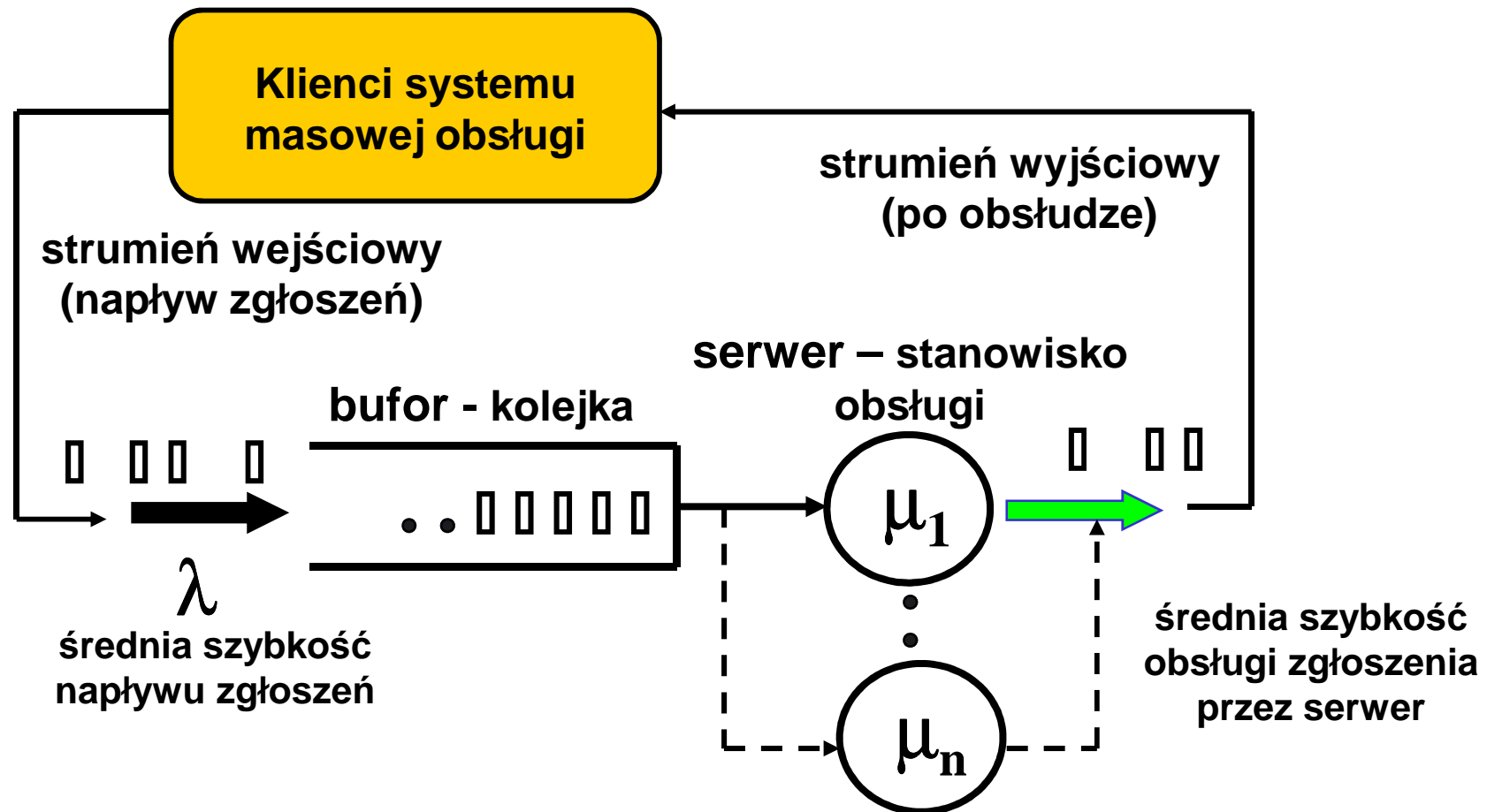


Teoria kolejek - podstawy

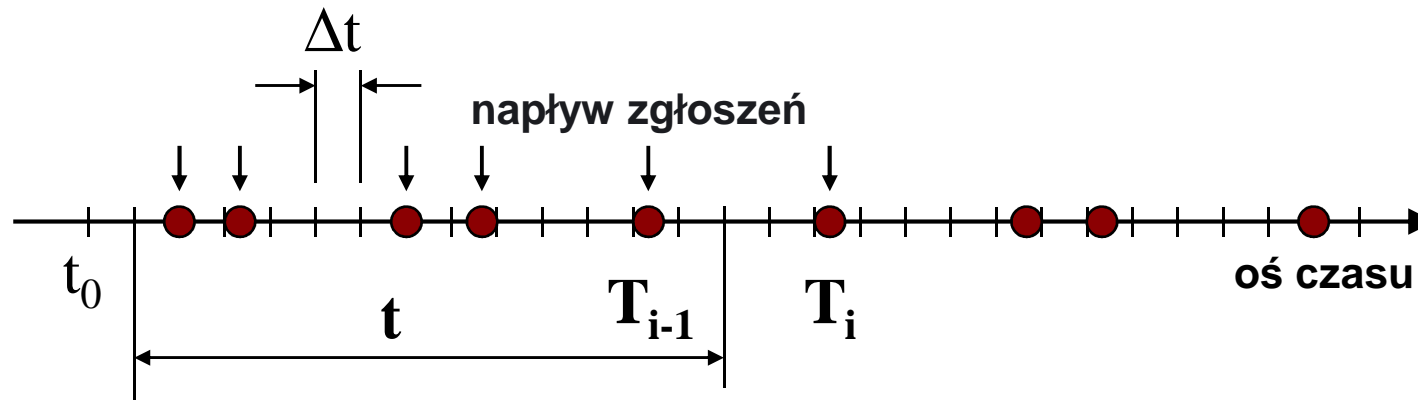
- Teoria kolejek – teoria masowej obsługi jest **dziedziną procesów stochastycznych**.
- Pojęciem pierwotnym jest **zgłoszenie** – spełnienie przez system określonej czynności.
- System masowej obsługi realizuje czynności za pomocą środków, zwanych: **stanowiskiem obsługi, kanałem obsługi, serwerem**, itp.
- Zgłoszenia napływające do systemu oraz czas ich obsługi są **procesami przypadkowymi**.
- Ze względu na ograniczoność zasobów systemu masowej obsługi (np. ograniczona liczba stanowisk obsługi) zgłoszenia napływające są **kolejkowane oczekując na obsługę lub odrzucane z systemu bez obsługi**.
- Teoria kolejek zajmuje się analizą **sprawności i jakości systemów masowej obsługi**.



Uogólniony model kolejki



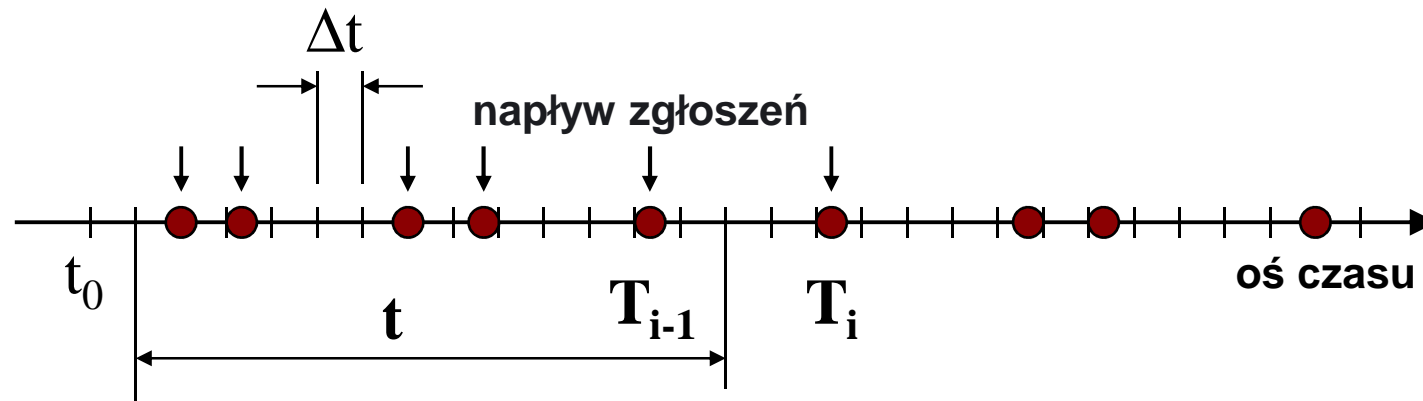
Schematyczne przedstawienie strumienia zgłoszeń



Strumień zgłoszeń jest procesem stochastycznym o parametrach:

- $\lambda(t)$ – intensywność zgłoszeń – średnia liczba zgłoszeń w jednostce czasu.
- $P_k(t)$ – prawdopodobieństwo napływu k zgłoszeń w czasie t .
- $f(t)$ – rozkład czasu $(T_i - T_{i-1})$ pomiędzy kolejnymi zgłoszeniami.

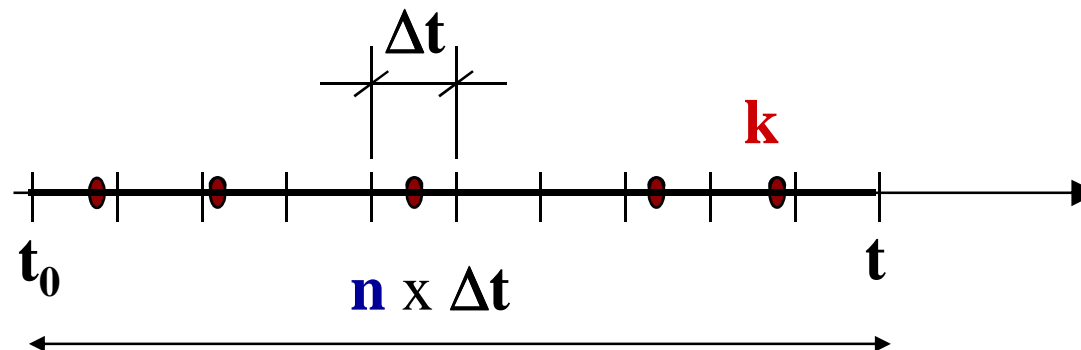
Strumień Poissona



Podstawowe właściwości:

- **Stacjonarność**, intensywność $\lambda(t) = \text{const.}$, nie zależy od czasu.
- **Brak następstw (bezpamięciowość)**, liczba zgłoszeń w dowolnym przedziale czasu t_1 nie ma wpływu na liczbę zgłoszeń w innym przedziale czasu t_2 .
- **Pojedynczość**, w nieskończenie małym przedziale czasu Δt może pojawić się co najwyżej jedno zgłoszenie.

Wyprowadzenie wzorów (1)



- Niech w przedziale obserwacji (t, t_0) napłynie dokładnie liczba k zgłoszeń.
- Intensywność zgłoszeń $\lambda(t) = k/t = \text{const.}$
- Dzielimy przedział czasu (t, t_0) na n małych podprzedziałów o szerokości $\Delta t = (t, t_0) / n$.
- Jeżeli Δt jest dostatecznie małe, to w czasie Δt napłynie jedno (1) lub nie napłynie zgłoszenie (0).
- W przedziale czasu (t, t_0) liczba napływających zgłoszeń jest zmienną losową dyskretną $N(t)$.



Parametry procesu Poissona

Wartość średnia (oczekiwana) liczby zgłoszeń w przedziale czasu t :

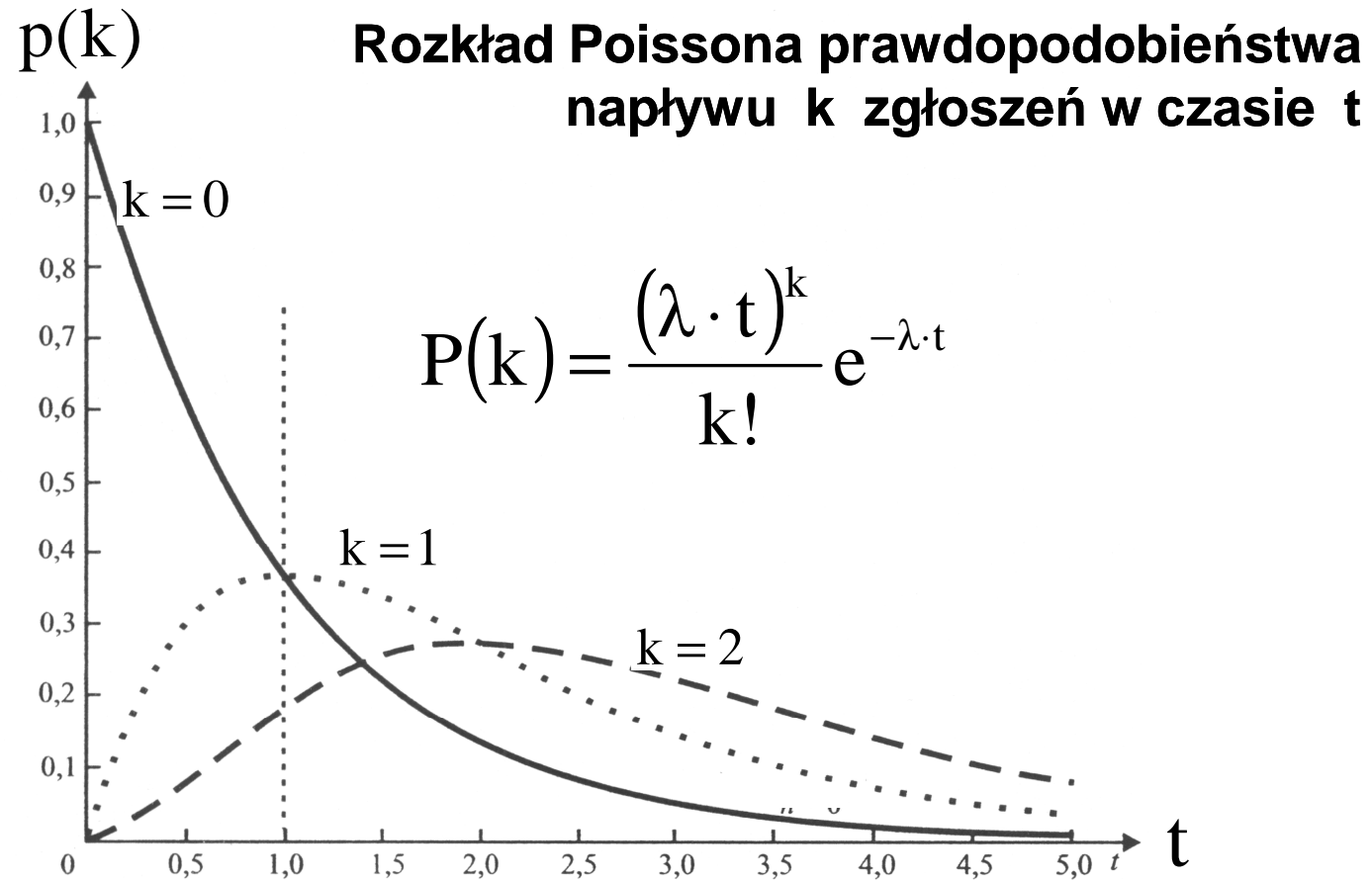
$$E[N(t)] = \sum_{k=0}^{\infty} k \cdot P(k) = \lambda \cdot t$$

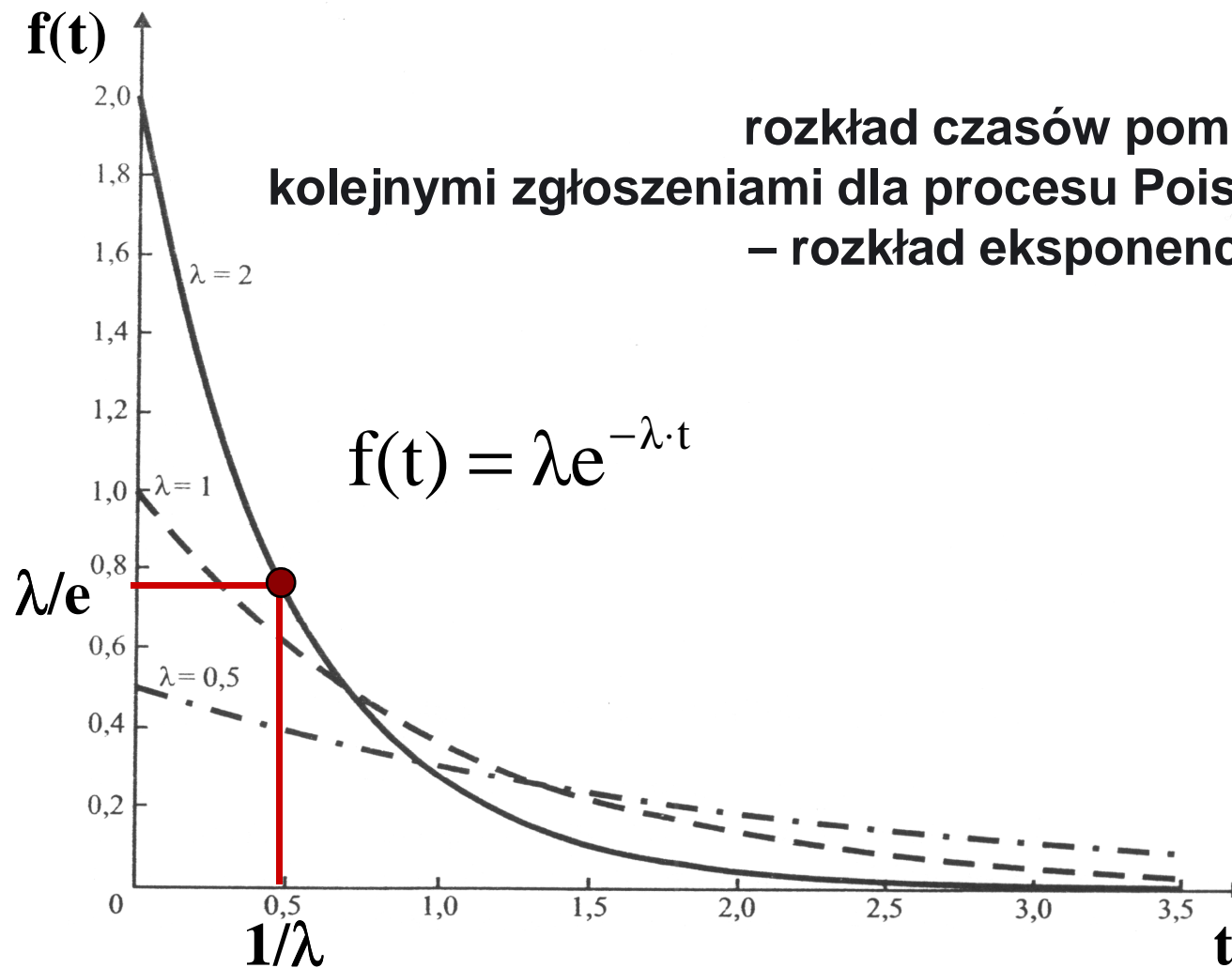
Wariancja (odchylenie od średniej) w przedziale czasu t :

$$\text{Var}[N(t)] = \sum_{k=0}^{\infty} k^2 \cdot P(k) - \left(\sum_{k=0}^{\infty} k \cdot P(k) \right)^2 = \lambda \cdot t$$

Proces Poissona jest procesem stochastycznym jednoparametrowym (λ) .

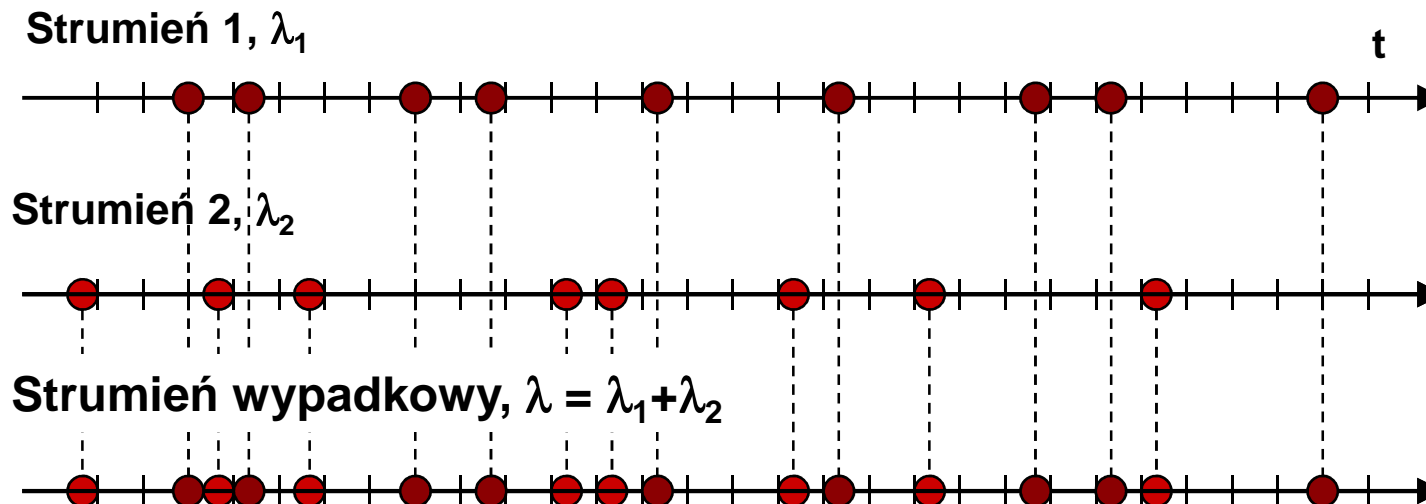






Właściwości strumienia zdarzeń Poissona

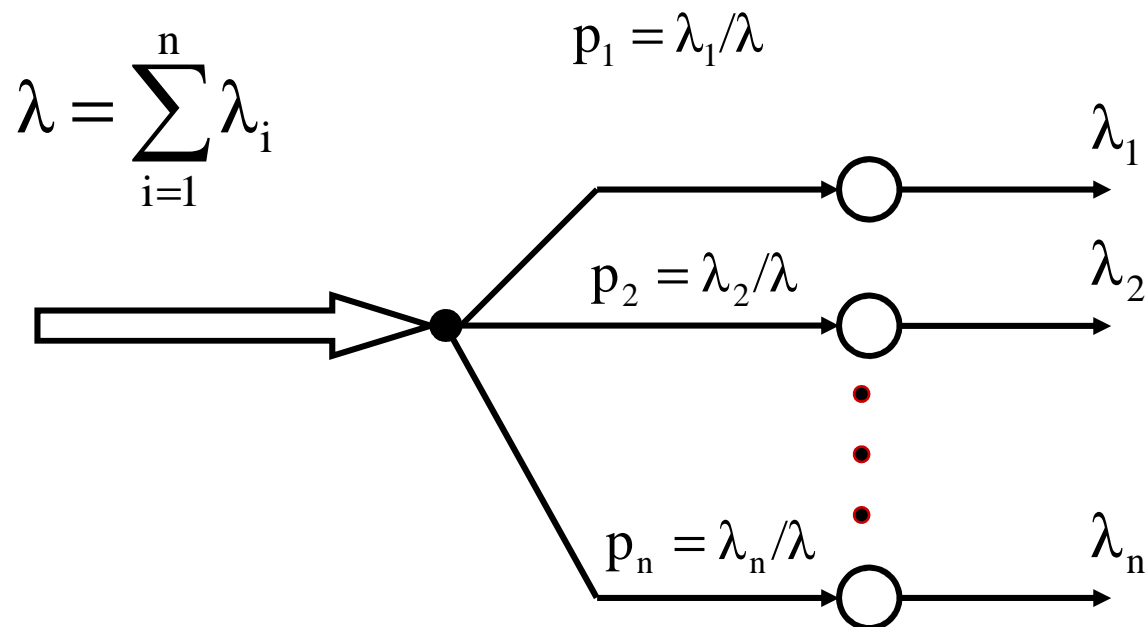
Superpozycja dwóch strumieni zgłoszeń



Dla dowolnej liczby n strumieni Poissona o intensywnościach λ_i ,
strumień wypadkowy jest też strumieniem Poissona o intensywności:

$$\lambda = \sum_{i=1}^n \lambda_i$$

Dekompozycja strumienia Poissona



Strumień Poissona o intensywności λ , można z prawdopodobieństwem $p_i = \lambda_i / \lambda$ rozłożyć na n strumieni Poissona o intensywnościach λ_i .

Ogólny opis modelu kolejki: **A / B / N / K / S / P**

A – rodzaj statystyki napływu zgłoszeń

B – rodzaj statystyki obsługi zgłoszeń

C – liczba stanowisk obsługi

N – maksymalna pojemność kolejki

S – liczba źródeł zgłoszeń

P – protokół obsługi

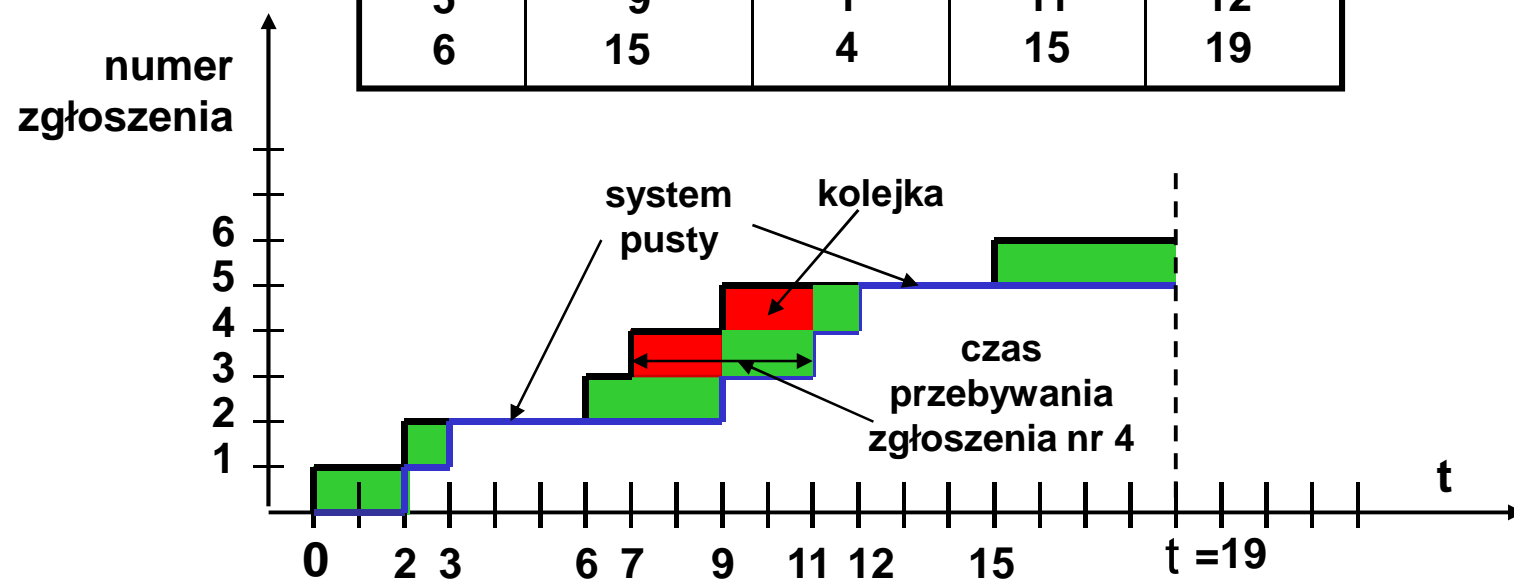
Protokół obsługi: FIFO, LIFO, SIRO, wagowe, itp.

Np. M/M/1 – kolejka nieograniczona z jednym stanowiskiem obsługi, eksponencjalnym rozkładem czasu obsługi i Poissonowskim strumieniem zgłoszeń. Protokół FIFO.

M/D/1 - kolejka nieograniczona z jednym stanowiskiem obsługi, stałym czasem obsługi i Poissonowskim strumieniem zgłoszeń.



pakiet	chwila nadejścia	czas obsługi	pocz. obsługi	koniec obsługi
1	0	2	0	2
2	2	1	2	3
3	6	3	6	9
4	7	2	9	11
5	9	1	11	12
6	15	4	15	19



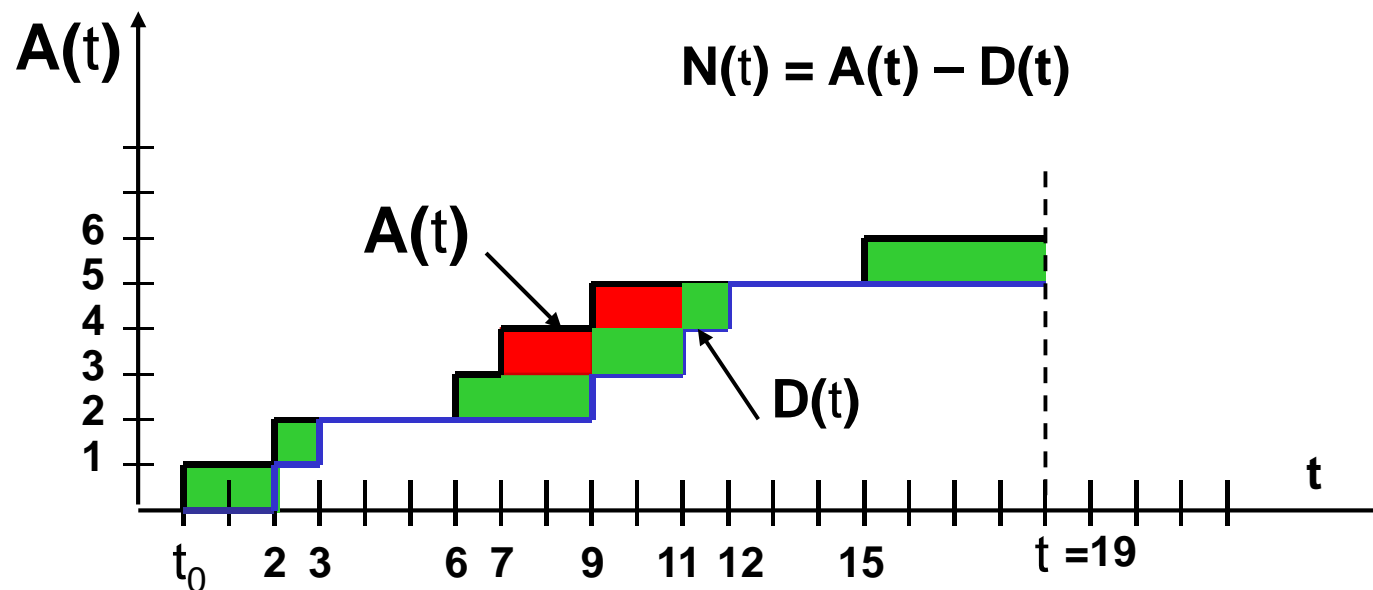


Prawo Little'a (1)

$A(t)$ - liczba zgłoszeń w przedziale czasu $(0, t)$

$D(t)$ – liczba zgłoszeń obsłużonych w przedziale czasu $(0, t)$

$N(t)$ – liczba zgłoszeń w systemie w chwili t (zgłoszenia obsługiwane i oczekujące na obsługę)





Prawo Little'a (2)

Pole powierzchni pomiędzy krzywymi schodkowymi $A(t)$ i $D(t)$ w przedziale czasu od 0 do t przedstawia całkowitą ilość zgłoszeń przebywających w systemie w przedziale $(0,t)$:

$$S(t) = \int_0^t N(x) dx$$

Średnia szybkość napływu zgłoszeń w przedziale czasu $(0,t)$:

$$A_t(t) = \frac{A(t)}{t}$$

Średnia liczba zgłoszeń w systemie w przedziale czasu $(0,t)$:

$$N_t(t) = \frac{S(t)}{t}$$





Prawo Little'a (3)

Średni czas pobytu pojedynczego zgłoszenia w systemie T_t w przedziale czasu $(0,t)$ jest równy:

$$T_t = \frac{S(t)}{A(t)}$$

Zatem, jeżeli istnieją następujące granice:

$$\lambda = \lim_{t \rightarrow \infty} A(t), \quad T = \lim_{t \rightarrow \infty} T_t, \quad N = \lim_{t \rightarrow \infty} N_t$$

wtedy:

$$N = \lambda T$$

Wzór Little'a

Średnia liczba zgłoszeń przebywających w systemie kolejkowym jest równa iloczynowi średniej szybkości napływu zgłoszeń i średniego czasu pobytu pojedynczego zgłoszenia w systemie.





Wzór Littla dla kolejki:

$$N_q = \lambda W$$

gdzie:

N_q - średnia liczba zgłoszeń oczekujących w kolejce,
 W - średni czas oczekiwania w kolejce na obsługę.

Wzór Littla dla serwera:

$$N_s = a' = \lambda \tau = \frac{\lambda}{\mu}$$

gdzie:

N_s - średnia liczba zgłoszeń obsługiwanych przez serwer,
 a' - ruch obsługiwany,
 $\tau = 1/\mu$ - średni czas obsługi.





W przypadku pojedynczego stanowiska obsługi definiuje się współczynnik wykorzystania serwera (współczynnik zajętości serwera) ρ , jako ruch załatwiany na jeden serwer:

$$\rho = \lambda\tau = \frac{\lambda}{\mu} = a$$

Całkowity czas opóźnienia w systemie jest równy średniej wartości czasu oczekiwania w kolejce plus średni czas obsługi:

$$T = W + \tau$$

$$N = N_q + N_s = \lambda W + a$$



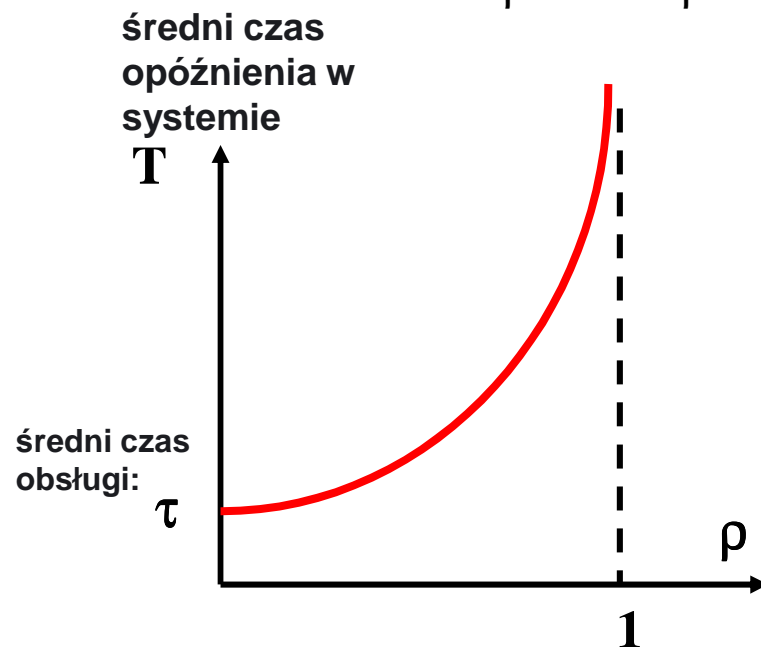
Kolejka M/M/1

parametry:

λ - średnia szybkość napływu zgłoszeń (np. pakietów)

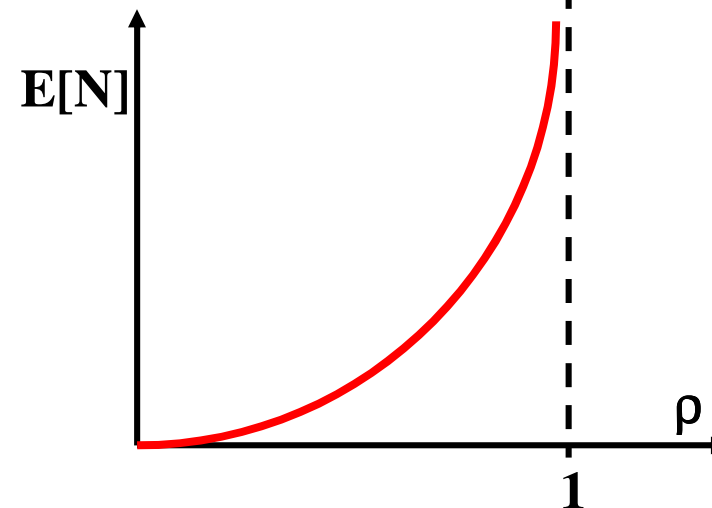
μ - średnia szybkość obsługi zgłoszeń przez serwer

$$T = \frac{E[N]}{\lambda} = \frac{\rho}{1-\rho} \frac{1}{\lambda} = \frac{\tau}{1-\rho}$$



$$E[N] = \sum_{k=0}^{\infty} k p_k = \frac{\rho}{1-\rho}$$

Średnia liczba zgłoszeń w systemie





Przykład wykorzystania kolejki M/M/1

W sklepie samoobsługowym funkcjonuje jedno stanowisko kasowe. Przeciętnie co 10 minut przybywa 25 kupujących. Kasjer obsługuje średnio 20 klientów w ciągu 10 minut. Zanalizować sytuację obsługi kasowej.

Modelem tej sytuacji jest kolejka M/M/1 o następujących parametrach: szybkość napływu zgłoszeń (kupujących) $\lambda = 25 / 10 = 2.5$ osoby / min, szybkość obsługi przez kasjera: $\mu = 20 / 10 = 2$ osoby / min.

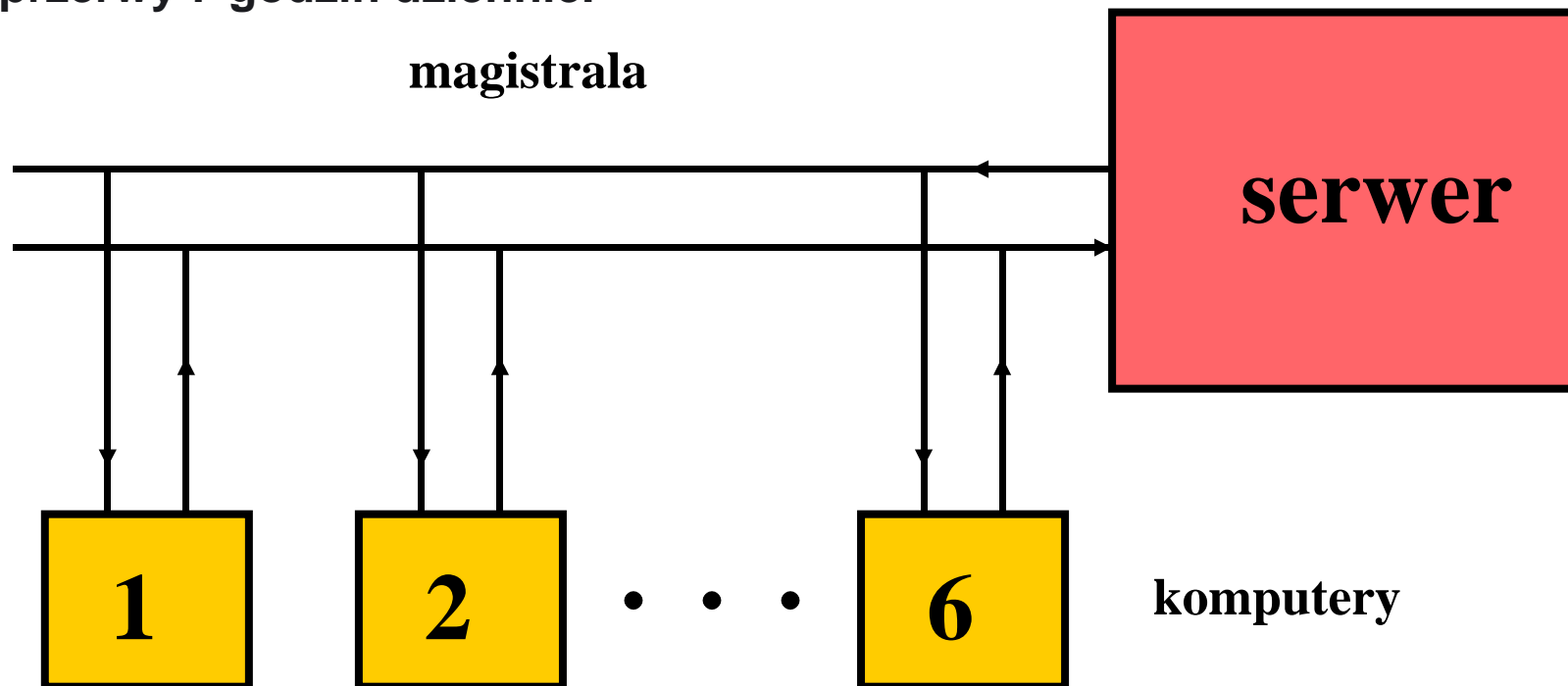
Zatem współczynnik wykorzystania kolejki $\rho = \lambda / \mu = 2.5/2 = 1.25 > 1$, kolejka jest niestabilna, tzn. rośnie do nieskończoności.

Wprowadzamy usprawnienie: kasjer obsługuje wydajniej, np. $\mu = 3.125$ osoby/min., wtedy $\rho = \lambda / \mu = 2.5/3.125 = 0.8 < 1$ - system stabilizuje się.



Przykład wykorzystania kolejki M/M/1

Sieć komputerowa składająca się z 6 terminali do wprowadzania danych dotyczących zamówień pracuje bez przerwy 7 godzin dziennie.





Dane systemu

1. Średnia szybkość wprowadzania znaków z klawiatury przez pojedynczego operatora: $K_r = 2$ znaków / sek

2. Przepustowość magistrali: $C = 4800$ bitów / sek

3. Opóźnienie sprzętowe: $T_h = 100$ ms /wiadomość

4. Czas oczekiwania na transmisję: $T_p = 130$ ms

5. Czas przetwarzania wiadomości przez serwer: $T_c = 1$ sek

Wiadomości napływają do serwera niezależnie z wykładniczym czasem pomiędzy zgłoszeniami.

Do każdej wiadomości dodawanych jest 13 znaków kontrolnych (C_{ch}), a każdy znak jest kodowany 8 bitami (I_{ch}).





Charakterystyka wiadomości

1. Liczba wiadomości na dzień: **2000**
2. Średnia liczba znaków na pojedynczą wiadomość wejściową:
 $I_{ch} = 106$ znaków / wiadomość
3. Średnia liczba znaków na pojedynczą wiadomość wyjściową:
 $O_{ch} = 225$ znaków / wiadomość
4. Czas opóźnienia wnoszony przez operatora:
 $T_{th} = 9$ sek / wiadomość

ZADANIE:

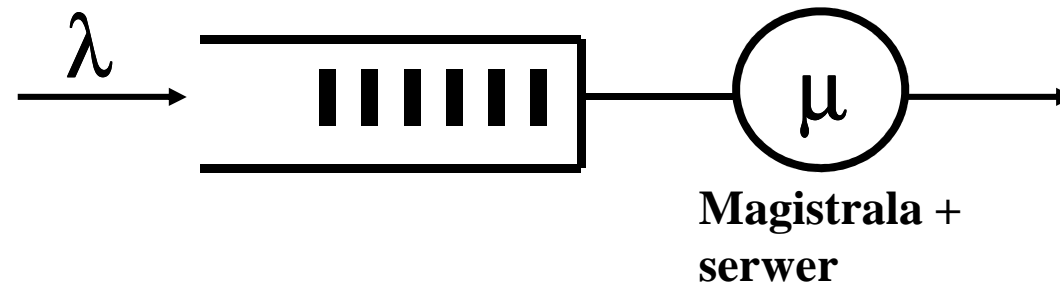
Sprawdzić czy system jest w stanie obsłużyć 2000 zamówień na dzień.





ROZWIĄZANIE

Model kolejkowy systemu M/M/1:



Średni czas wymagany do transmisji wiadomości wejściowej do serwera:

$$\begin{aligned} T_{\text{input message}} &= (I_{\text{ch}} + C_{\text{ch}}) l_{\text{ch}} \frac{1}{C} + T_h = \\ &= (106 + 13) 8 \text{ (bits)} \frac{1}{4800 \text{ bits/s}} + 100 \text{ ms} = \\ &= \frac{119 \cdot 8 \cdot 1000}{4800} + 100 = 198.3 + 100 = 298.3 \text{ ms} \approx 300 \text{ ms} \end{aligned}$$





Średni czas transmisji wiadomości wyjściowej z serwera:

$$\begin{aligned} T_{output\ message} &= (O_{ch} + C_{ch}) l_{ch} \frac{1}{C} + T_h = \\ &= (225 + 13) 8 \text{ (bits)} \frac{1}{4800 \text{ bits/s}} + 100 \text{ ms} = 496.7 \text{ ms} \cong 500 \text{ ms} \end{aligned}$$

Całkowity czas transmisji jednego zamówienia:

$$T_{total} = T_{input} + T_{output} = (300 + 500) \text{ ms} = 800 \text{ ms}$$

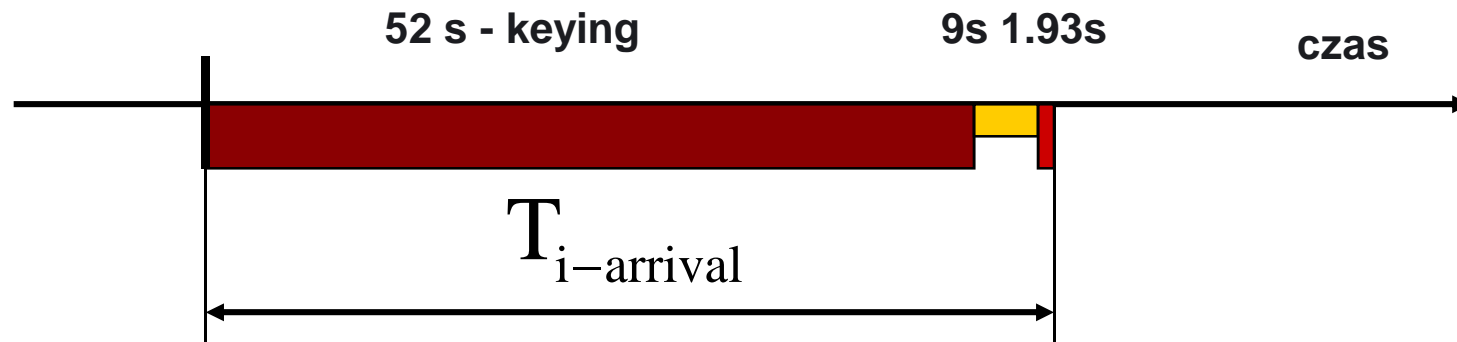
Średni czas odpowiedzi serwera:

$$T_{system} = T_p + T_{total} + T_c = 130 \text{ ms} + 800 \text{ ms} + 1 \text{ s} = 1.93 \text{ s}$$



Średni czas pomiędzy zgłoszeniami z pojedynczego terminala:

$$T_{i-\text{arrival}} = \frac{I_{\text{ch}}}{K_r} + T_{\text{th}} + T_{\text{system}} = \frac{106}{2} + 9 + 1.93 = 63.93 \text{ s} \approx 64 \text{ s}$$



Średnia szybkość napływu zgłoszeń z 6 terminali:

$$\lambda = 6 \cdot \frac{1}{64\text{s}} = 0.0938 \text{ 1/s}$$

Stopień wykorzystania systemu:

$$\rho_{\text{system}} = \lambda T_{\text{system}} = 0.0938 \left(\frac{1}{\text{s}} \right) \cdot 1.93\text{s} = 0.181$$



Średni czas oczekiwania na przetwarzanie przez serwer:

$$W = \frac{\rho_s T_{\text{system}}}{1 - \rho_s} = \frac{0.181 \cdot 1.93 \text{ s}}{1 - 0.181} = 0.43 \text{ s}$$

Współczynnik wykorzystania magistrali:

$$\rho_t = \lambda T_{\text{total}} = 0.0938 \cdot 0.8 \text{ s} = 0.075$$

Ponieważ należy obsłużyć 2000 zamówień dziennie, to czas wymagany jest równy:

$$2000 \text{ zamówień} \times 64 \text{ sek} = 128\,000 \text{ sek}$$

6 terminali pracujących przez 7 godzin dziennie potrzebuje łącznie czasu:

$$6 \text{ terminali} \times 7 \text{ godzin} \times 3600 \text{ sek/godz.} = 151\,200 \text{ sek}$$

Ponieważ: 128 000 sek < 151 200 sek,
zatem system jest zdolny sprawnie wykonać zadanie (stopień wykorzystania systemu jest mniejszy od 1).



Tomasz Kacprzak

Bezprzewodowe sieci telekomunikacyjne

Analiza ruchu i protokoły komunikacyjne

Zadanie nr 30 – Dostosowanie kierunku Elektronika i Telekomunikacja
do potrzeb rynku pracy i gospodarki opartej na wiedzy



KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY



Prezentacja multimedialna
współfinansowana przez Unię Europejską
w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego
w projekcie

*„Innowacyjna dydaktyka bez ograniczeń
– zintegrowany rozwój Politechniki Łódzkiej –
zarządzanie Uczelnią,
nowoczesna oferta edukacyjna
i wzmacniania zdolności do zatrudniania
osób niepełnosprawnych”*



Politechnika Łódzka
Instytut Elektroniki

90-924 Łódź, ul. Żeromskiego 116,
tel. 042 631 28 83
www.kapitalludzki.p.lodz.pl