

Zarządzanie ruchem i jakością usług w sieciach komputerowych

Część 1 wykładu

SKO2

Mapa wykładu

- Wprowadzenie
 - 10 trendów rozwoju sieci
- **Komunikacja multimedialna w sieciach IP**
- Techniki QoS
 - ATM
 - IEEE 802.1D
 - Integrated Services i Differentiated Services
 - MPLS
- Problemy i perspektywy rozwoju tych technologii

Zarys wykładu o komunikacji multimedialnej w sieciach IP

- Aplikacje sieci z jakością usług
- Przesyłanie strumieniowe przechowywanych plików audio i wideo
 - RTSP
- Multimedia czasu rzeczywistego: studium przypadku telefonii internetowej
- Protokoły dla interaktywnych aplikacji czasu rzeczywistego
 - RTP, RTCP
 - SIP
- Poza best-effort
- Mechanizmy szeregowania i kontroli

Protokół czasu rzeczywistego (RTP)



- RTP określa strukturę pakietu dla pakietów przenoszących dane o obrazie i dźwięku
- RFC 1889.
- Pakiet RTP zapewnia
 - Identyfikację typu ładunku
 - Numerację sekwencji pakietów
 - Znacznik czasowy
- RTP działa w systemach końcowych.
- Pakiety RTP są wbudowane w segmenty UDP
- Kompatybilność: jeżeli dwie aplikacje telefonu internetowego używają standardowego protokołu (RTP), to mogą ze sobą współpracować

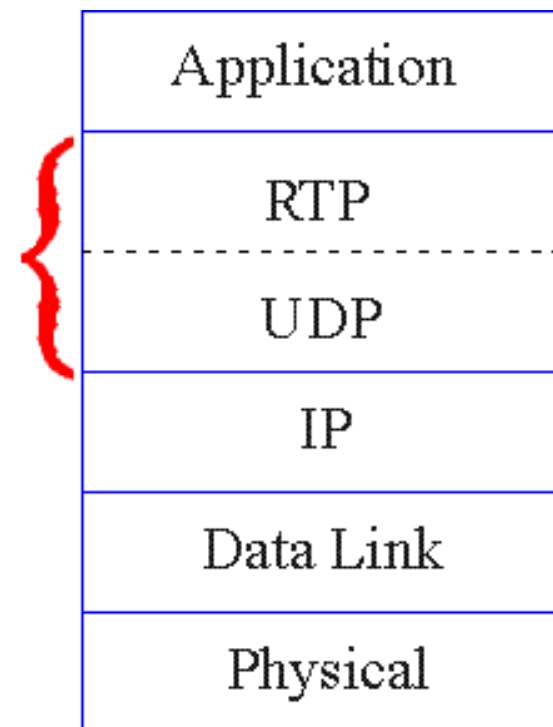


RTP korzysta z UDP

Biblioteki RTP zapewniają interfejs warstwy transportowej rozszerzający UDP:

- numery portów, adresy IP
- identyfikacja rodzaju ładunku
- numerowanie sekwencji pakietów
- znacznikowanie czasowe

transport
layer



Przykład RTP



- Rozważmy wysyłanie głosu kodowanego w PCM przez RTP z prędkością 64 kb/s.
- Aplikacja gromadzi zakodowane dane w częściach, np., każde 20 ms = 160 bajtów.
- Część dźwięku z nagłówkiem RTP tworzy komunikat RTP, który jest wbudowany w segment UDP.
- Nagłówek RTP wskazuje typ kodowania dźwięku w każdym pakiecie
 - Nadawca może zmienić kodowanie w trakcie konferencji.
- Nagłówek RTP zawiera również kolejne numery i znaczniki czasowe.

RTP i QoS



- ❑ RTP **nie** zapewnia żadnego mechanizmu gwarantującego dostarczenie danych na czas ani innych gwarancji dotyczących jakości usługi.

- ❑ Nagłówki RTP widać tylko w systemach końcowych: nie widzą ich pośrednie rutery.
 - Rutery świadczące usługę best-effort nie dokładają żadnych specjalnych starań, aby zapewnić terminowe dotarcie pakietów RTP do miejsca przeznaczenia.

Nagłówek RTP



| Typ łaadunku | Numer sekwencyjny | Znacznik czasowy | Źródło strumienia | Różne pola |
|--------------|-------------------|------------------|-------------------|------------|
|--------------|-------------------|------------------|-------------------|------------|

Typ łaadunku (7 bitów): Wskazuje używany w danym momencie typ kodowania. Jeżeli nadawca zmieni kodowanie w trakcie konferencji, nadawca informuje o tym odbiorcę za pośrednictwem tego pola typu łaadunku.

- Typ łaadunku 0: PCM mu-law, 64 kb/s
- Typ łaadunku 3, GSM, 13 kb/s
- Typ łaadunku 7, LPC, 2.4 kb/s
- Typ łaadunku 26, ruchomy JPEG
- Typ łaadunku 31. H.261
- Typ łaadunku 33, wideo MPEG2

Numer sekwencyjny (16 bitów): Zwiększa się o jeden dla każdego wysłanego pakietu RTP i może być wykorzystany do wykrywania utraty pakietu i przywracania sekwencji pakietów.

Nagłówek RTP (2)



- **Pole znacznika czasowego (32 bajty).**
Odzwierciedla chwilę próbkowania pierwszego bajtu w pakiecie danych RTP.
 - W wypadku dźwięku, zegar znacznika czasowego zazwyczaj zwiększa się o jeden dla każdego okresu próbkowania (na przykład, każde 125 mikrosekund dla zegara próbkowania 8 KHz)
 - Jeżeli aplikacja generuje grupy 160 zakodowanych próbek, to znacznik czasowy zwiększa się o 160 dla każdego pakietu RTP, gdy źródło jest aktywne. Zegar znacznika czasowego nadal się zwiększa w stałym tempie, gdy źródło jest nieaktywne.

- **Pole SSRC (dł. 32 bitów).** Identyfikuje źródło strumienia RTP. Każdy strumień w sesji RTP powinien mieć odrębny SSRC (*Synchronization source identifier*).

RTP Zadanie programistyczne

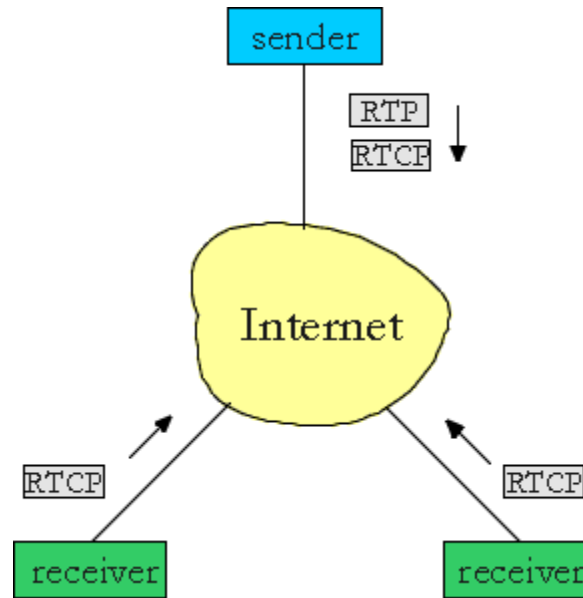
- Zbudować klienta/serwera UDP z prostym buforem o stałym opóźnieniu, współpracujący z wybranym kodekiem dźwięku
 - Brać kolejne dane z kodeka, dodać nagłówki RTP, utworzyć segmenty UDP, wysłać segmenty do gniazda UDP
 - Dołączyć numery sekwencyjne i znaczniki czasowe
 - Utworzyć prosty bufor ze stałym opóźnieniem, który odtwarza oryginalne odstępy czasowe
 - Testować!
 - także interaktywnie

Protokół sterowania w czasie rzeczywistym (RTCP)



- ❑ Pracuje łącznie z RTP.
- ❑ Każdy uczestnik sesji RTP **okresowo** transmituje pakiety sterujące RTCP do **wszystkich** innych uczestników.
- ❑ Każdy pakiet RTCP zawiera raporty nadawcy i/lub odbiorcy
 - Statystyka raportu przydatna dla aplikacji
- ❑ Statystyki zawierają liczbę wysłanych pakietów, liczbę utraconych pakietów, zmienność opóźnień, itp.
- ❑ Informacje zwrotne mogą zostać wykorzystane do sterowania wydajnością
 - Nadawca może modyfikować swoje transmisje w oparciu o informacje zwrotne

RTCP - ciąg dalszy



- W wypadku sesji RTP na ogół występuje pojedynczy adres grupowy (multicast); wszystkie pakiety RTP i RTCP należące do sesji używają adresu grupowego.
- Pakiety RTP i RTCP rozróżnia się przez użycie oddzielnych numerów portów.
- Aby ograniczyć ruch, każdy uczestnik ogranicza swój ruch RTCP w miarę zwiększania się liczby uczestników konferencji.

Pakiety RTCP



Pakiety raportów odbiorcy:

- ułamek utraconych pakietów, ostatni numer sekwencyjny, średnia zmienność opóźnień.

Pakiety raportów nadawcy:

- SSRC ze strumienia RTP, bieżący czas, liczba wysłanych pakietów oraz liczba wysłanych bajtów.

Pakiety opisu źródła:

- Adres e-mail nadawcy, nazwa nadawcy, SSRC powiązanego strumienia RTP.
- Zapewnić mapowanie między SSRC a nazwą użytkownika/hosta.

Synchronizacja strumieni



- RTCP może synchronizować różne strumienie mediów w ramach sesji RTP.
- Rozważmy aplikację wideokonferencji, dla której każdy nadawca generuje jeden strumień RTP dla obrazu i jeden dla dźwięku.
- Znaczniki czasowe w pakietach RTP powiązane z zegarami próbkowania obrazu i dźwięku
 - Nie powiązane z czasem rzeczywistym
- Każdy pakiet raportów nadawcy RTCP zawiera (dla ostatnio wygenerowanego pakietu w powiązonym strumieniu RTP):
 - Znacznik czasowy pakietu RTP
 - Czas rzeczywisty dla chwili utworzenia pakietu.
- Odbiorcy mogą wykorzystać to powiązanie do synchronizacji odtwarzania dźwięku i obrazu.

Skalowanie szerokości pasma RTCP



- RTCP stara się ograniczyć swój ruch do 5% szerokości pasma sesji.

Przykład

- Przypuśćmy, że jeden nadawca wysyła obraz z prędkością 2 Mb/s. Następnie RTCP stara się ograniczyć swój ruch do 100 Kb/s.
- RTCP daje 75% tej prędkości odbiorcom; pozostałe 25% przypada na nadawcę
- 75 kb/s jest równo dzielone między odbiorców:
 - Przy liczbie odbiorców R , każdy odbiorca wysyła ruch RTCP z prędkością $75/R$ kb/s.
- Nadawca wysyła ruch RTCP z prędkością 25 kb/s.
- Uczestnik ustala okres transmisji pakietu RTCP obliczając średni rozmiar pakietu RTCP (w ciągu całej sesji) i dzieląc go przez przydzieloną prędkość.

SIP



- ❑ Protokół Inicjacji Sesji (*Session Initiation Protocol*)
- ❑ Pochodzi z IETF

Długoterminowa wizja SIP

- ❑ Wszystkie połączenia telefoniczne i wideokonferencyjne odbywają się w Internecie
- ❑ Ludzie są identyfikowani w oparciu o nazwiska lub adresy e-mail, a nie numery telefonów.
- ❑ Można dotrzeć do adresata połączenia bez względu na to, gdzie przebywa i jakiego urządzenia i adresu IP obecnie używa.

Usługi SIP



□ Nawiązywanie połączenia

- Zapewnia dzwoniącemu mechanizmy powiadomienia osoby, do której dzwoni, że chce nawiązać połączenie
- Zapewnia mechanizmy umożliwiające dzwoniącemu i adresatowi połączenia uzgodnienie typu mediów i kodowania.
- Zapewnia mechanizmy zakończenia połączenia.

□ Ustalenie bieżącego adresu IP adresata połączenia.

- Mapuje mnemoniczny identyfikator na bieżący adres IP

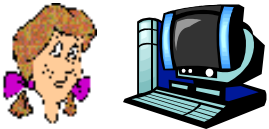
□ Zarządzanie połączeniem

- Dodawanie nowych strumieni mediów w trakcie połączenia
- Zmiana kodowania w trakcie połączenia
- Zaproszenie innych osób
- Przeniesienie i zawieszenie połączenia

Nawiązywanie połączenia ze znanym adresem IP

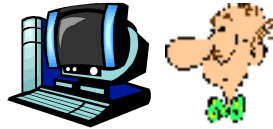


Alice

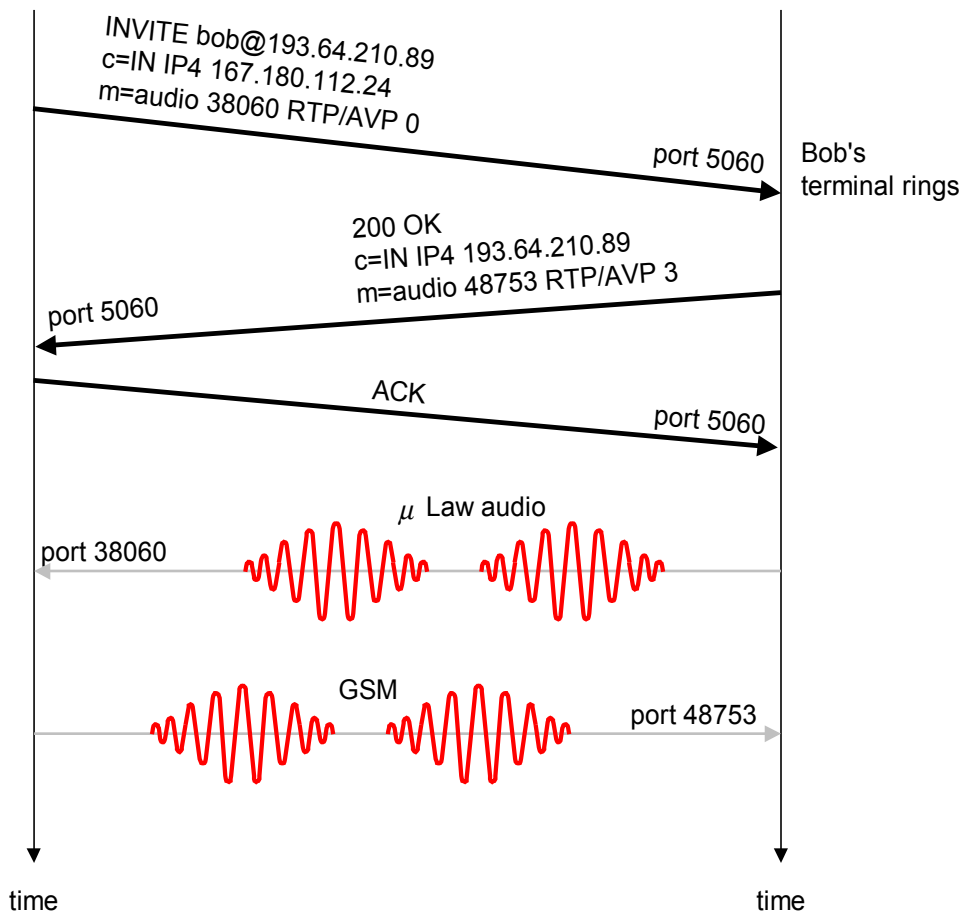


167.180.112.24

Bob



193.64.210.89



- Komunikat powitalny SIP Alicji wskazuje jej numer portu i adres IP. Wskazuje kodowanie, jakie Alicja woli otrzymywać (PCM ulaw)
- Komunikat 200 OK Boba wskazuje jego numer portu, adres IP i preferowane kodowanie (GSM)
- komunikaty SIP mogą być wysyłane przez TCP lub UDP; tutaj są wysyłane przez RTP/UDP.
- Domyślny numer portu SIP to 5060.

Nawiązywanie połączenia (więcej)



- Uzgodnienie kodeków:
 - Przypuśćmy, że Bob nie ma koder PCM ulaw.
 - Zamiast tego Bob odpowie przy pomocy "606 Odpowiedź Nieakceptowalna" i wymieni kodery, których może używać.
 - Alicja może wtedy wysłać nowy komunikat INVITE, ogłaszający odpowiedni koder.
- Odrzucenie połączenia
 - Bob może odrzucić połączenie przy pomocy odpowiedzi "zajęty," "nie odpowiada," "wymagana opłata," "zabroniony".
- Media można wysłać przy pomocy RTP lub innego protokołu.

Przykład komunikatu SIP



```
INVITE sip:bob@domain.com SIP/2.0
Via: SIP/2.0/UDP 167.180.112.24
From: sip:alice@hereway.com
To: sip:bob@domain.com
Call-ID: a2e3a@pigeon.hereway.com
Content-Type: application/sdp
Content-Length: 885

c=IN IP4 167.180.112.24
m=audio 38060 RTP/AVP 0
```

Uwagi:

- ❑ Składnia podobna do komunikatu HTTP
- ❑ sdp = protokół opisu sesji
- ❑ Identyfikator połączenia (Call-ID) jest unikalny dla każdego połączenia.

- Tutaj nie znamy adresu IP Boba. Niezbędne będą pośrednie serwery SIP.
- Alicja wysyła i otrzymuje komunikaty SIP używając domyślnego numeru portu SIP 5060.
- Alicja określa w nagłówku Via:, że klient SIP wysyła i otrzymuje komunikaty SIP przez UDP

Tłumaczenie nazwy i lokalizacja użytkownika



- Dzwoniący chce nawiązać połączenie z adresatem połączenia, ale ma tylko nazwę lub adres e-mail adresata.
 - Trzeba zdobyć adres IP obecnego hosta adresata połączenia, jeśli:
 - użytkownik jest mobilny
 - ma adres z DHCP
 - Użytkownik ma różne urządzenia IP (PC, PDA, zestaw samochodowy)
 - Wynik może opierać się na:
 - porze dnia (praca, dom)
 - Dzwoniącym (nie chcesz, żeby szef dzwonił do ciebie do domu)
 - Statusie adresata połączenia (połączenia przesyłane do poczty głosowej, gdy adresat już z kimś rozmawia)
- Usługa świadczona przez serwery SIP:
- serwer rejestrujący SIP
 - serwer proxy SIP

Serwer rejestrujący SIP



- Kiedy Bob uruchamia klienta SIP, klient wysyła komunikat SIP REGISTER do serwera rejestrującego Boba
(podobnej funkcji potrzebuje komunikator wiadomości)

Komunikat o rejestracji:

```
REGISTER sip:domain.com SIP/2.0  
Via: SIP/2.0/UDP 193.64.210.89  
From: sip:bob@domain.com  
To: sip:bob@domain.com  
Expires: 3600
```

Serwer proxy SIP



- ❑ Alicja wysyła komunikat powitalny do swojego serwera proxy
 - Zawiera adres sip:bob@domain.com
- ❑ Serwer proxy odpowiada za ruting komunikatów SIP do adresata połączenia
 - Potencjalnie za pośrednictwem wielu serwerów proxy.
- ❑ Adresat połączenia wysyła odpowiedź z powrotem przez ten sam zestaw serwerów proxy.
- ❑ Serwer proxy zwraca Alicji komunikat odpowiedzi SIP
 - Zawiera adres IP Boba
- ❑ Uwaga: serwer proxy jest analogiczny do lokalnego serwera DNS

Przykład

Dzwoniący `jim@umass.edu` nawiązuje połączenie z adresem `keith@upenn.edu`

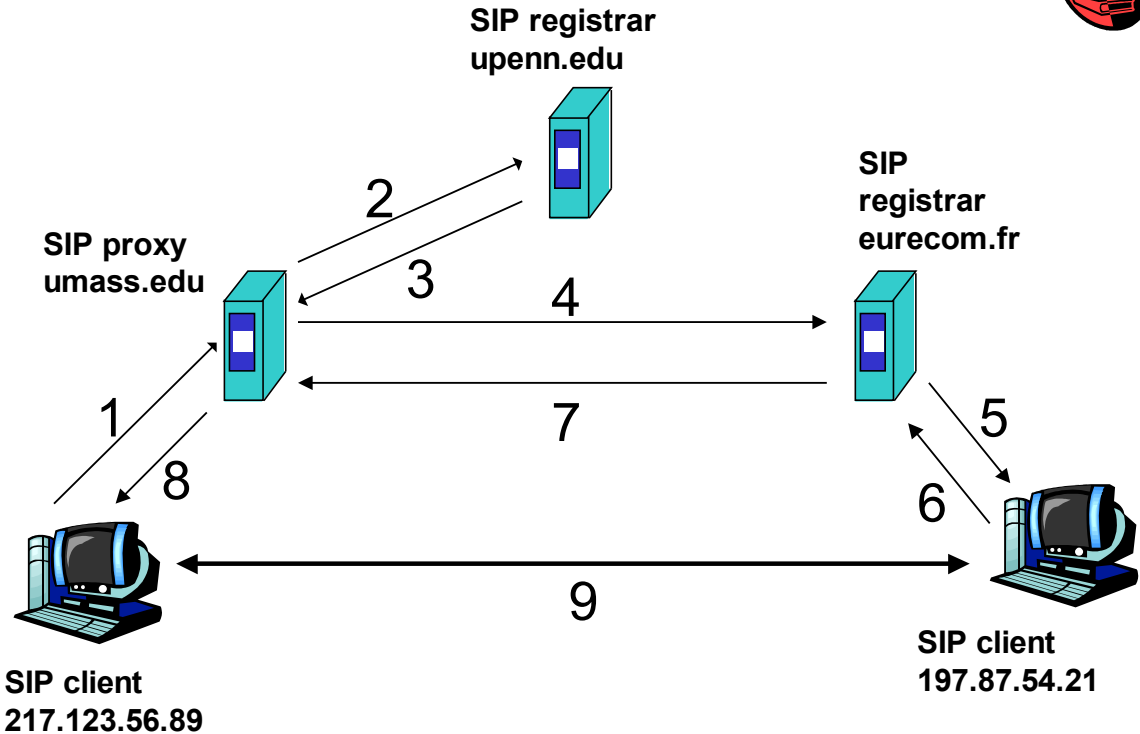
(1) Jim wysyła komunikat INVITE do serwera proxy umass SIP.

(2) Proxy przekazuje żądanie do serwera archiwizacji upenn.

(3) Serwer upenn zwraca odpowiedź przekierowania wskazując, że należy spróbować `keith@eurecom.fr`

(4) Serwer proxy umass wysyła INVITE do serwera rejestrującego eurecom. (5) Serwer rejestrujący eurecom przekazuje INVITE do 197.87.54.21, gdzie działa klient SIP Keitha. (6-8) Odpowiedź SIP przesyłana z powrotem (9) media przesyłane bezpośrednio między klientami.

Uwaga: również komunikat SIP ack, którego tutaj nie pokazano.



Porównanie z H.323



- H.323 to kolejny protokół sygnalizacyjny czasu rzeczywistego, interaktywny
- H.323 jest to kompletny, zintegrowany pionowo zestaw protokołów do konferencji multimedialnych: sygnalizowania, rejestracji, sterowania dostępem, transportu i kodeków.
- SIP jest pojedynczym komponentem. Współpracuje z RTP, ale nie jest to konieczne. Może być łączony z innymi protokołami i usługami.
- H.323 pochodzi z ITU (telefonii).
- SIP pochodzi z IETF: Zapożycza wiele swoich pojęć z HTTP. SIP kojarzy się z siecią WWW, natomiast H.323 kojarzy się z telefonią.
- SIP używa reguły KISS (czyli „Keep it simple stupid” - ma być jak najprościej).

Zarys wykładu o komunikacji multimedialnej w sieciach IP

- Aplikacje sieci z jakością usług
- Przesyłanie strumieniowe przechowywanych plików audio i wideo
 - RTSP
- Multimedia czasu rzeczywistego: studium przypadku telefonii internetowej
- Protokoły dla interaktywnych aplikacji czasu rzeczywistego
 - RTP, RTCP
 - SIP
- **Poza best-effort**
- Mechanizmy szeregowania i kontroli

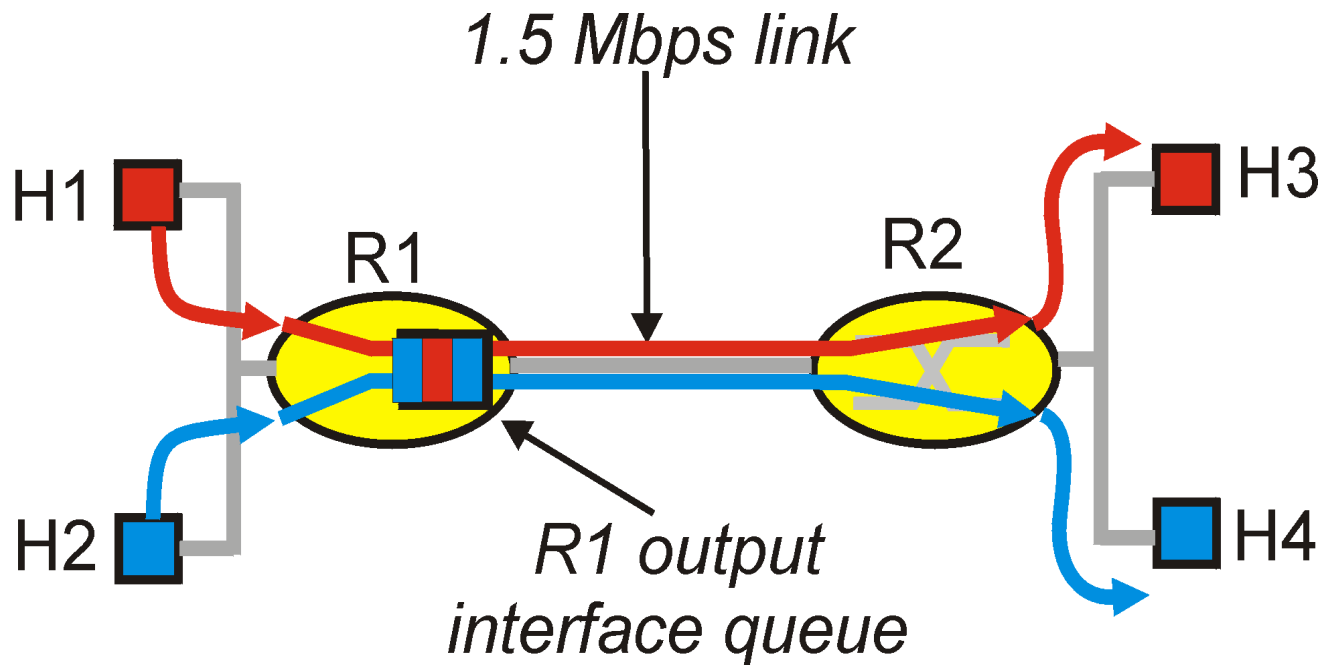
Podnoszenie jakości usług w sieciach IP



Do tej pory: "jak najlepsze wykorzystanie best effort"

Przyszłość: Internet następnej generacji z gwarancjami QoS

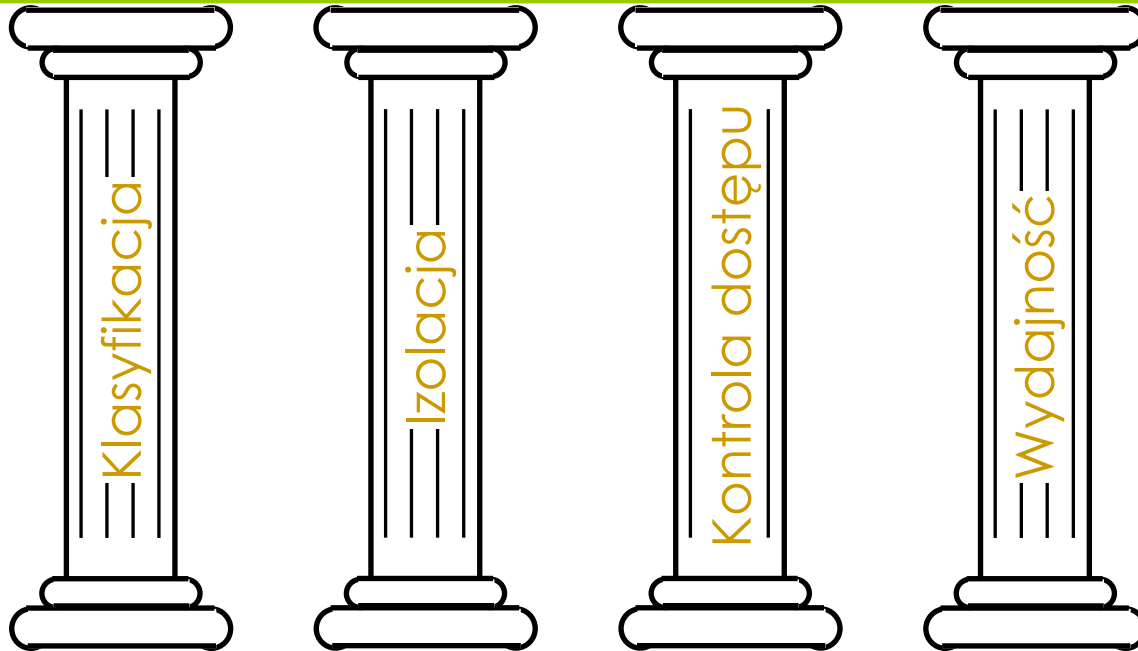
- **RSVP:** sygnalizacja do rezerwacji zasobów
 - **Zróżnicowane usługi:** gwarancje różnicowe
 - **Zintegrowane usługi:** trwałe gwarancje
- Prosty model do badań nad współużytkowaniem i przeciążeniem:





Podsumowanie zasad QoS

QoS dla aplikacji sieciowych



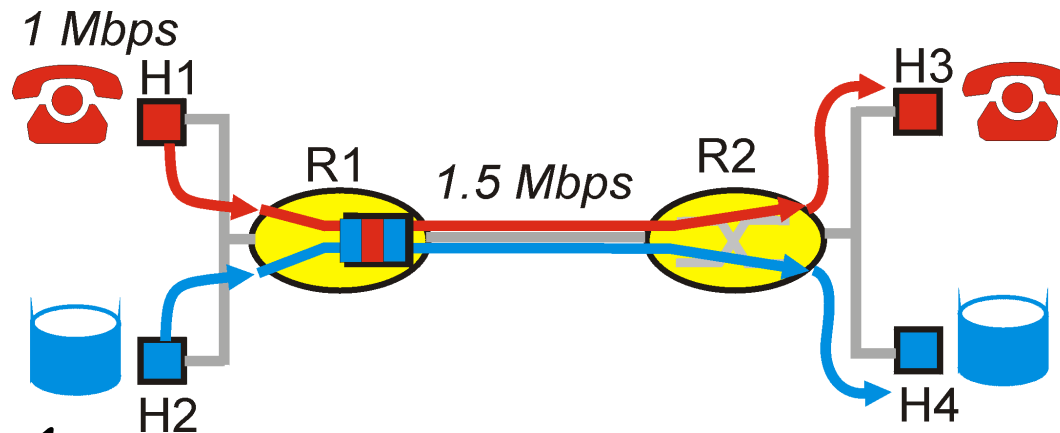
Najpierw omówimy zasady.

Potem przyjrzymy się mechanizmom, dzięki którym się je realizuje....

Zasady dla gwarancji jakości usług - klasyfikacja



- Przykład: telefon IP 1 Mb/s, FTP współużytkują łącze 1.5 Mb/s.
 - połączenia FTP mogą przeciążyć ruter, spowodować utratę dźwięku
 - Chcemy dać dźwiękowi priorytet w stosunku do FTP



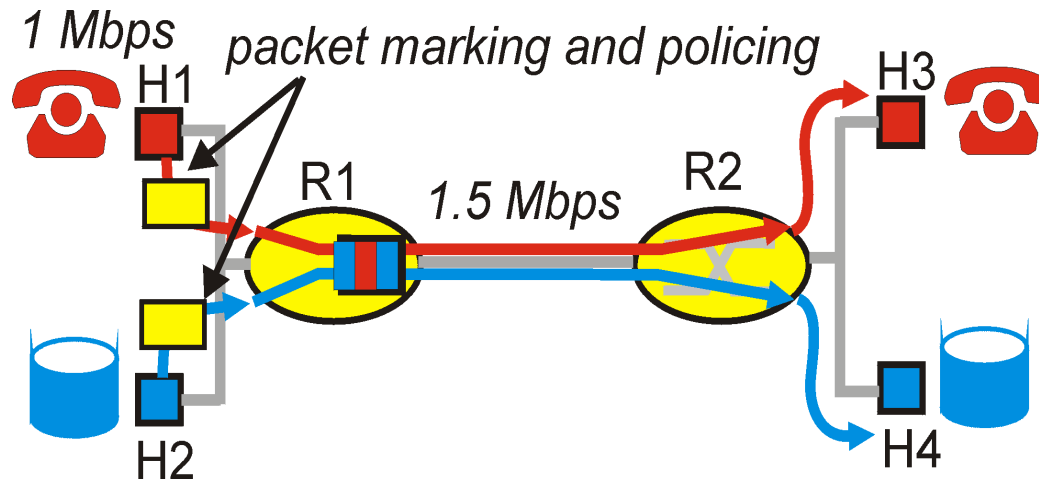
Reguła 1

Potrzebne znakowanie pakietów, żeby ruter rozróżniał poszczególne klasy; także nowa polityka rutera do odpowiedniego przetwarzania pakietów

Zasady dla gwarancji QoS - izolacja



- Co będzie, jeżeli aplikacje zachowują się nieprawidłowo (dźwięk wysyła więcej danych niż zadeklarowano)
 - kontrola: wymusić zgodność źródła z wynegocjowanym kontraktem ruchowym
- Egzekwowanie kontraktu ruchowego na skraju sieci:
 - podobne do ATM UNI (User Network Interface)



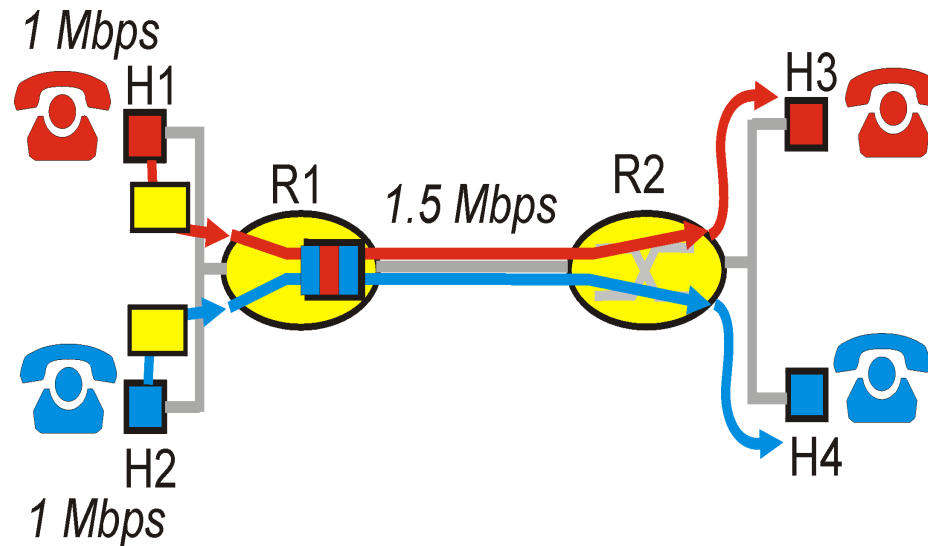
Reguła 2

zapewnić ochronę (izolację) jednej klasy przed innymi

Zasady dla gwarancji QOS - kontrola dostępu



- Podstawowy fakt: nie da się wspierać wymagań w zakresie ruchu przekraczających przepustowość łącza



- Uwaga: trzeba utrzymywać wysokie wykorzystanie sieci. Dlatego na krótki czas można dopuścić do przeciążenia.

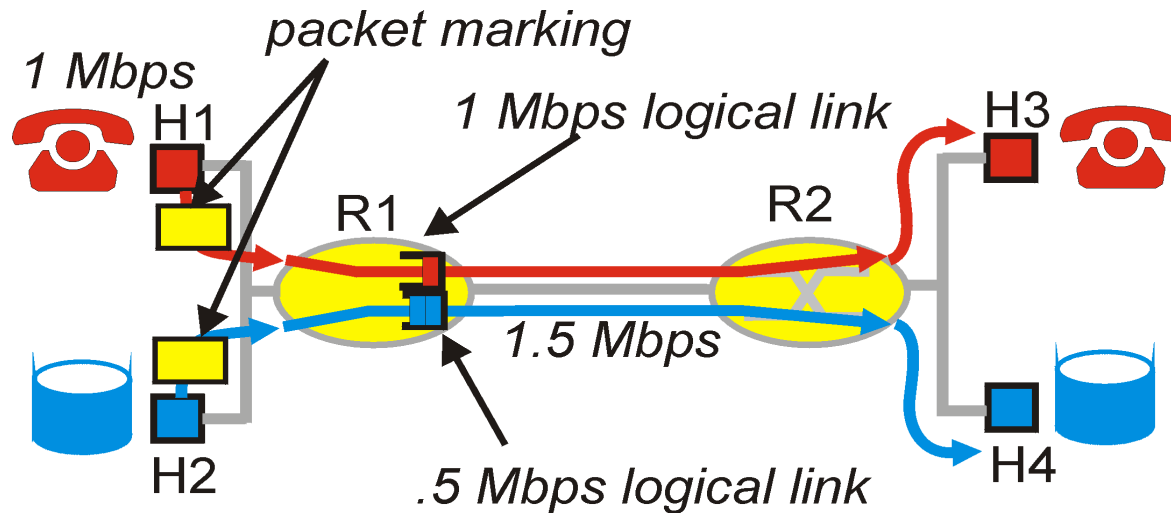
Reguła 3

Dopuszczanie połączenia: przeptyw deklaruje swoje potrzeby, sieć może zablokować połączenie (np., sygnał zajętości), jeżeli nie może spełnić potrzeb

Zasady dla gwarancji QOS - wydajność



- Przydzielanie *stałej* (nie podlegającej współużytkowaniu) szerokości pasma do przepływu: *niewydajne* użytkowanie pasma, jeżeli przepływ nie zużywa swojego przydziału



Reguła 4

Zapewniając izolację i kontrolując dostęp należy wykorzystywać zasoby tak wydajnie, jak tylko jest to możliwe

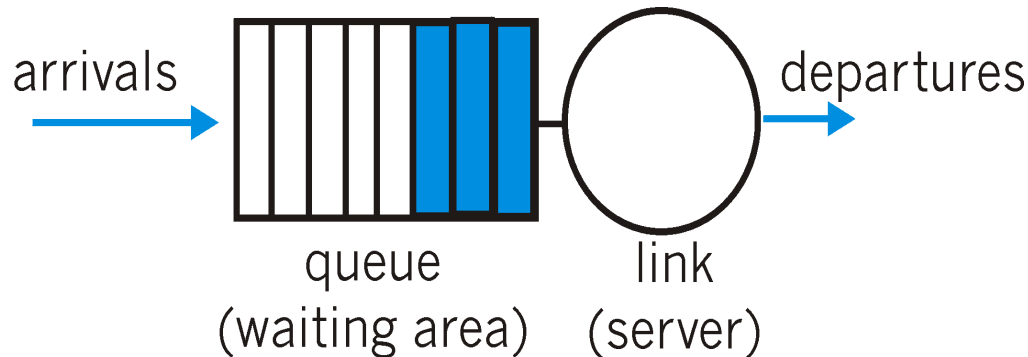
Zarys wykładu o komunikacji multimedialnej w sieciach IP

- Aplikacje sieci z jakością usług
- Przesyłanie strumieniowe przechowywanych plików audio i wideo
 - RTSP
- Multimedia czasu rzeczywistego: studium przypadku telefonii internetowej
- Protokoły dla interaktywnych aplikacji czasu rzeczywistego
 - RTP, RTCP
 - SIP
- Poza best-effort
- **Mechanizmy szeregowania i kontroli**

Mechanizmy szeregowania i kontroli



- **szeregowanie:** wybierz następny pakiet do przesłania przez łącze
 - ang. *scheduling*
- **Szeregowanie FIFO (pierwszy na wejściu, pierwszy na wyjściu):** wysyłaj w kolejności wejścia do kolejki
 - Przykład ze świata rzeczywistego?
 - **Strategia usuwania:** jeżeli pakiet wchodzi do pełnej kolejki: kogo usunąć?
 - Gubienie ogona (ang. *droptail*): gubienie nadchodzącego pakietu
 - priorytet: zgubić/usunąć w oparciu o priorytet
 - losowo: zgubić/usunąć losowo



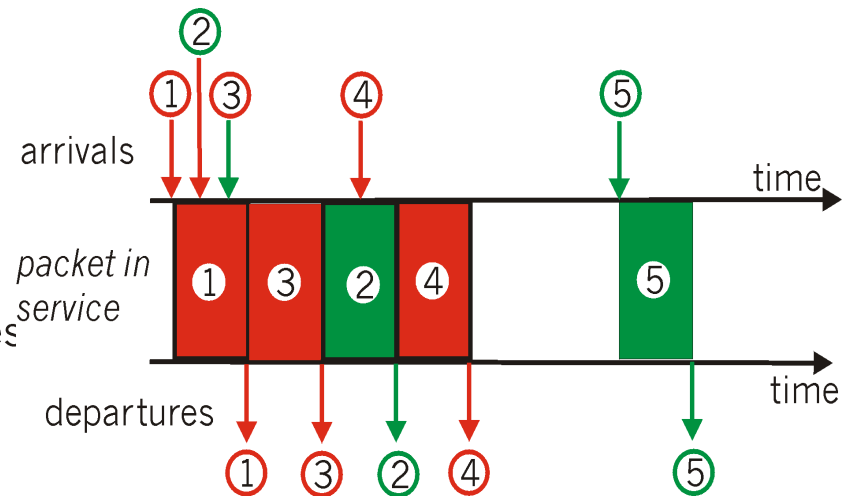
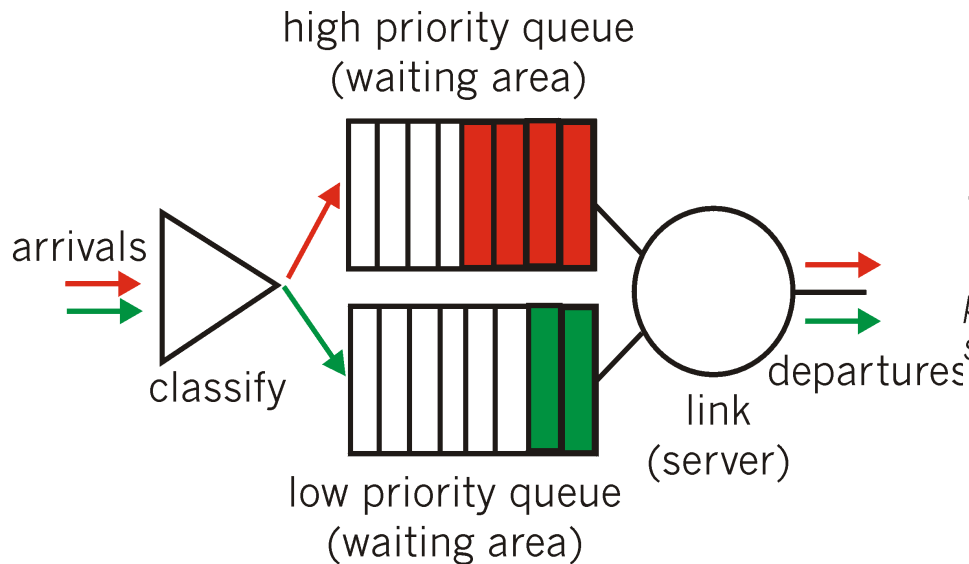
Strategie szeregowania: więcej



Szeregowanie priorytetów: transmisja pakietu o najwyższym priorytecie w kolejce

□ **Wiele klas o różnych priorytetach**

- klasa może zależeć od oznakowania lub innych informacji z nagłówka, np. IP źródła/przeznaczenia, numery portów, itp..
- Przykład ze świata rzeczywistego?

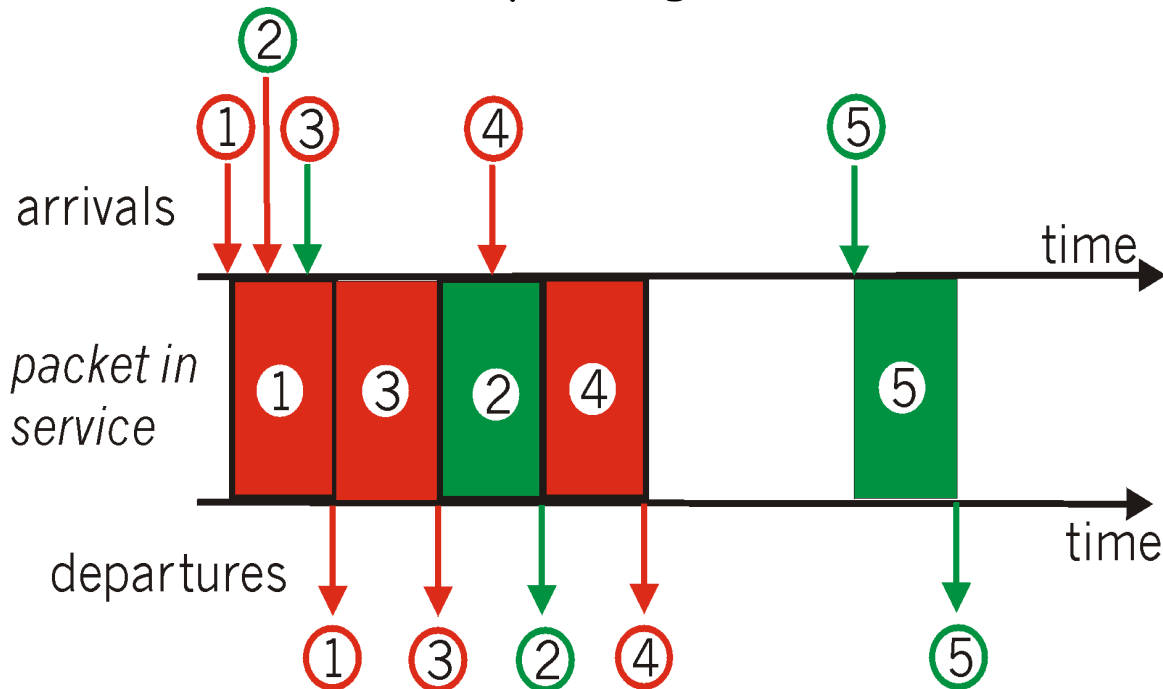


Strategie szeregowania: jeszcze więcej



Szeregowanie cykliczne:

- ❑ Wiele klas
- ❑ cykliczne skanowanie kolejek klas, obsługa jednej z każdej klasy (jeżeli dostępna)
- ❑ przykład ze świata rzeczywistego?

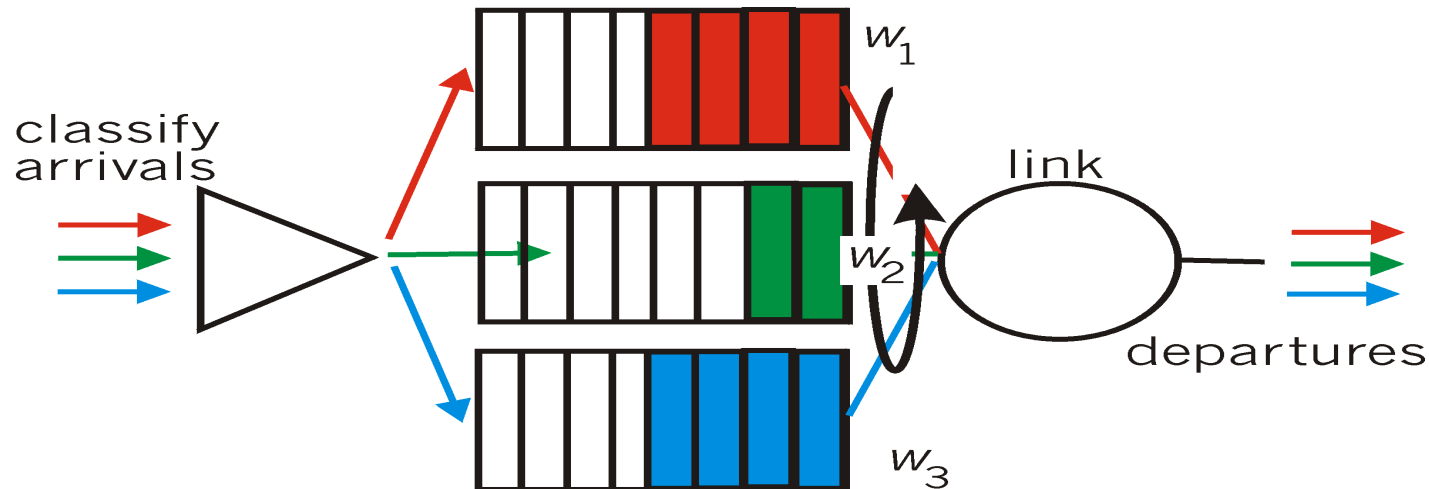


Strategie szeregowania: jeszcze więcej



Ważone sprawiedliwe kolejkowanie (ang. *weighted fair queuing, WFQ*):

- Uogólniona cykliczność
- Każda klasa otrzymuje ważoną ilość usługi w każdym cyklu
- Przykład ze świata rzeczywistego?



Mechanizmy kontroli ruchu



Cel: ograniczyć ruch tak, żeby nie przekraczał zadeklarowanych parametrów

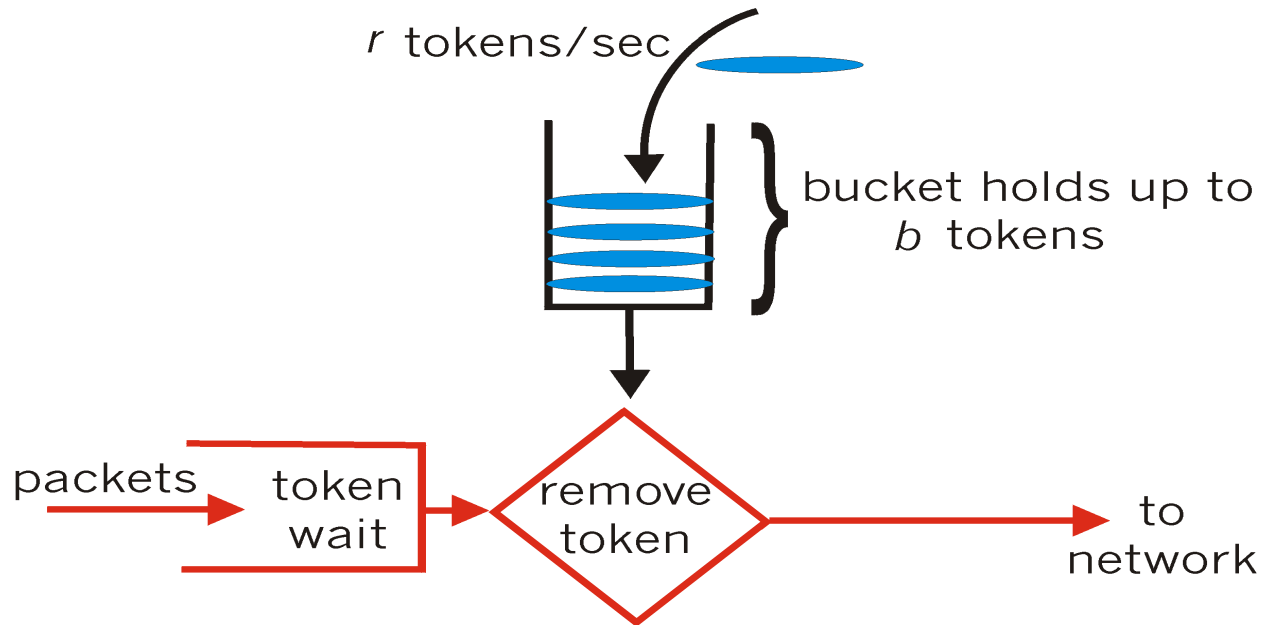
Trzy powszechnie stosowane kryteria:

- *(długoterminowa) średnia prędkość:* ile pakietów można wysłać na jednostkę czasu (na dłuższą metę)
 - Kluczowa kwestia: jaki jest odstęp czasu: 100 pakietów na sekundę czy 6000 pakietów na minutę to ta sama średnia!
- *Szczytowa prędkość:* np., 6000 pakietów na min. (p/m) średnio; prędkość szczytowa 1500 p/s
- *(Maks.) Wielkość serii:* maksymalna liczba pakietów wysyłanych po kolei (bez okresów bezczynności)

Mechanizmy kontroli



Token Bucket: ograniczyć wejście do określonego rozmiaru wiązki i średniej prędkości.

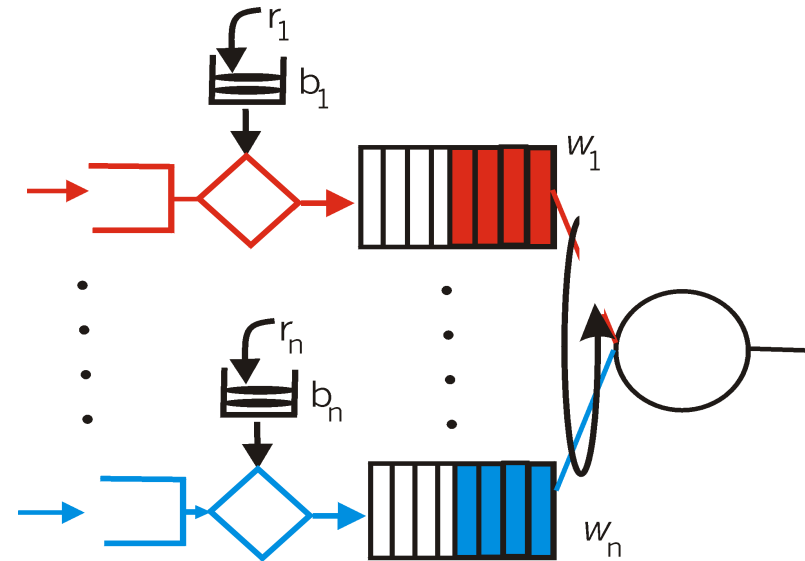
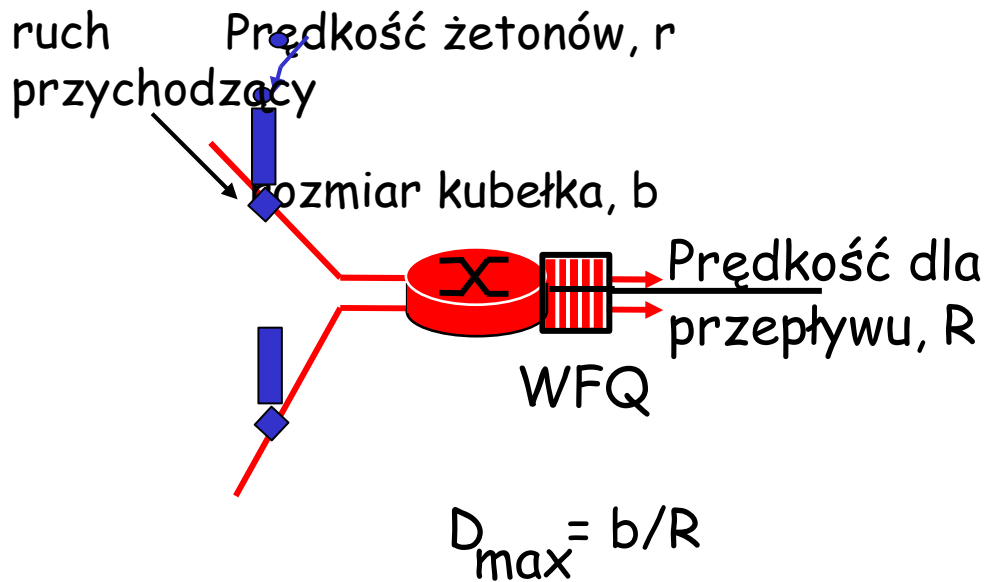


- kubek może zawierać b żetonów
- Żetony generowane z prędkością r żetonów/sekundę chyba, że kubek jest pełen
- *W ciągu okresu o długości t : liczba dopuszczonych pakietów mniejsza lub równa $(r t + b)$.*

Mechanizmy kontroli (więcej)



- token bucket, szeregowanie WFQ, aby zapewnić gwarantowane górne ograniczenie opóźnienia, tj., *gwarancja jakości usługi!*



Mapa wykładu

- Wprowadzenie
 - 10 trendów rozwoju sieci
- Komunikacja multimedialna w sieciach IP
- Techniki QoS
 - ATM
 - Wstęp do sieci ATM
 - Adresowanie i sygnalizacja w ATM
 - Ruting w ATM
 - Kształtowanie ruchu w ATM
 - Zarządzanie ruchem i kontrola przeciążenia w ATM
 - IEEE 802.1D
 - Integrated Services i Differentiated Services
 - MPLS
- Problemy i perspektywy rozwoju tych technologii