
Wstęp

Sieci komputerowe

Wykład 1

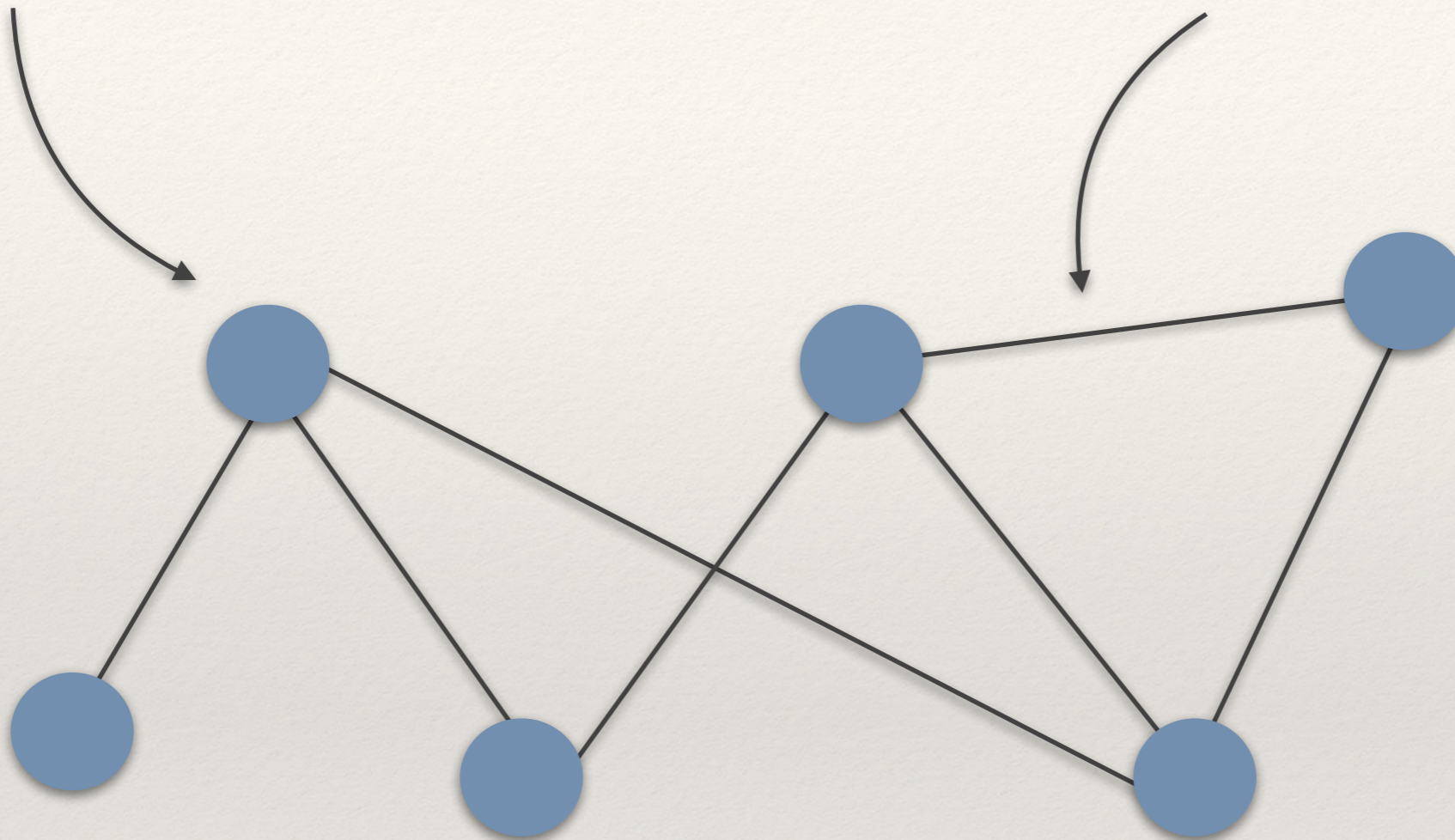
Marcin Bieńkowski

Cel przedmiotu

- ❖ Przedstawienie koncepcji leżących u podstaw sieci komputerowych...
- ❖ ... na przykładzie Internetu.

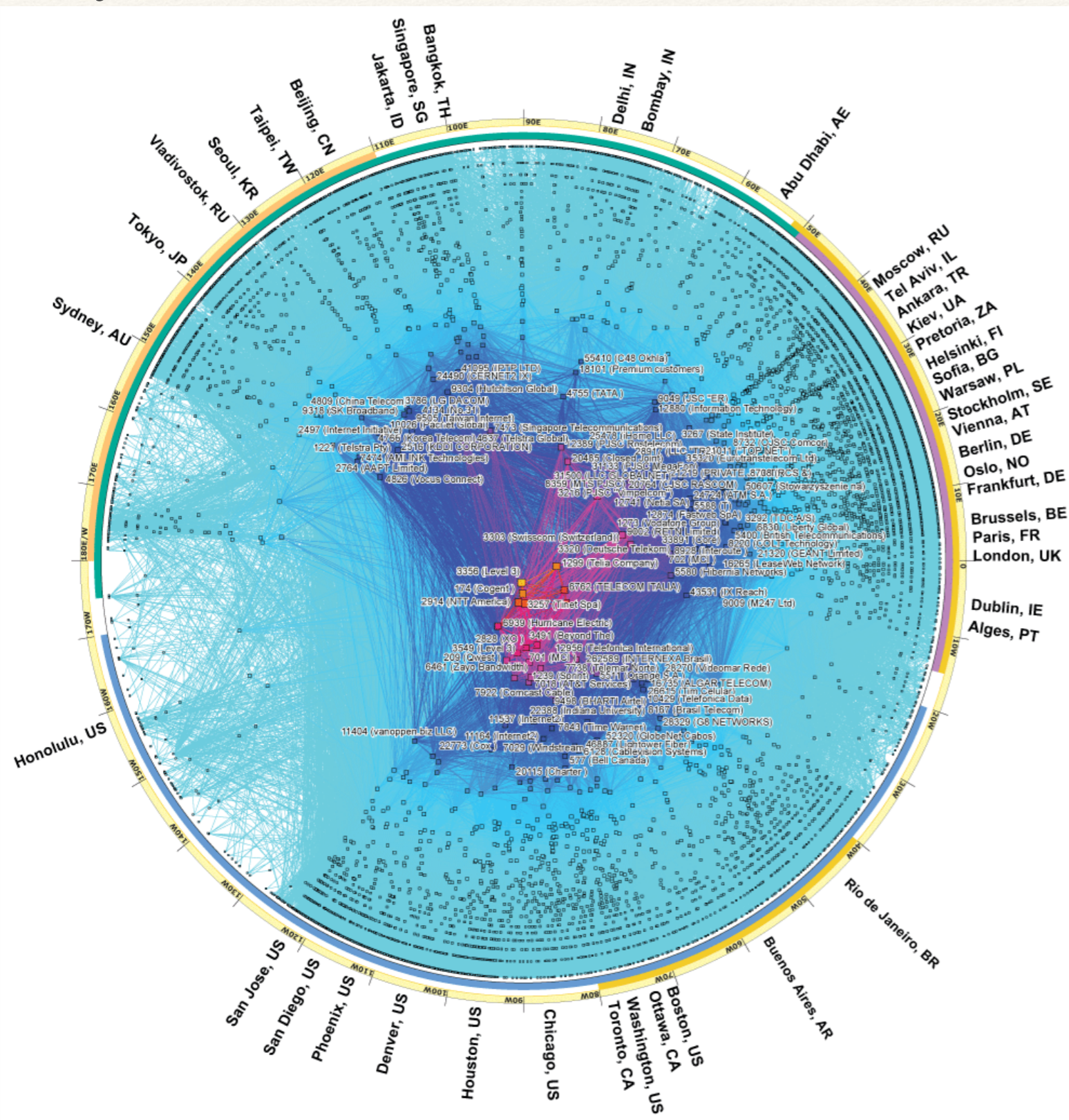
Sieć komputerowa?

Zbiór urządzeń połączonych ze sobą kanałami komunikacyjnymi.



Sieć komputerowa?

Przykładowo Internet w 2017 roku:



Internet 2021

Trochę liczb i nie tylko:

- ❖ 4,7 mld użytkowników (z 7,7 mld ludzi na świecie).
- ❖ 27 mld podłączonych urządzeń (3,2 mld smartfonów).
 - ❖ Internet rzeczy (IoT).
- ❖ 350 mln domen, 2 mld stron WWW.
 - ❖ 30 mln stron WWW hakowanych rocznie.
- ❖ 5,5 mld zapytań do Google dziennie.
- ❖ Łączy przez które można przesyłać dziesiątki terabitów / sek.
- ❖ Wszystko jako usługa (XaaS).

Jedna minuta w Internecie

2019 *This Is What Happens In An Internet Minute*



Różnorodność

- ❖ Od sensorów do superkomputerów.
- ❖ Przepustowości od 1 kbit/s do 100 Gbit/s.
- ❖ Aplikacje: telewizja, transfer plików, telefonia, gry, sieci socjalne, komunikatory.
- ❖ Technologie: bezprzewodowe, satelitarne, miedziane, optyczne.



Decentralizacja i dynamika

Internet = sieć łącząca różne sieci

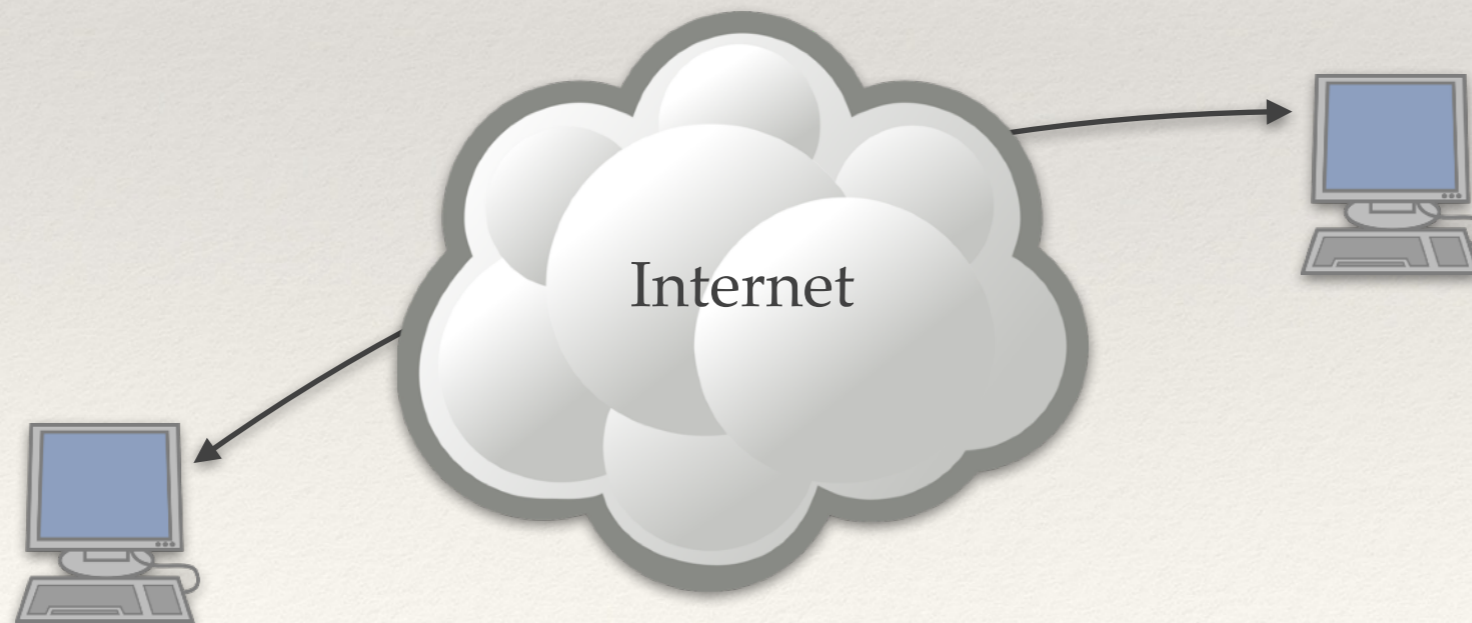
- ❖ Różne technologie (WIFI, 2G/3G/4G/5G, kable, światłowody, łącza satelitarne, Bluetooth, ...).
- ❖ Brak centralnej kontroli.
- ❖ Obecnie ponad 18 tys. ISP (dostawców internetu).
- ❖ Ciągłe zmiany (hardware i software).
- ❖ Błędy i ataki.



Główne zastosowanie sieci

Dwukierunkowy niezawodny kanał:

- ❖ Umożliwia komunikację między aplikacjami na różnych komputerach.
- ❖ Aplikacje definiują **protokół komunikacji** określający, jak wygląda przesyłany **strumień danych**.
- ❖ Na razie abstrahujemy tutaj od tego, jak sieć to przesyła; chcemy mieć potok pomiędzy dwoma procesami.



Przykład: protokół HTTP (przełądarka i serwer WWW)

Przełądarka (klient WWW) wysyła do serwera:

```
GET / HTTP/1.1
```

```
Host: example.org
```

```
Accept: text/html,application/xhtml+xml
```

```
Accept-Language: en-US,en;q=0.9,pl;q=0.8
```

```
User-Agent: Mozilla/5.0 (Macintosh; Intel Mac OS X 11_2_1)
```



Przykład: protokół HTTP (przełądarka i serwer WWW)

Przełądarka (klient WWW) wysyła do serwera:

```
GET / HTTP/1.1
```

```
Host: example.org
```

```
Accept: text/html,application/xhtml+xml
```

```
Accept-Language: en-US,en;q=0.9,pl;q=0.8
```

```
User-Agent: Mozilla/5.0 (Macintosh; Intel Mac OS X 11_2_1)
```



Serwer (klient WWW) wysyła do przełładarki:

```
HTTP/1.1 200 OK
```

```
Content-Length: 648
```

```
Content-Type: text/html
```

```
Date: Mon, 01 Mar 2021 10:36:19 GMT
```

```
Last-Modified: Thu, 17 Oct 2019 07:18:26 GMT
```

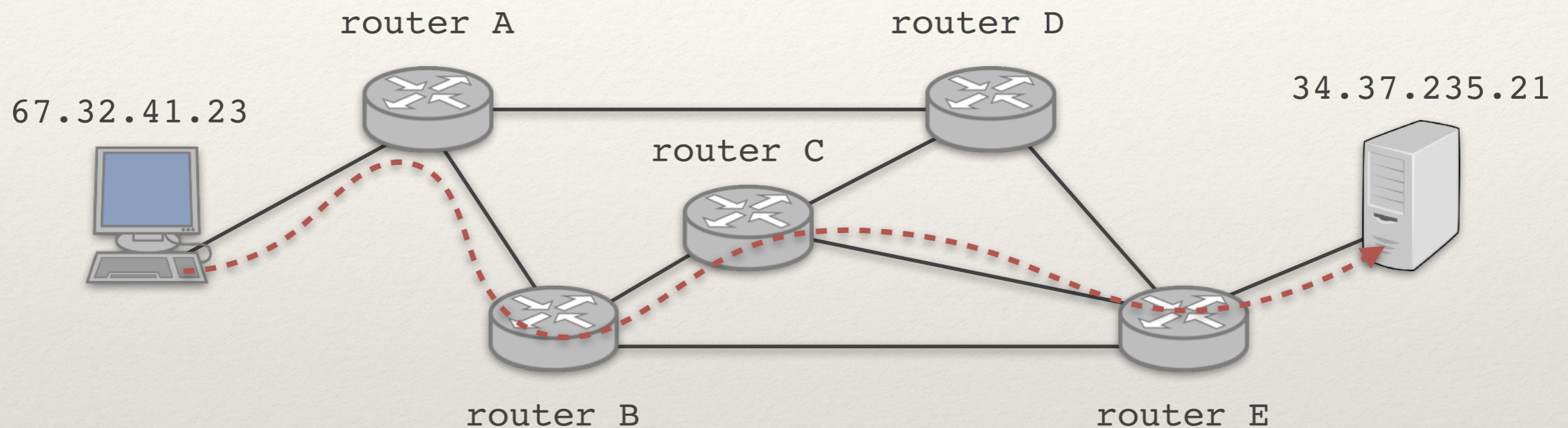
```
Server: Apache/2.2.22 (Debian)
```



demonstracja

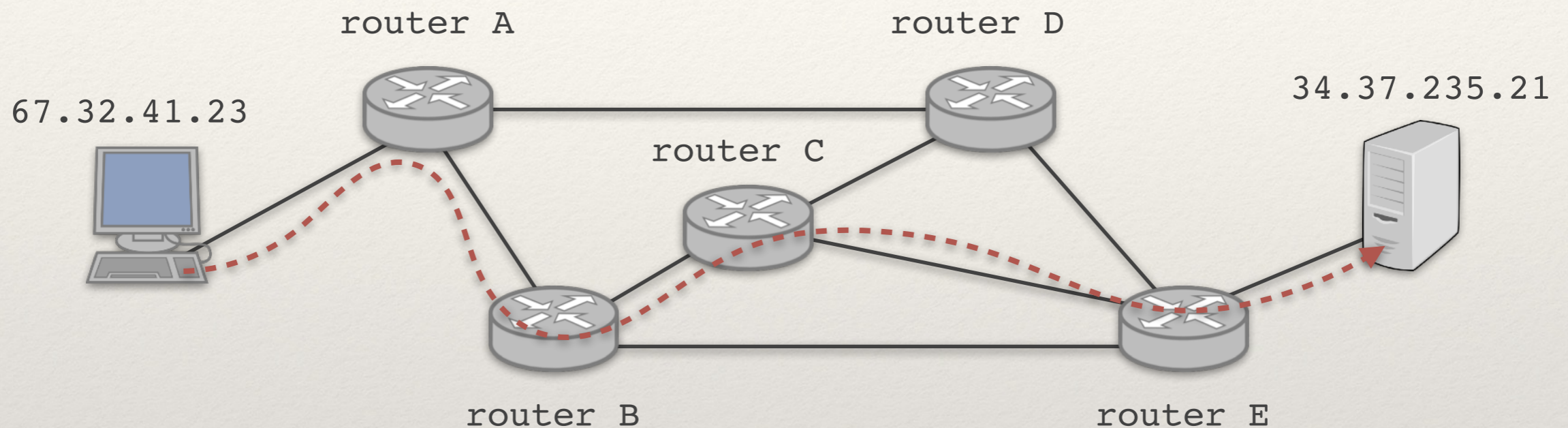
Jak przesyłać dane przez sieć

- ❖ **Globalne adresowanie:** w Internecie każde urządzenie (właściwie każda karta sieciowa) ma unikatowy 4-bajtowy adres IP.



Jak przesyłać dane przez sieć

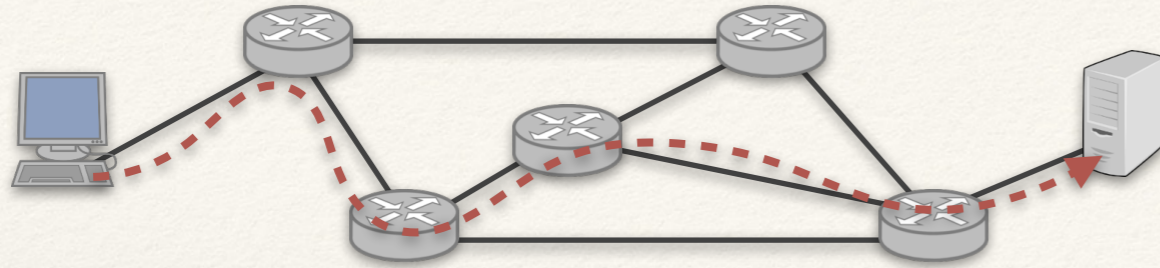
- ❖ **Globalne adresowanie:** w Internecie każde urządzenie (właściwie każda karta sieciowa) ma unikatowy 4-bajtowy adres IP.



- ❖ Dwa paradygmaty przesyłania danych:
 - ♦ przełączanie obwodów,
 - ♦ przełączanie pakietów.

Przełączanie obwodów i pakietów

Przełączanie obwodów (1)

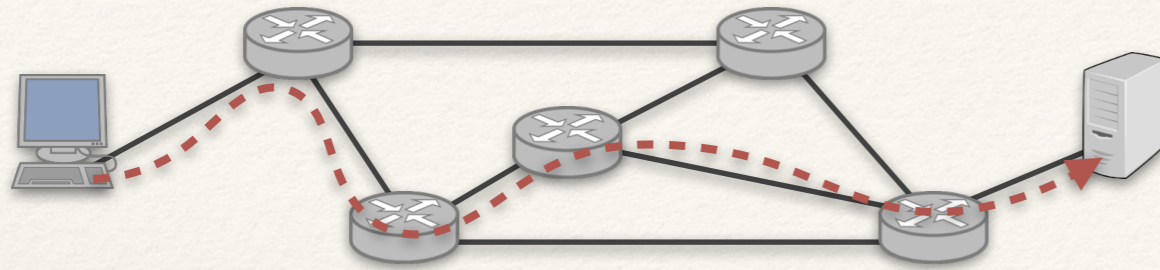


- ❖ Koncepcja jak w analogowych centralach telefonicznych.
- ❖ Ścieżka dla strumienia danych **ustalana na cały czas komunikacji**.
- ❖ Zasoby wymagane przez ścieżkę (bufory routerów, szybkość łącza) **rezerwowane na czas komunikacji**.
- ❖ **Gwarantowana stała szybkość**.



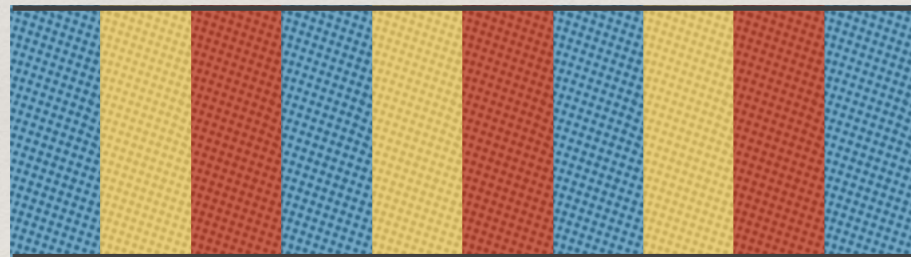
Obrazek ze strony <http://unusualhistoricals.blogspot.com/2011/02/ordinary-day-in-life-of-telephone.html>

Przełączanie obwodów (2)

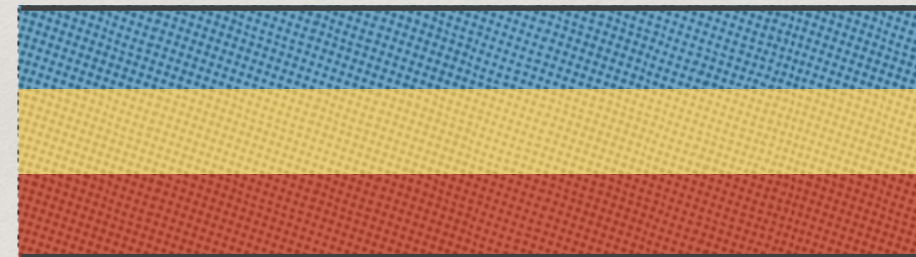


Multipleksowanie: rezerwujemy tylko fragment łącza dla jednego strumienia danych.

z podziałem czasu (TDM)



z podziałem częstotliwości (FDM)



czas

- ❖ Gwarantowana stała szybkość.
- ❖ Ale marnotrawstwo łącza jeśli akurat nic nie wysyłamy.

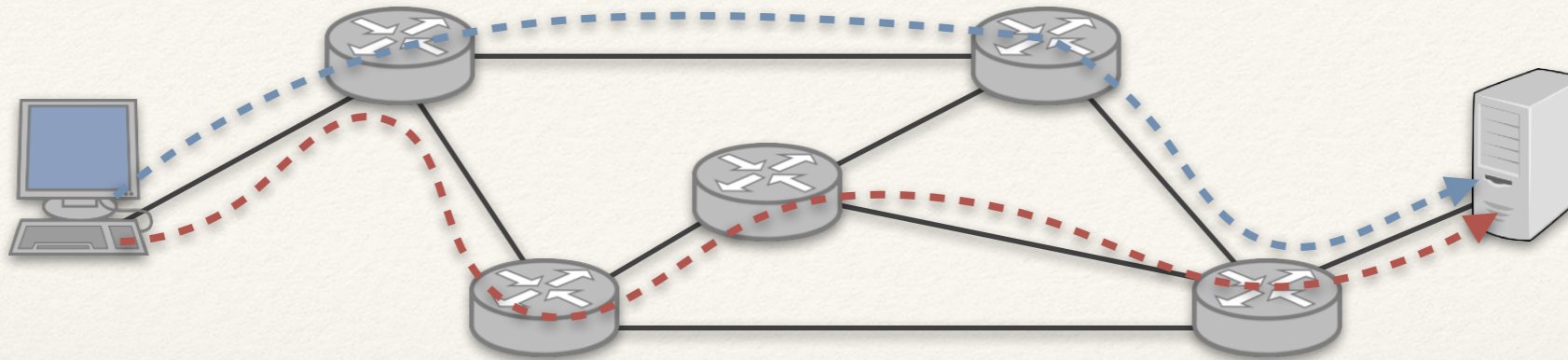
Przełączanie pakietów (1)

- ❖ Wysyłany strumień danych dzielimy na małe porcje: **pakiety**.



- ❖ Dane pakietu = fragment strumienia danych.
- ❖ Nagłówek pakietu = informacje kontrolne, m.in. adres źródłowy i docelowy.
- ❖ Każdy pakiet jest **przesyłany niezależnie**.
- ❖ Dla każdego pakietu router podejmuje niezależną decyzję gdzie przesłać go dalej (na podstawie informacji z nagłówka).

Przełączanie pakietów (2)



- ❖ **Routing (trasowanie) = wybór trasy dla danego pakietu.**
- ❖ Wysyłane pakiety mogą docierać do celu różnymi drogami.
- ❖ Router: tylko przekazuje pakiet dalej.
 - ◆ Nie musi wiedzieć nic o oryginalnym strumieniu danych.
 - ◆ Prostota → niski koszt, łatwa implementacja.
 - ◆ Brak stanu → łatwość odtwarzania po awarii.

Rodzaje routingu

- ❖ **Routing źródłowy**

- ◆ Nagłówek pakietu zawiera całą trasę do celu.

Rodzaje routingu

- ❖ **Routing źródłowy**
 - ♦ Nagłówek pakietu zawiera całą trasę do celu.
- ❖ **Wykorzystujący tablice routingu**
 - ♦ Router utrzymuje pewien stan nazywany **tablicą routingu**.
 - Zbiór reguł typu „jeśli adres docelowy pasuje do wzorca A, przekaz pakiet do sąsiedniego routera X”.
 - ♦ Jak ustawiać tablice routingu?

Rodzaje routingu

- ❖ **Routing źródłowy**
 - ◆ Nagłówek pakietu zawiera całą trasę do celu.

- ❖ **Wykorzystujący tablice routingu**
 - ◆ Router utrzymuje pewien stan nazywany **tablicą routingu**.
 - Zbiór reguł typu „jeśli adres docelowy pasuje do wzorca A, przekaż pakiet do sąsiedniego routera X”.
 - ◆ Jak ustawiać tablice routingu?

- ❖ **Wirtualne przełączanie obwodów**
 - ◆ Nadawca najpierw wysyła pakiet(y) kontrolny ustanawiający ścieżkę do celu i konfiguruje routery, czasem rezerwując część łącza.
 - ◆ Kolejne pakiety przesyłane są tą samą ścieżką.

Przykładowa trasa

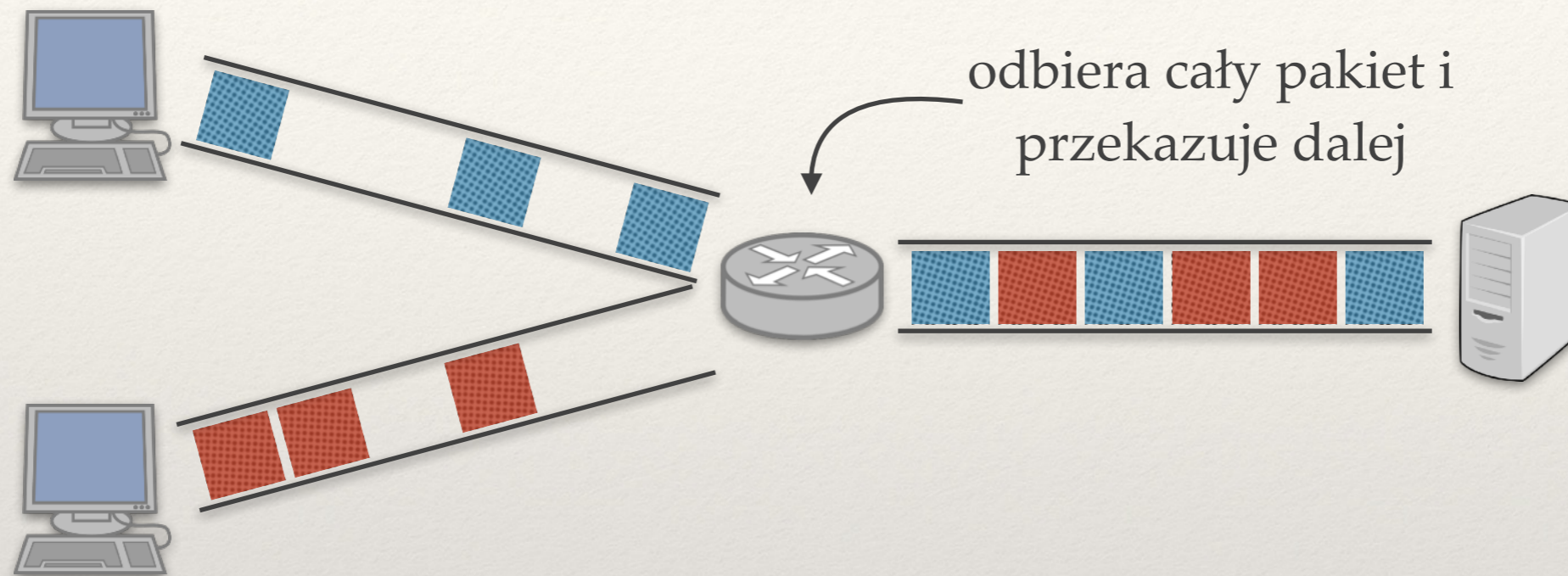
traceroute to www.ii.uni.wroc.pl (156.17.4.3), 64 hops max, 52 byte packets

```
1  192.168.1.1 (192.168.1.1)  1.525 ms
2  wro-bng2.tpnet.pl (80.50.18.74)  31.965 ms
3  wro-r2.tpnet.pl (80.50.122.73)  31.870 ms
4  lodz-ar3.tpnet.pl (213.25.5.206)  62.835 ms
5  z-tpnetu.lodz-gw.rtr.pionier.gov.pl (80.50.231.26)  37.103 ms
6  lodz-gw2.z-lodz-gw.rtr.pionier.gov.pl (212.191.126.77)  37.606 ms
7  z-lodz-gw.wroclaw.10gb.rtr.pionier.gov.pl (212.191.225.34)  44.687 ms
8  rolnik-karkonosz.wask.wroc.pl (156.17.254.112)  46.707 ms
9  archi-rolnik.wask.wroc.pl (156.17.254.108)  47.936 ms
10 matchem-archi.wask.wroc.pl (156.17.254.142)  47.986 ms
11 gwuwrmatchem.uni.wroc.pl (156.17.252.33)  49.342 ms
12 www.ii.uni.wroc.pl (156.17.4.3)  48.511 ms
```

demonstracja

Przełączanie pakietów: multipleksowanie (1)

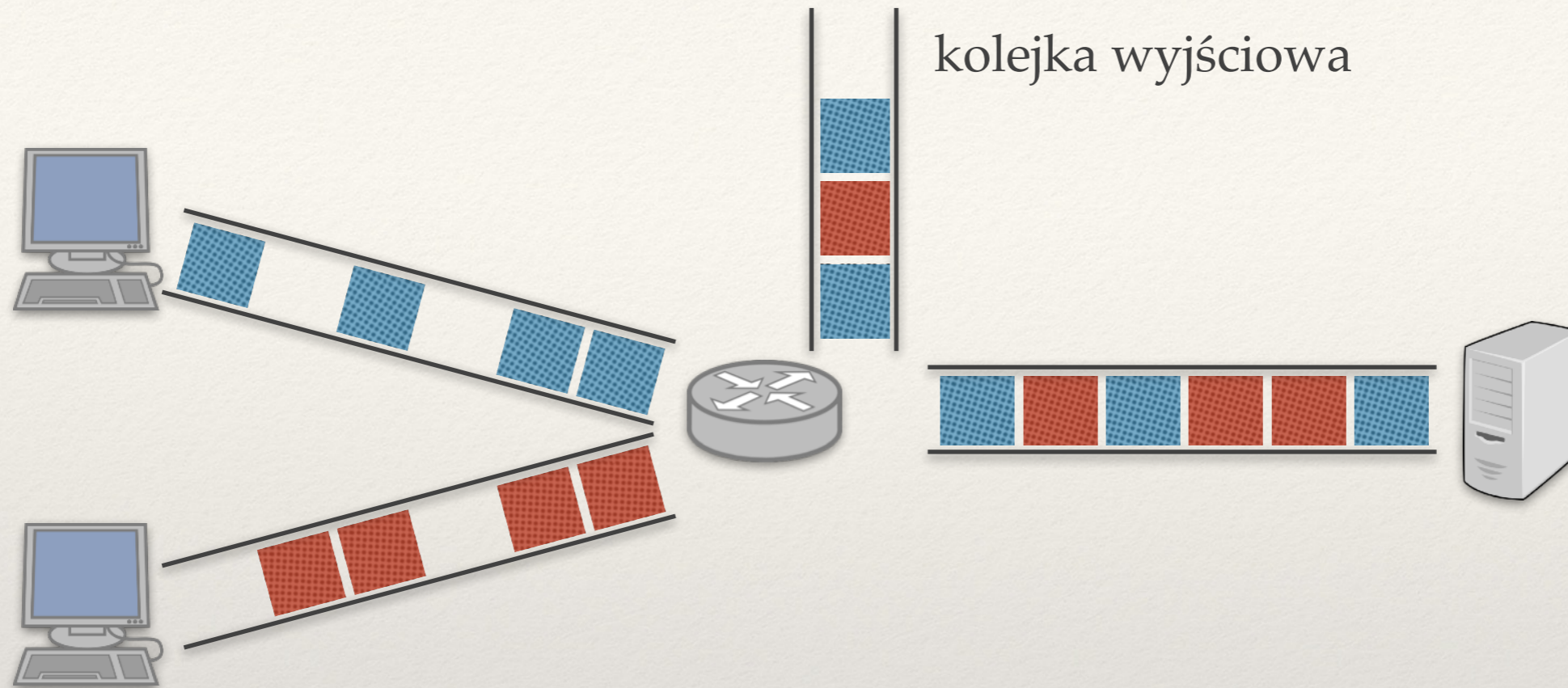
Pakiety należące do różnych strumieni danych mogą w naturalny sposób korzystać z tego samego łącza.



Statystyczny multipleksing:

- ❖ Założenie: różne komputery wykorzystują łącze w innych momentach czasu → lepsze wykorzystanie łącza.
- ❖ Jak radzić sobie z przejściowymi zwiększeniami ilości danych ponad możliwości łącza wyjściowego?

Przełączanie pakietów: multipleksowanie (2)



Kolejki przy łączach wyjściowych:

- ❖ Pomagają przy przejściowym przeładowaniu pakietami.
- ❖ Jeśli kolejka się przepełni (**przeciążenie**) → pakiety są odrzucane
 - ♦ główna przyczyna utraty pakietów w sieci!

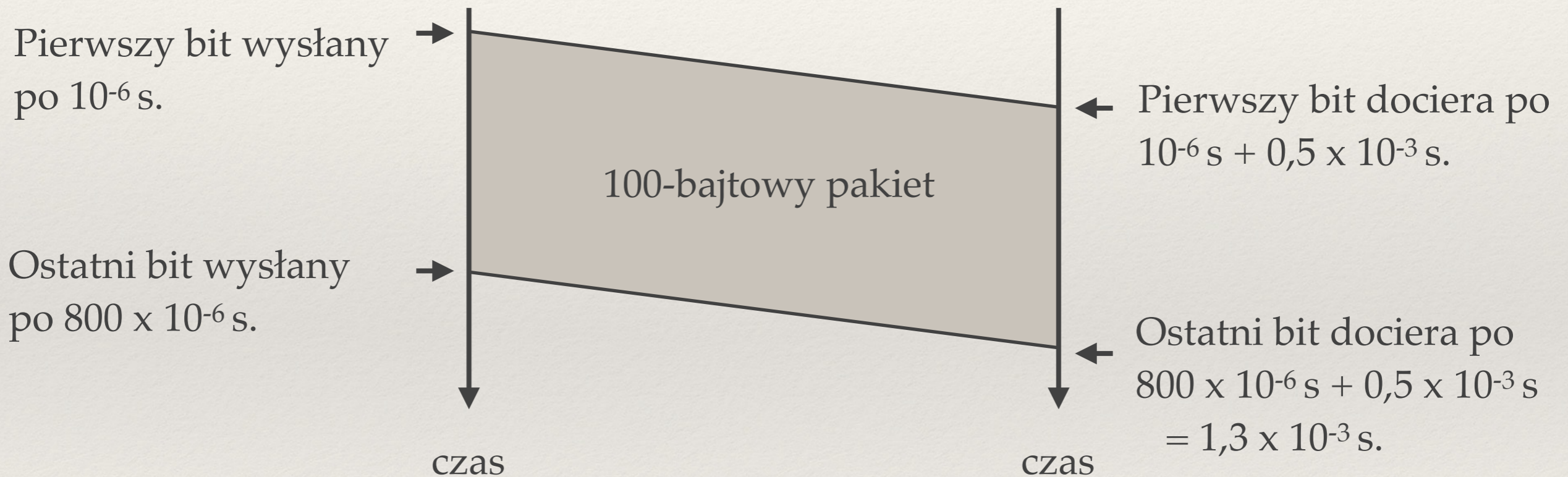
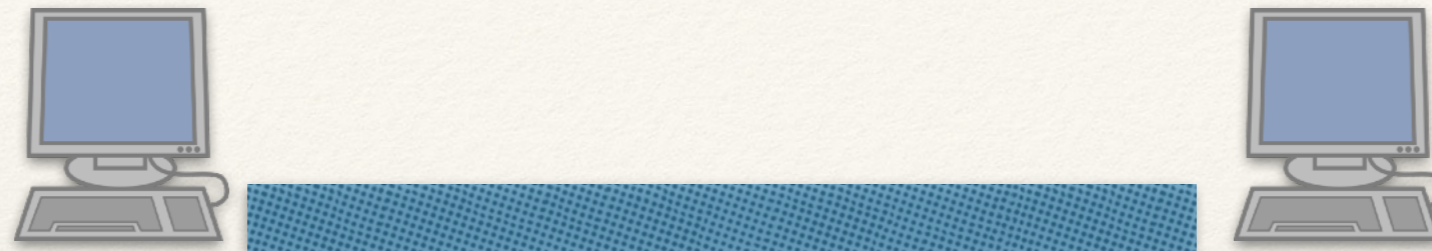
Własności kanału komunikacyjnego



- ❖ **Przepustowość:** ile możemy zapisać do kanału na jednostkę czasu.
- ❖ **Czas propagacji:** ile czasu podróżuje sygnał między końcami kanału.
- ❖ **RTT (Round Trip Time):** $2 \times$ czas propagacji.
- ❖ **BDP (*bandwidth-delay product*):** iloczyn przepustowości i RTT = „ile możemy wysłać zanim dostaniemy odpowiedź od odbiorcy“.
- ❖ **Duplex:** pełny, półduplex, simplex.

Opóźnienie pakietu

Przepustowość: 1 Mbit/s, czas propagacji: 0,5 ms.



Opóźnienie pakietu na łączu = czas oczekiwania pakietu w kolejce + rozmiar pakietu / przepustowość + czas propagacji.

Przełączanie obwodów vs. przełączanie pakietów

przełączanie obwodów	przełączanie pakietów
gwarancja przepustowości	brak gwarancji
szybkie transfery danych	oczekiwanie pakietów w kolejkach
narzut czasowy na nawiązanie połączenia	narzut czasowy dla każdego pakietu (nagłówek)
marnowanie łącza jeśli są przerwy w strumieniu danych	efektywne wykorzystanie łącza (statystyczny multipleksing)
wolne odtwarzanie w przypadku awarii	odporne na awarie: wybierana inna ścieżka routingu
skomplikowane	prostsze

Komunikacja oparta na pakietach

Przełączanie pakietów w Internecie: protokół IP

❖ Podstawowe cechy:

- ♦ Zaimplementowany na każdym urządzeniu.
- ♦ Definiuje adresy urządzeń (4-bajtowe identyfikatory).
- ♦ Definiuje **zawodną, bezpołączeniową** usługę umożliwiającą przesłanie pakietu między dwoma dowolnymi urządzeniami w sieci.

Przełączanie pakietów w Internecie: protokół IP

❖ Podstawowe cechy:

- ♦ Zaimplementowany na każdym urządzeniu.
- ♦ Definiuje adresy urządzeń (4-bajtowe identyfikatory).
- ♦ Definiuje **zawodną, bezpołączeniową** usługę umożliwiającą przesłanie pakietu między dwoma dowolnymi urządzeniami w sieci.

❖ Zasada dołożenia wszelkich starań (*best effort*):

- ♦ Brak gwarancji (pakiety mogą gubić się lub przychodzić w innej kolejności), ale nie są gubione celowo.

Przełączanie pakietów w Internecie: protokół IP

❖ Podstawowe cechy:

- ♦ Zaimplementowany na każdym urządzeniu.
- ♦ Definiuje adresy urządzeń (4-bajtowe identyfikatory).
- ♦ Definiuje **zawodną, bezpołączeniową** usługę umożliwiającą przesłanie pakietu między dwoma dowolnymi urządzeniami w sieci.

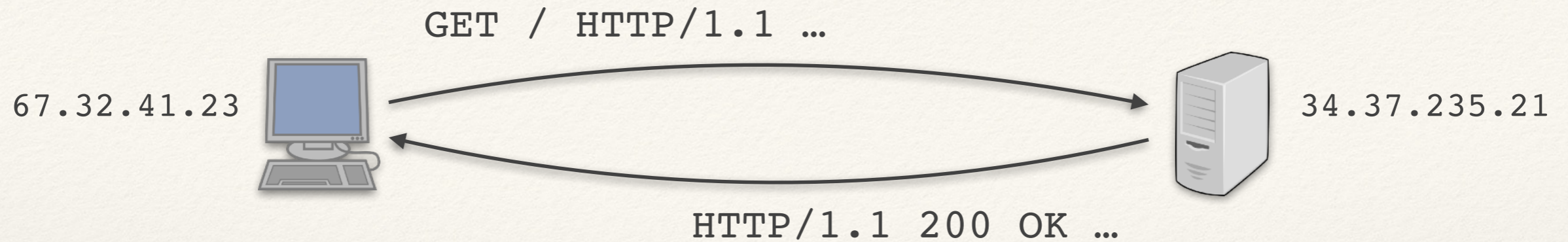
❖ Zasada dołożenia wszelkich starań (*best effort*):

- ♦ Brak gwarancji (pakiety mogą gubić się lub przychodzić w innej kolejności), ale nie są gubione celowo.

❖ Zasada end-to-end:

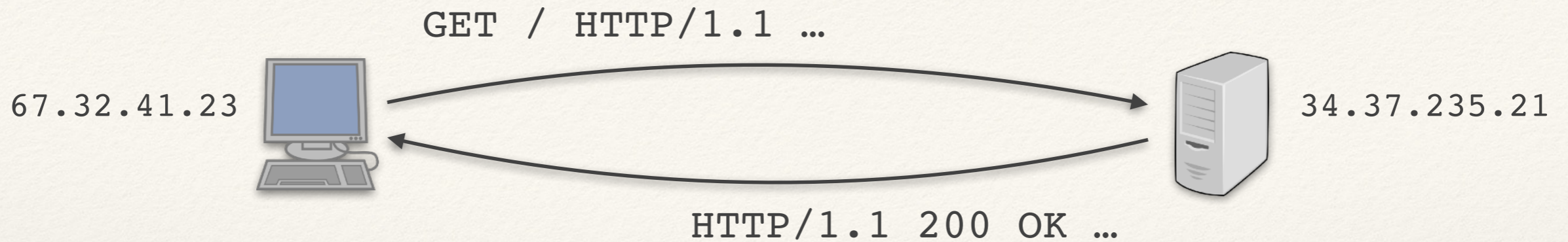
- ♦ Wszystkie dodatkowe cechy (np. niezawodne przesyłanie danych) implementowane w urządzeniach końcowych (komputerach) → łatwa ewolucja, niski koszt innowacyjności.

HTTP a pakiety IP



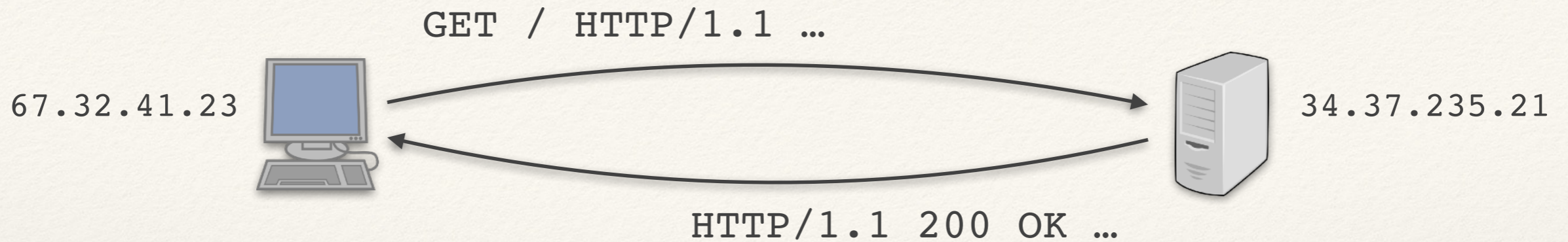
- ❖ Mamy do dyspozycji protokół IP (umiemy wysyłać pakiety).
Co potrzebne jest do scenariusza z HTTP?

HTTP a pakiety IP



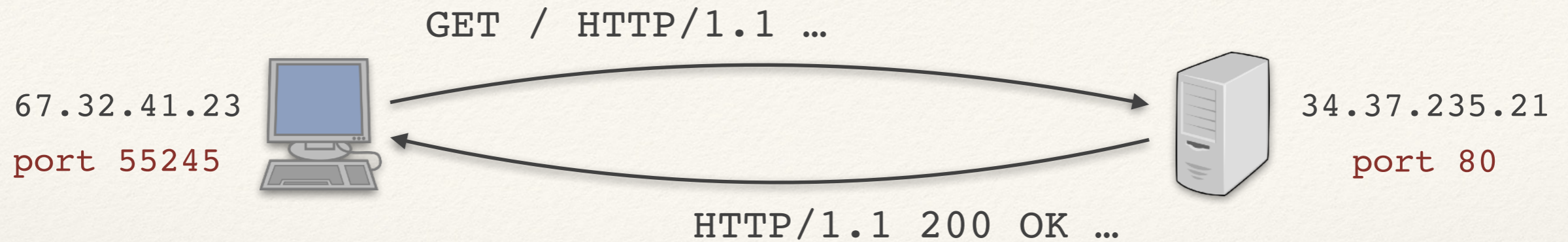
- ❖ Mamy do dyspozycji protokół IP (umiemy wysyłać pakiety).
Co potrzebne jest do scenariusza z HTTP?
 - ♦ Niezawodność przesyłania danych.

HTTP a pakiety IP



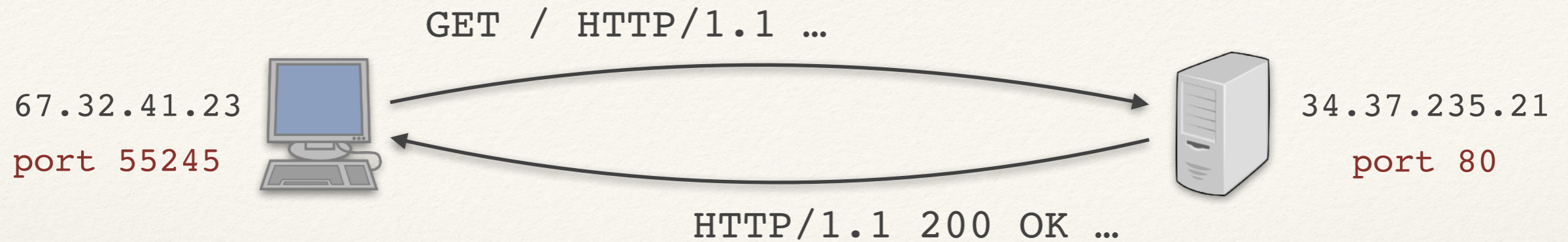
- ❖ Mamy do dyspozycji protokół IP (umiemy wysyłać pakiety).
Co potrzebne jest do scenariusza z HTTP?
 - ♦ Niezawodność przesyłania danych.
 - ♦ Konieczność dzielenia na pakiety.

HTTP a pakiety IP



- ❖ Mamy do dyspozycji protokół IP (umiemy wysyłać pakiety).
Co potrzebne jest do scenariusza z HTTP?
 - ♦ Niezawodność przesyłania danych.
 - ♦ Konieczność dzielenia na pakiety.
 - ♦ Jak rozróżnić różne przeglądarki działające na tym samym komputerze? → identyfikatory aplikacji (**porty**).

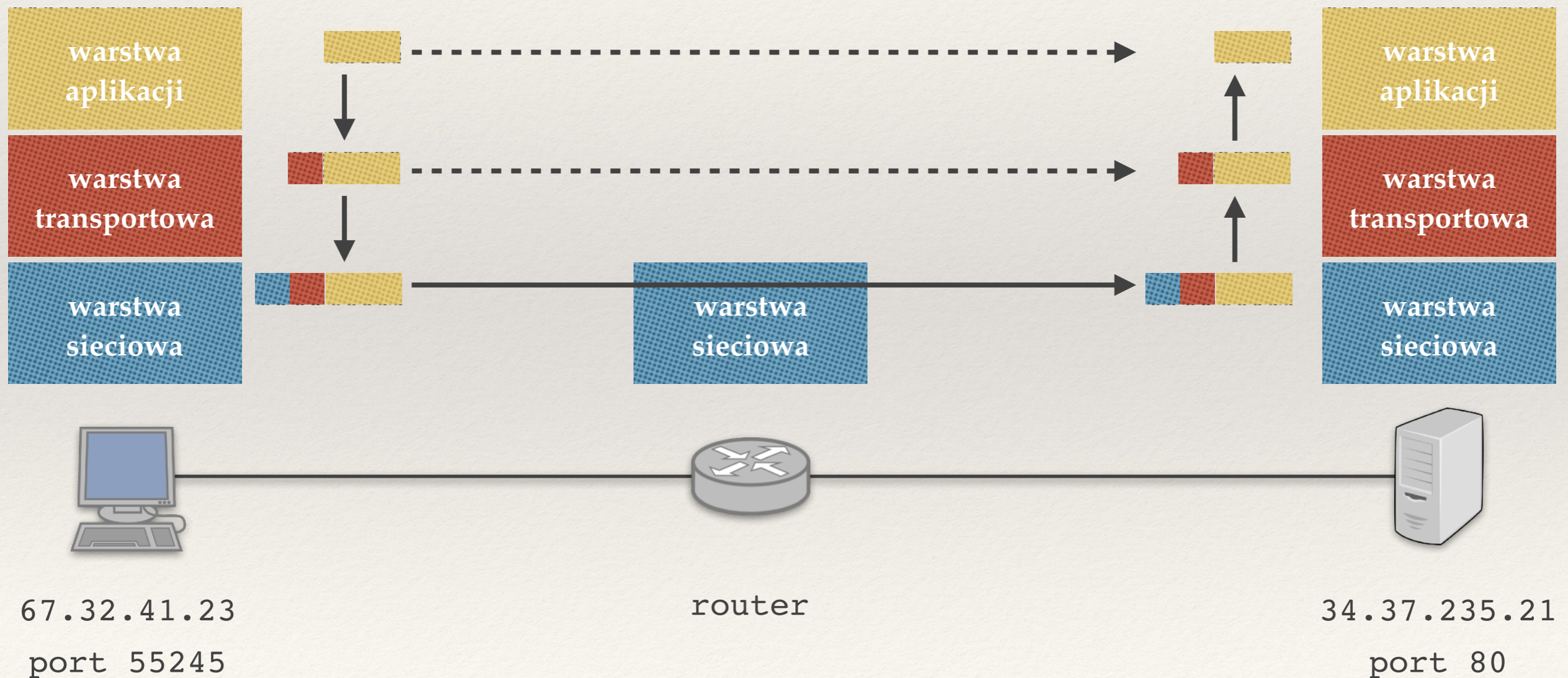
HTTP a pakiety IP



- ❖ Mamy do dyspozycji protokół IP (umiemy wysyłać pakiety).
Co potrzebne jest do scenariusza z HTTP?
 - ♦ Niezawodność przesyłania danych.
 - ♦ Konieczność dzielenia na pakiety.
 - ♦ Jak rozróżnić różne przeglądarki działające na tym samym komputerze? → identyfikatory aplikacji (**porty**).
- ❖ Typowe problemy → warto wydzielić osobny komponent a nie wbudowywać tych funkcji w protokół HTTP.

Model warstwowy (1)

Przesyłany pakiet:



Model warstwowy (1)

demonstracja

Przesyłany pakiet:



67.32.41.23
port 55245

router

34.37.235.21
port 80

Model warstwowy (2)

- ❖ **Warstwa definiuje:**
 - ♦ swoje zadania,
 - ♦ interfejs do sąsiednich warstw.

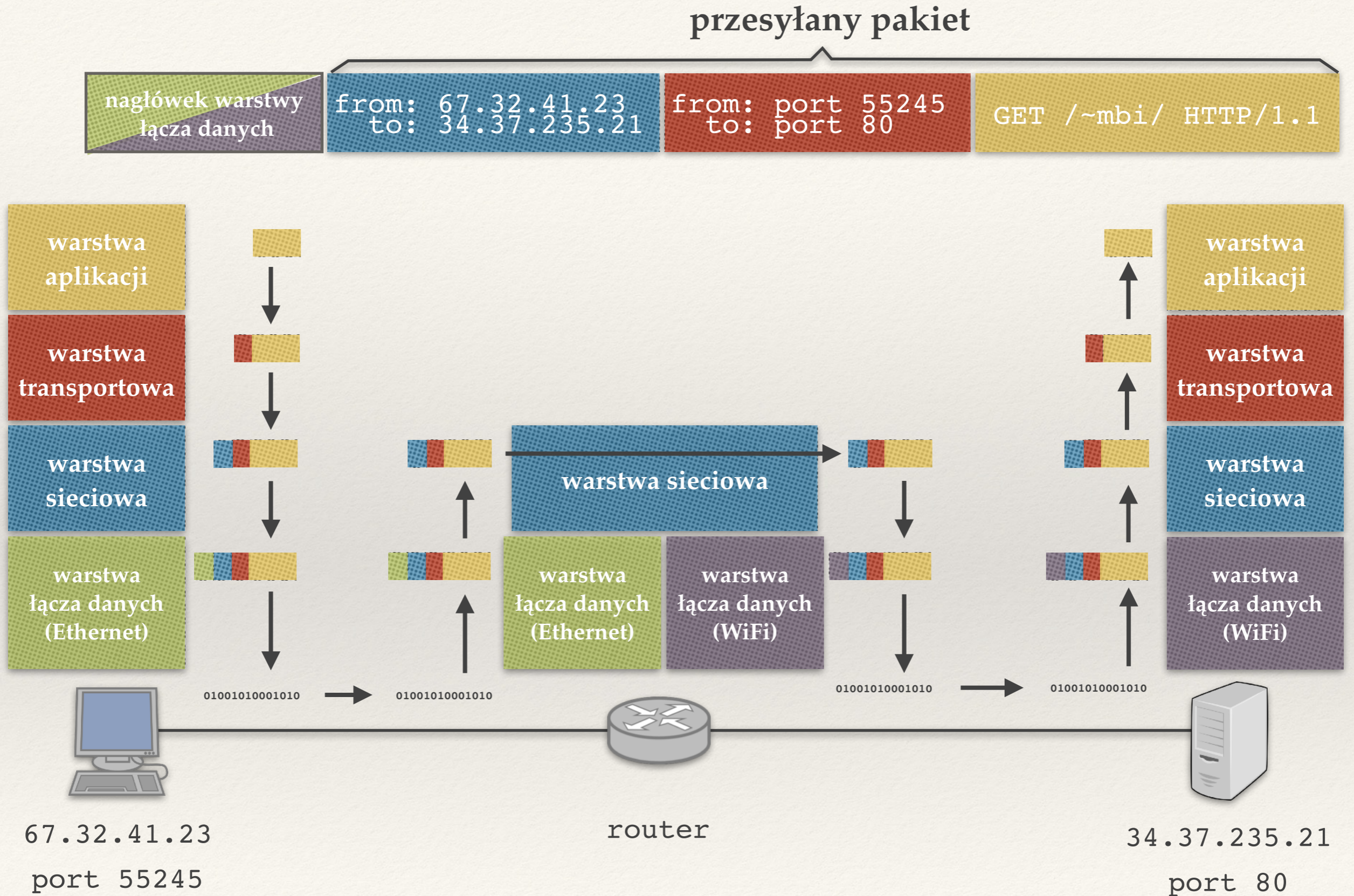
- ❖ **Modularność:** możliwość wymiany jednej implementacji warstwy na inną.

- ❖ **Enkapsulacja / dekapsulacja:** proces dodawania / usuwania nagłówka przy przechodzeniu przez kolejną warstwę.

Lokalne dostarczanie

- ❖ Pakiety IP są niezależne od architektury sprzętowej.
- ❖ Warstwa sieciowa potrzebuje procedury (zawodnego) dostarczania pakietu do sąsiedniego (bezpośrednio połączonego) komputera.
- ❖ Architektura sprzętowa definiuje kolejne dwie warstwy: łącza danych i fizyczną.

Internetowy model warstwowy (1)



Internetowy model warstwowy (2)



zapewnia **globalne** dostarczanie danych pomiędzy **aplikacjami**

zapewnia **globalne** dostarczanie danych pomiędzy **komputerami**

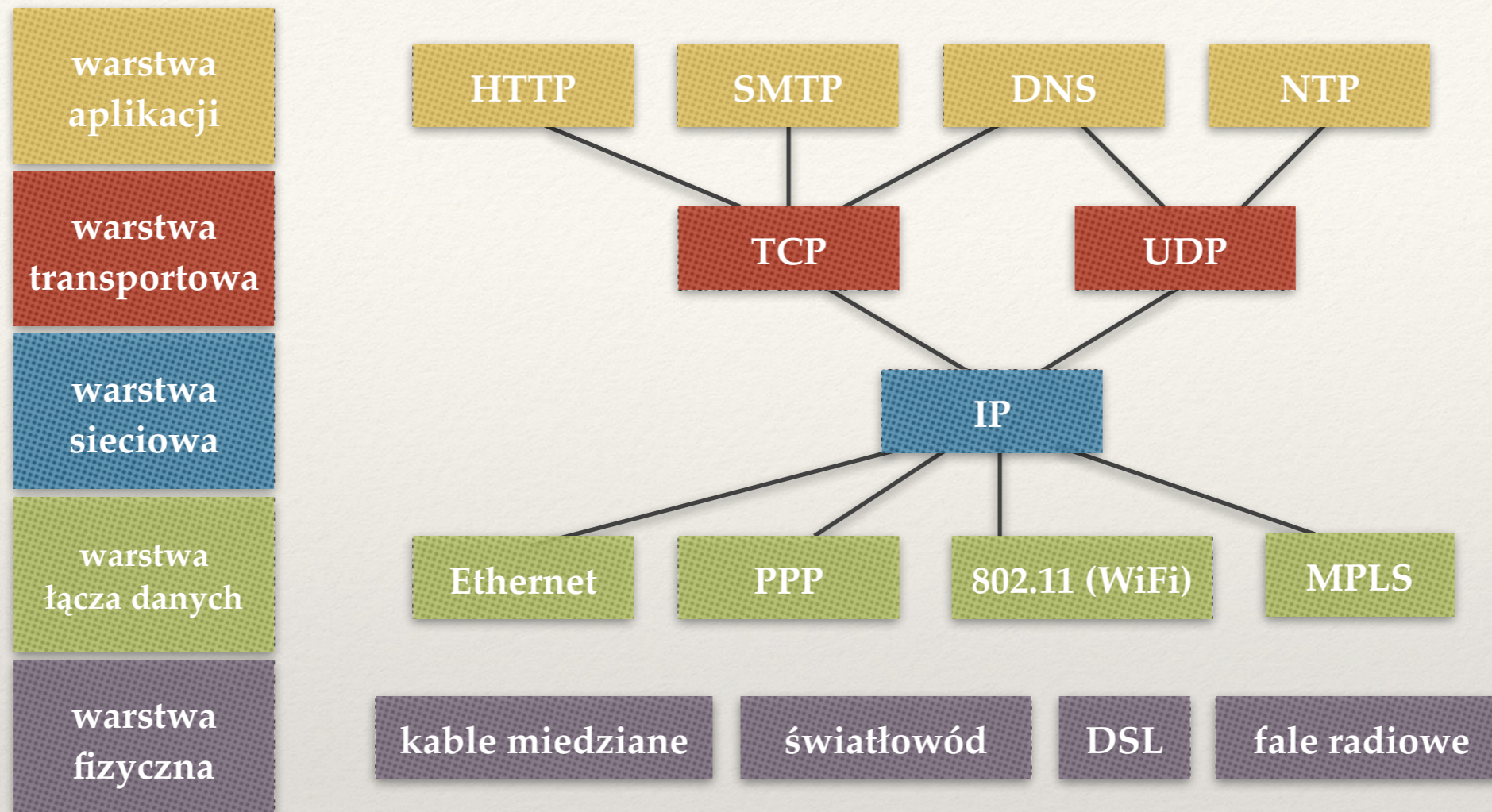
zapewnia **lokalne** dostarczanie danych pomiędzy **komputerami**

Internetowy model warstwowy (3)

	warstwa	protokoły	zadanie
5	aplikacji	HTTP, SMTP,	Protokoły użytkowników.
4	transportowa	TCP, UDP	Wprowadza porty, dzieli strumień danych na pakiety, zapewnia że pakiety dotrą, składa je w strumień danych po stronie odbiorcy.
3	sieci	IP	Routuje pakiety.
2	łącza danych	Ethernet, WiFi, ...	Przesyła ramki z pakietami, zapewnia dostęp do współdzielonego kanału.
1	fizyczna		Przesyła bity.

- ❖ Model TCP/IP: sklejona warstwa 1 i 2.
- ❖ Model ISO OSI: dodatkowe warstwy sesji i prezentacji pomiędzy warstwą 4 i 5.

Protokoły w Internecie



- ❖ Warstwa sieciowa: tylko jeden protokół!
 - ♦ Pozwala na współpracę dowolnych sieci.
 - ♦ Umożliwia niezależny rozwój we wszystkich innych warstwach.

Lektura dodatkowa

- ❖ Kurose & Ross: rozdział 1.
- ❖ Tanenbaum: rozdział 1.
- ❖ Historia Internetu:
 - ◆ <https://vimeo.com/2696386>
 - ◆ <http://www.internetsociety.org/internet/what-internet/history-internet/brief-history-internet>

Sprawy organizacyjne

Zajęcia dodatkowe (ćwiczeniopracownia)

Zajęcia dodatkowe (100 pkt. do zdobycia, zaliczenie od 40 pkt.)

- ❖ Algorytmy, kodowanie, kryptografia → ćwiczenia (20 pkt.)
- ❖ Praktyka (np. konfiguracja routingu) → warsztaty (40 pkt.)
- ❖ Zadania programistyczne → pracownia (40 pkt.)
 - ◆ Do zaliczenia: minimum 10 pkt. z zadań programistycznych

Więcej informacji na stronie przedmiotu

<https://canvas.ii.uni.wroc.pl/courses/10>

Wymagania wstępne

Co powinniście umieć już teraz:

- ❖ Obsługa Linuksa (wiersz poleceń, proste skrypty, automatyzacja).
 - ◆ Linux command line: <http://linuxcommand.org/tlcl.php>
- ❖ Systemy operacyjne (procesy, sygnały, IPC).
- ❖ Programowanie w C/C++.
- ❖ Algebra lub Matematyka dyskretna (wielomiany, pierścienie, operacje na grupach).

Ten przedmiot nie jest przewidziany dla studentów 1. roku!

Literatura

- ❖ James F. Kurose, Keith W. Ross,
Sieci komputerowe, ujęcie całościowe
Helion, 2010, wydanie V
- ❖ W. Richard Stevens
UNIX programowanie usług sieciowych, tom 1
Wydawnictwo naukowo techniczne, 2002
- ❖ Andrew S. Tanenbaum,
Sieci komputerowe
Helion, 2012, wydanie V
- ❖ Larry L. Peterson, Bruce S. Davie
Computer Networks: A Systems Approach
Morgan Kaufmann, 2012, wydanie 5

Zagadnienia

- ❖ Co to jest protokół komunikacyjny? Dlaczego wprowadza się warstwy protokołów?
- ❖ Wymień warstwy internetowego modelu warstwowego. Jakie są zadania każdej z nich?
- ❖ Jakie warstwy są zaimplementowane na komputerach a jakie na routerach?
- ❖ Czym różni się model warstwowy TCP/IP od OSI?
- ❖ Co jest potrzebne do zbudowania dwukierunkowego niezawodnego kanału?
- ❖ Porównaj wady i zalety przełączania obwodów i przełączania pakietów.
- ❖ Jakie znasz rodzaje multipleksowania? Po co i kiedy się je stosuje?
- ❖ Porównaj ze sobą rodzaje routingu.
- ❖ Co to jest komunikacja pełnodupleksowa, półdupleksowa i simpleksowa?
- ❖ Do czego służy polecenie `traceroute`? Co pokazuje?
- ❖ Po co stosuje się bufony w routerach? Co to jest przeciążenie?
- ❖ Jakie są przyczyny opóźnień pakietów?
- ❖ Co to jest BDP? Co to jest czas propagacji?
- ❖ Wyjaśnij pojęcia: komunikacja simpleksowa, półdupleksowa, pełnodupleksowa.
- ❖ Co umożliwia protokół IP? Co to znaczy, że protokół realizuje zasadę *best effort*?
- ❖ Jakie są zalety i wady zasady end-to-end?
- ❖ Po co wprowadza się porty?
- ❖ Wyjaśnij pojęcie enkapsulacji i dekapulacji.