Routing

część 1: adresowanie

Sieci komputerowe

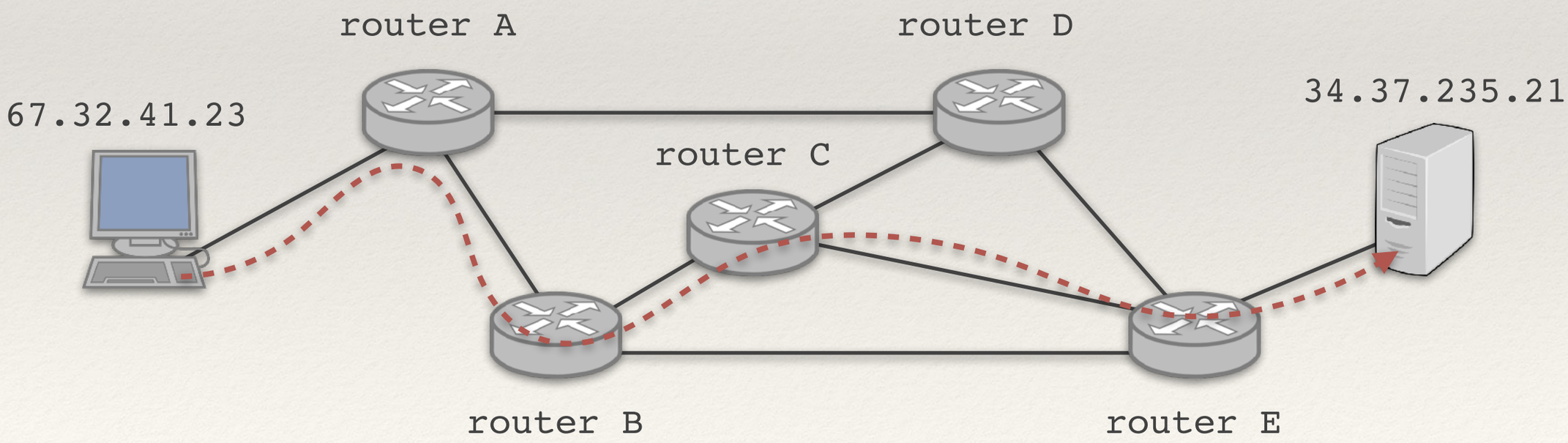
Wykład 2

Marcin Bieńkowski

W poprzednim odcinku

Jak przesyłać dane przez sieć

- Chcemy przesyłać między aplikacjami strumień danych.
- **Globalne adresowanie**: w Internecie każda karta sieciowa ma unikatowy 4-bajtowy adres IP.
- Warstwa sieciowa zapewnia globalne dostarczanie danych pomiędzy dwoma dowolnymi kartami sieciowymi = interfejsami sieciowymi.

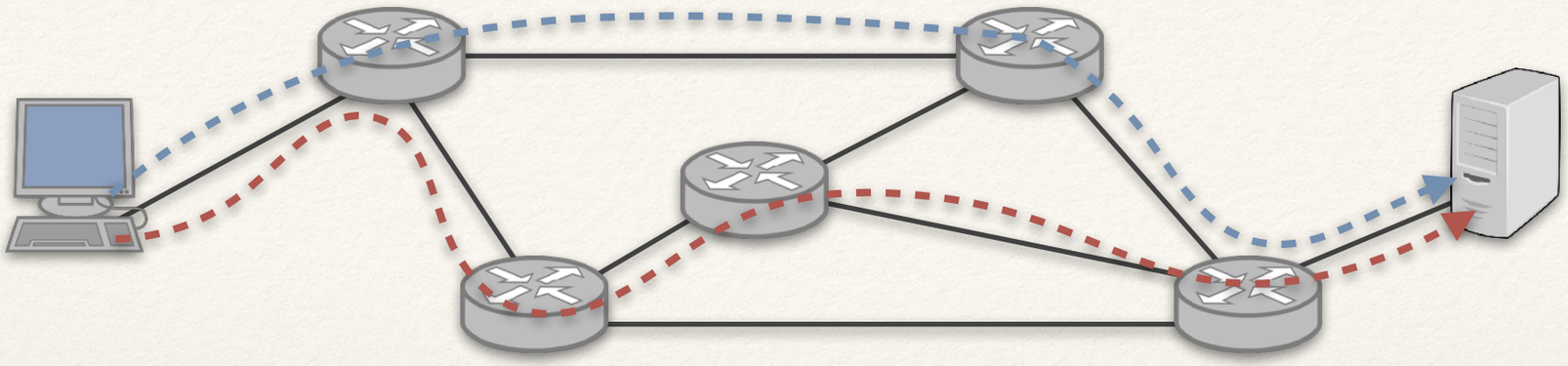


Przełączanie pakietów

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

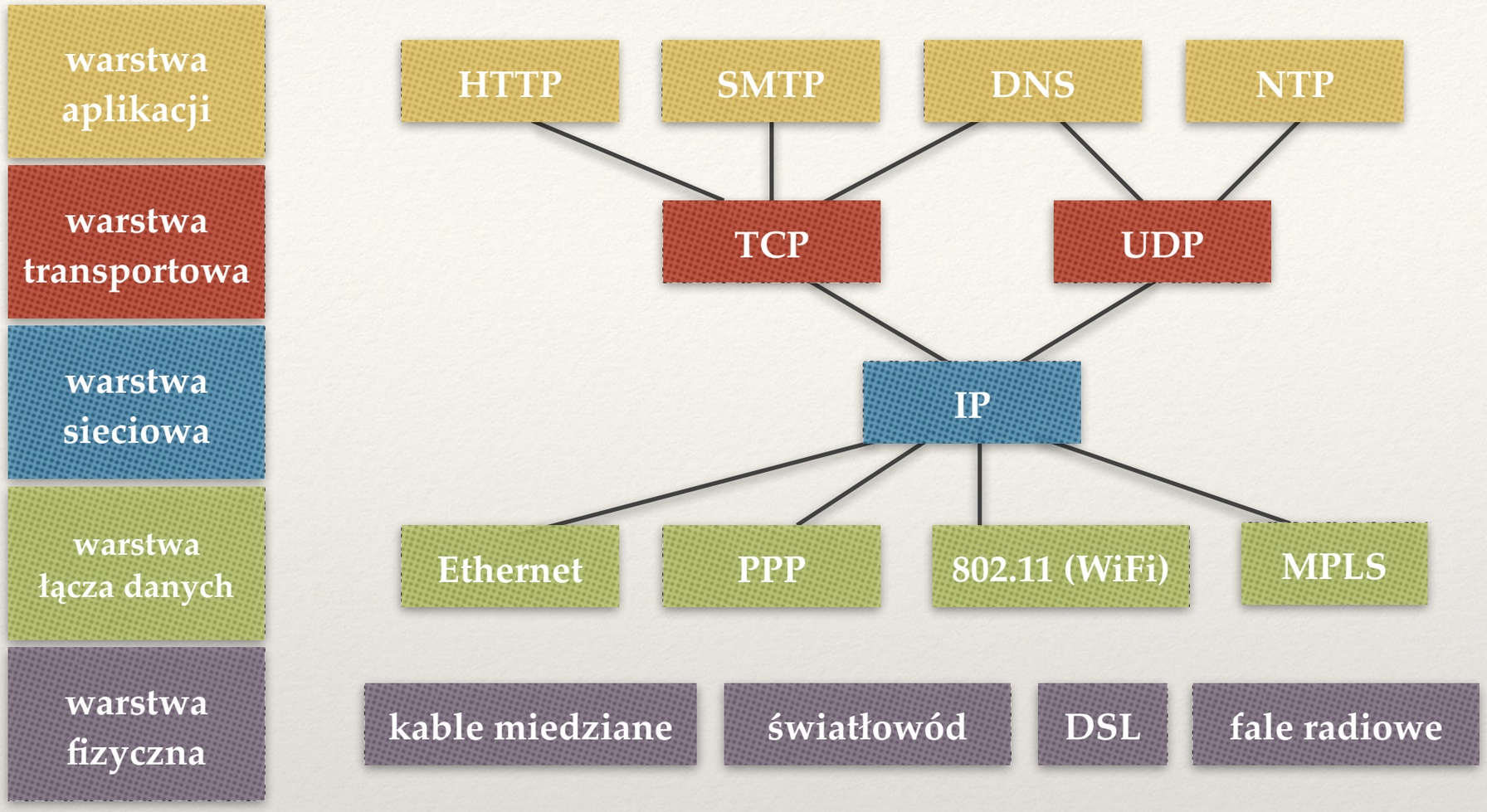
- Dane pakietu = fragment strumienia danych.
- Nagłówek pakietu = informacje kontrolne, m.in. adres źródłowy i docelowy.
- Każdy pakiet przesyłany niezależnie.

Routing



- **Routing (trasowanie) = wybór trasy dla danego pakietu.**
- **W Internecie:**
  - Router tylko przekazuje pakiet dalej.
  - Router nie wie nic o oryginalnym strumieniu danych.
  - Router podejmuje decyzję na podstawie nagłówka pakietu w oparciu o **tablice routingu**.

Protokoły w Internecie

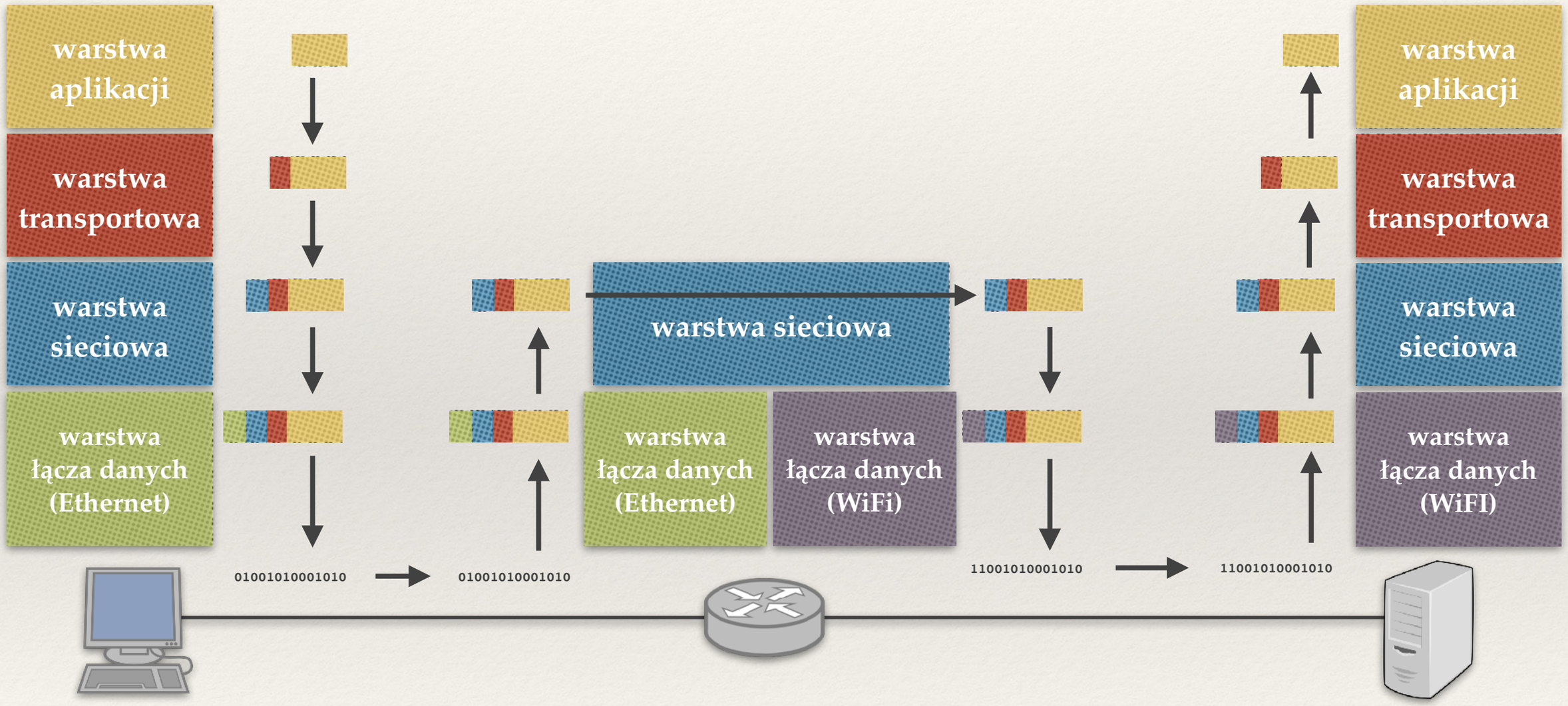


Warstwa sieciowa w Internecie: tylko jeden protokół (IP)

- Zaimplementowany na każdym urządzeniu.
- Definiuje zawodną, bezpołączeniową usługę umożliwiającą przesłanie pakietu między dwoma dowolnymi urządzeniami w sieci.

Internetowy model warstwowy

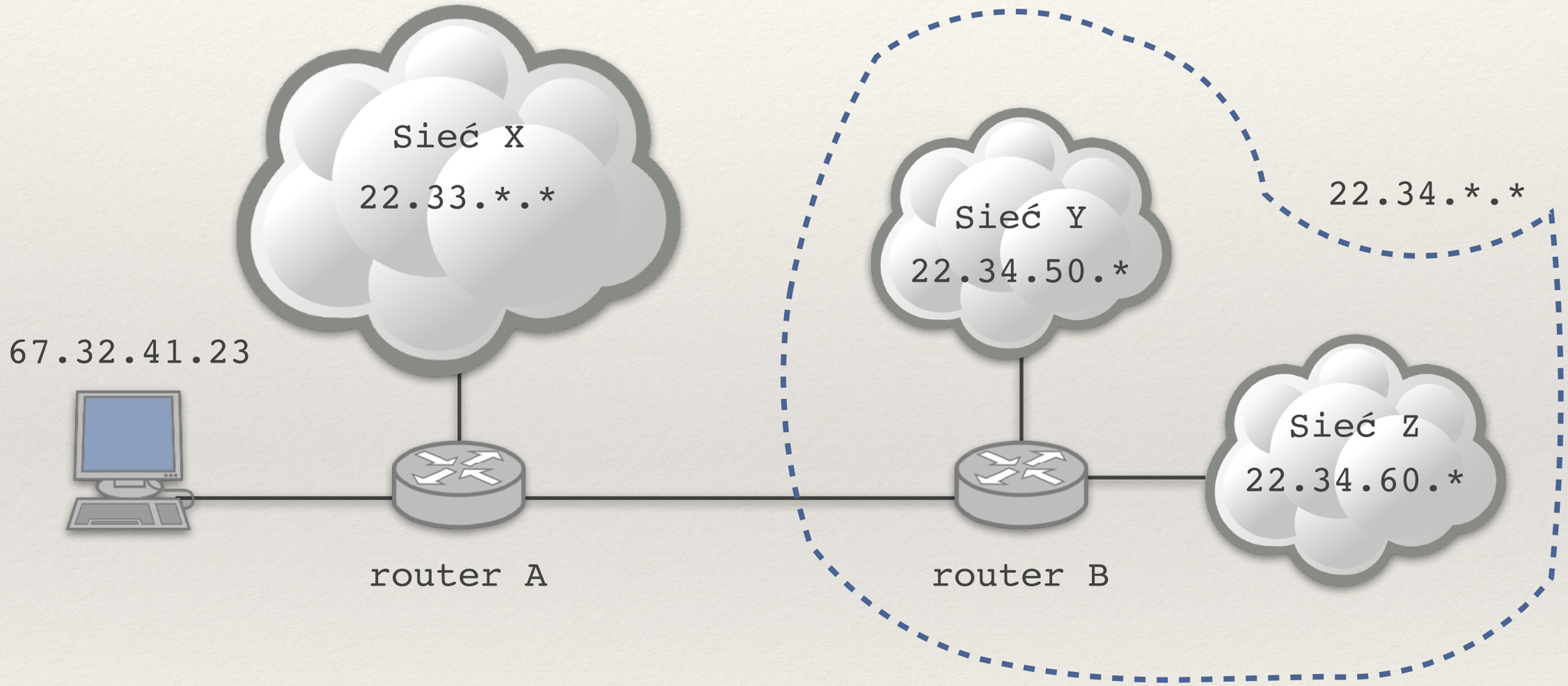
przesyłany pakiet:



Adresowanie

Adresy IP

- Każda karta sieciowa ma unikatowy 4-bajtowy adres.
- Hierarchiczna struktura adresów:



- Router A nie musi znać trasy do sieci Y i Z osobno; wystarczy, że wie że pakiety do `22.34.*.*` powinien wysyłać do routera B.

CIDR (1)

- Notacja **CIDR** (Classless Inter-Domain Routing): opisuje zakres adresów IP posiadających wspólny prefiks za pomocą pary (pierwszy adres z zakresu, długość prefiksu).

- **Przykład:** adresy IP zaczynające się od prefiksu
  `10011100.00010001.00000100.0010`
  - pierwszy adres z zakresu:
    `10011100.00010001.00000100.0010`**`0000`** `= 156.17.4.32`
  - długość prefiksu: 28 bitów
  - zapis: `156.17.4.32/28`

CIDR (2)

Przykład 1: `156.17.4.32/28` = adresy zaczynające się od prefiksu `156.17.4.0010`:

- **`156.17.4.0010`**`0000` = `156.17.4.32` (pierwszy adres)
- **`156.17.4.0010`**`0001` = `156.17.4.33` (drugi adres)
- …
- **`156.17.4.0010`**`1110` = `156.17.4.46` (przedostatni adres)
- **`156.17.4.0010`**`1111` = `156.17.4.47` (ostatni adres)

Razem: $2^{32-28} = 2^4 = 16$ adresów.

Przykład 2: `0.0.0.0/0` = wszystkie adresy IP

Przykład 3: `34.56.78.90/32` = jeden konkretny adres IP

CIDR a sieci

Notację CIDR najczęściej stosujemy, żeby opisać konkretną sieć.
Dla sieci `156.17.4.32/28`:

- Ostatni adres jest zarezerwowany: **adres rozgłoszeniowy (broadcast)**.
  - Pakiet wysłany nas adres rozgłoszeniowy dotrze do wszystkich adresów IP z zakresu.
- Pierwszy adres jest zarezerwowany: tzw. **adres sieci.**
  - Względy historyczne (to był początkowo adres rozgłoszeniowy).
- Pozostałe 16 - 2 = 14 adresów IP może być przypisane do komputerów (kart sieciowych) w tej sieci.

Podsieci

156.17.4.32/28 = zbiór następujących adresów

- 156.17.4.00100000 = 156.17.4.32
- ...
- 156.17.4.00100111 = 156.17.4.39

156.17.4.32/29

- 156.17.4.00101000 = 156.17.4.40
- ...
- 156.17.4.00101111 = 156.17.4.47

156.17.4.40/29

Adres IP to za mało!

- Czy adres `156.17.4.95` jest adresem rozgłoszeniowym?

Adres IP to za mało!

- Czy adres `156.17.4.95` jest adresem rozgłoszeniowym?
  - Tak w sieci `156.17.4.80/28 = {156.17.4.80, …,156.17.4.95}`
  - Tak w sieci `156.17.4.64/27 = {156.17.4.64, …,156.17.4.95}`
  - Nie w sieci `156.17.4.64/26 = {156.17.4.64, …, 156.17.4.127}`

Adres IP to za mało!

- Czy adres `156.17.4.95` jest adresem rozgłoszeniowym?
  - Tak w sieci `156.17.4.80/28 = {156.17.4.80, …,156.17.4.95}`
  - Tak w sieci `156.17.4.64/27 = {156.17.4.64, …,156.17.4.95}`
  - Nie w sieci `156.17.4.64/26 = {156.17.4.64, …, 156.17.4.127}`

- Przy podawaniu dowolnego adresu IP powinniśmy też podać długość prefiksu określającego jego sieć, np. `156.17.4.95/26`.

CIDR (3)

- Notację CIDR rozszerzamy na wszystkie adresy IP. Przykładowo:
  - `156.17.4.32/28` = cały zakres 16 adresów.
  - `156.17.4.33/28` = pierwszy adres dla komp. w sieci `156.17.4.32/28`.
  - `156.17.4.34/28` = drugi adres dla komputera w sieci `156.17.4.32/28`.
  - …
  - `156.17.4.46/28` = ostatni adres dla komputera w sieci `156.17.4.32/28`.
  - `156.17.4.47/28` = adres rozgłoszeniowy w sieci `156.17.4.32/28`.
  - Przy tej konwencji rezerwowanie pierwszego adresu na adres sieci znowu ma sens.

CIDR (3)

- Notację CIDR rozszerzamy na wszystkie adresy IP. Przykładowo:
  - `156.17.4.32/28` = cały zakres 16 adresów.
  - `156.17.4.33/28` = pierwszy adres dla komp. w sieci `156.17.4.32/28`.
  - `156.17.4.34/28` = drugi adres dla komputera w sieci `156.17.4.32/28`.
  - …
  - `156.17.4.46/28` = ostatni adres dla komputera w sieci `156.17.4.32/28`.
  - `156.17.4.47/28` = adres rozgłoszeniowy w sieci `156.17.4.32/28`.
  - Przy tej konwencji rezerwowanie pierwszego adresu na adres sieci znowu ma sens.
- Długość prefiksu nazywamy maską (pod)sieci.
  - Czasem zapisywany w postaci bitowej `/28` = `/255.255.255.240` (28 jedynek).
  - Aby uzyskać adres sieci robimy logiczny AND adresu IP z maską sieci.

Klasy adresów

- Jeśli nie podamy maski sieci, niektóre starsze polecenia (np. `ifconfig`) wydedukują ją z adresu IP.
  - `ifconfig eth0 10.0.0.1`
    = `ifconfig eth0 10.0.0.1 netmask 255.0.0.0`

- Przyczyny historyczne (klasy adresów IP).
  - Adres IP zaczyna się od `0` → maska sieci = `/8` (klasa A).
  - Adres IP zaczyna się od `10` → maska sieci = `/16` (klasa B).
  - Adres IP zaczyna się od `110` → maska sieci = `/24` (klasa C).

Pętla lokalna = sieć 127.0.0.0/8

- Interfejs `lo` (*loopback*)
- Łącząc się z dowolnym adresem z tej sieci (zazwyczaj z `127.0.0.1`), łączymy się z lokalnym komputerem.
- Testowanie aplikacji sieciowych bez połączenia z siecią.

Przykład konfiguracji

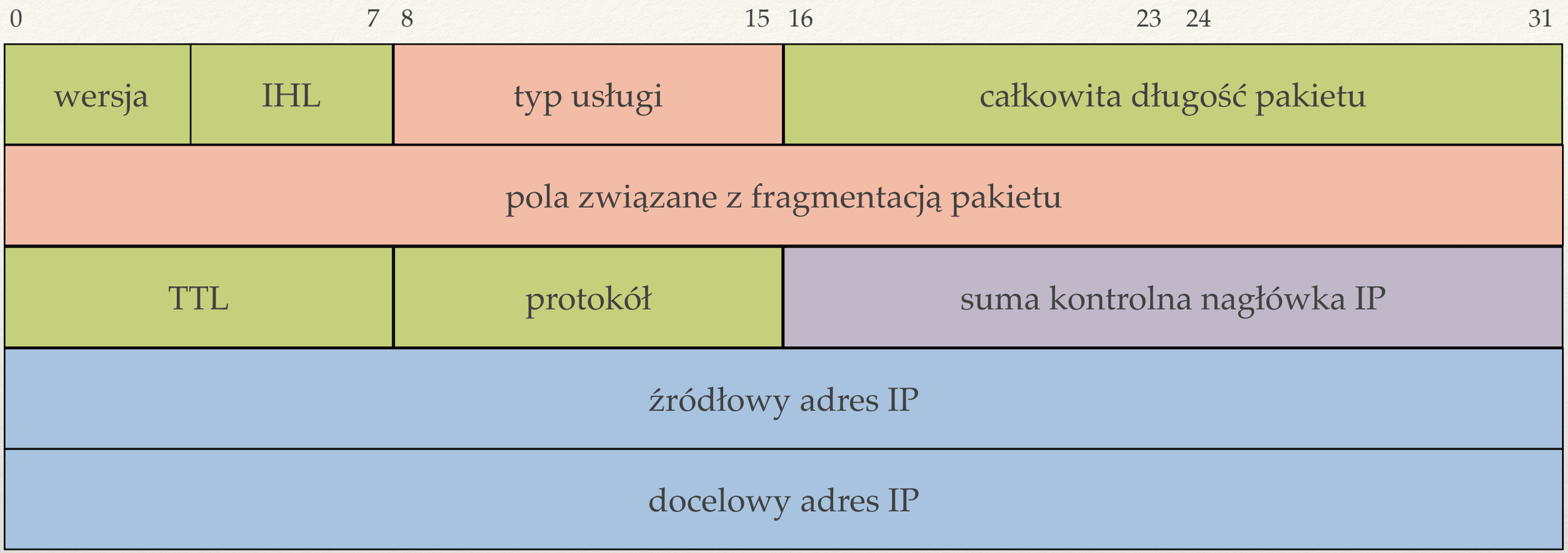
```
eth0:   <BROADCAST,MULTICAST> mtu 1500 state UP
        link/ether d8:cb:8a:34:a4:66 brd ff:ff:ff:ff:ff:ff
        inet 156.17.4.30/24 brd 156.17.4.255 scope global eth0

lo:     <LOOPBACK> mtu 65536 state UNKNOWN
        link/loopback 00:00:00:00:00:00 brd 00:00:00:00:00:00
        inet 127.0.0.1/8 scope host lo

tun0    <POINTOPOINT,MULTICAST,NOARP> mtu 1500 state UNKNOWN
        link/none
        inet 172.28.0.1/16 brd 172.28.255.255 scope global tun0
```

Routing pakietów IP

Nagłówek pakietu IP



- 4 x IHL = długość nagłówka w bajtach.
- Protokół = datagram jakiego protokołu przechowywany jest w danych pakietu (np. 1 = ICMP, 6 = TCP, 17 = UDP).
- TTL = czas życia pakietu.

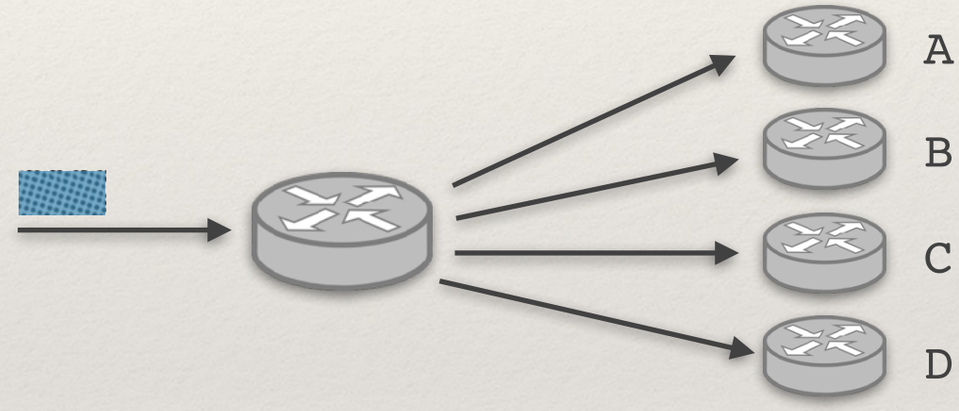
Przetwarzanie pakietu w routerze

1. **Obliczenie portu wyjściowego (wyjściowej “karty sieciowej”):**
   - na podstawie adresu docelowego pakietu i posiadanej tablicy routingu.
2. **Aktualizacja nagłówka:**
   - zmniejszenie TTL o 1; jeśli TTL = 0, to pakiet wyrzucany;
   - ponowne wyliczenie sumy kontrolnej pakietu.
3. **Przekazanie pakietu do kolejki wyjściowej.**

Tablice routingu

- Tablica routingu zawiera reguły typu „jeśli adres docelowy pakietu zaczyna się od prefiksu *A*, to wyślij pakiet do *X*“.

prefiks CIDR	akcja
`10.20.30.0/24`	do routera A
`8.0.0.0/8`	do routera B
`9.9.9.0/24`	do routera C
`156.17.0.0/16`	do routera C
`156.18.0.0/16`	do routera D

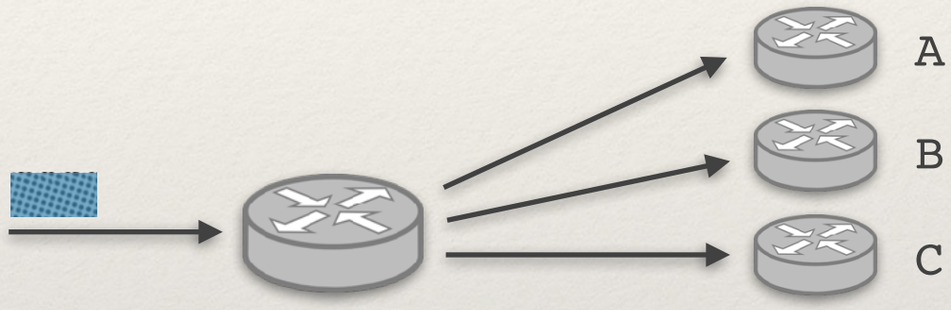


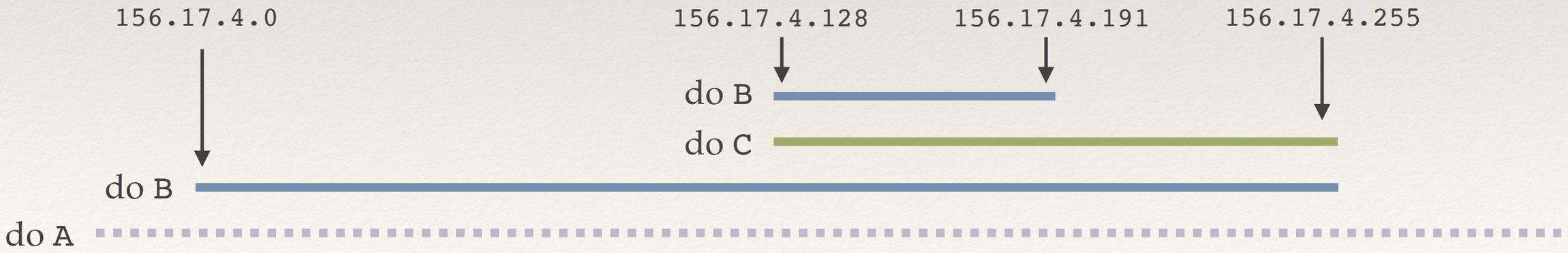
- Pakiet niepasujący do żadnej reguły jest odrzucany.

Reguła najdłuższego pasującego prefiksu

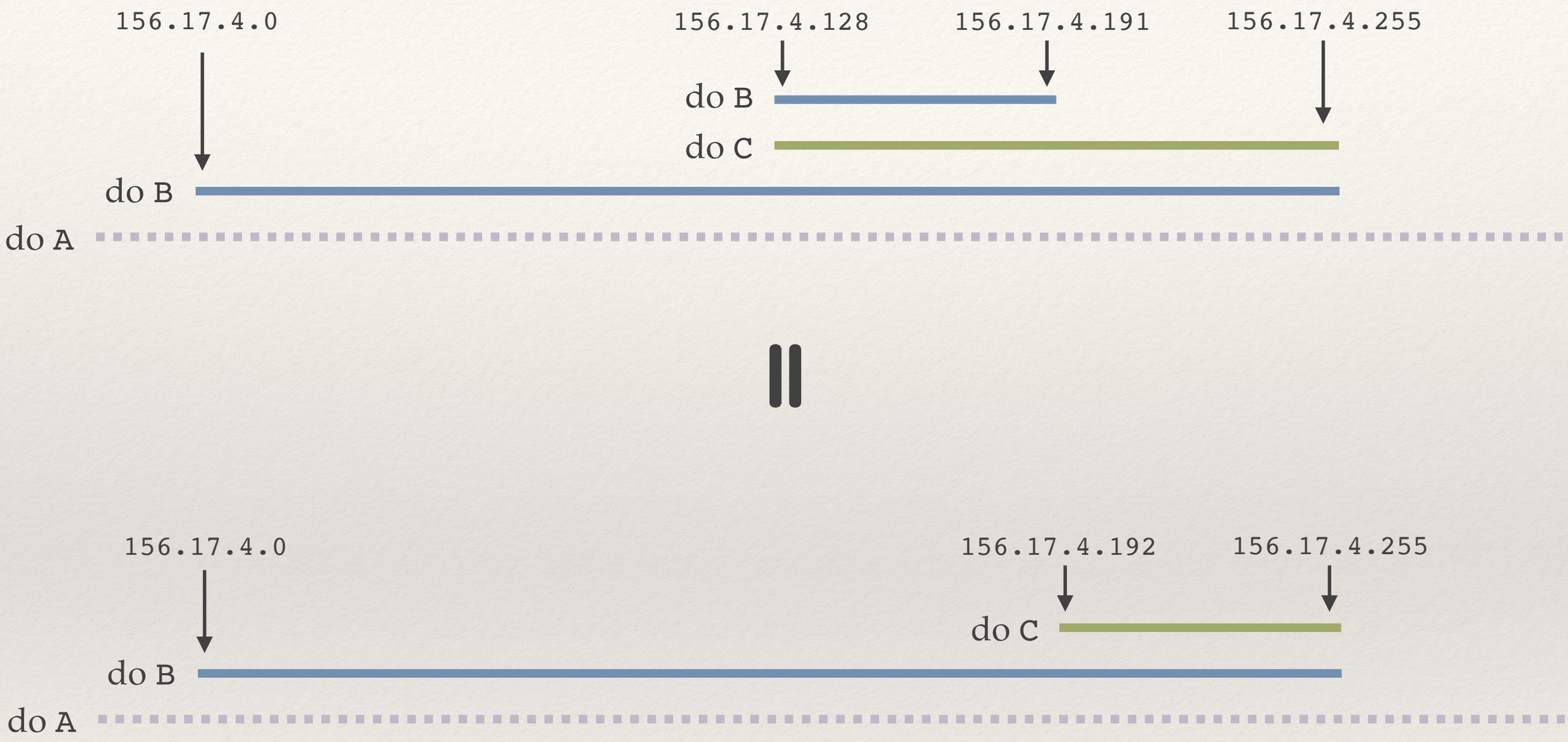
- Jeśli więcej niż jedna reguła pasuje, wybierana jest ta, która jest **najdłuższym prefiksem** (najbardziej „konkretna reguła“).
- `0.0.0.0/0` = reguła (trasa) domyślna.

prefiks CIDR	akcja
`0.0.0.0/0`	do routera A
`156.17.4.0/24`	do routera B
`156.17.4.128/25`	do routera C
`156.17.4.128/26`	do routera B





Równoważne tablice routingu



=

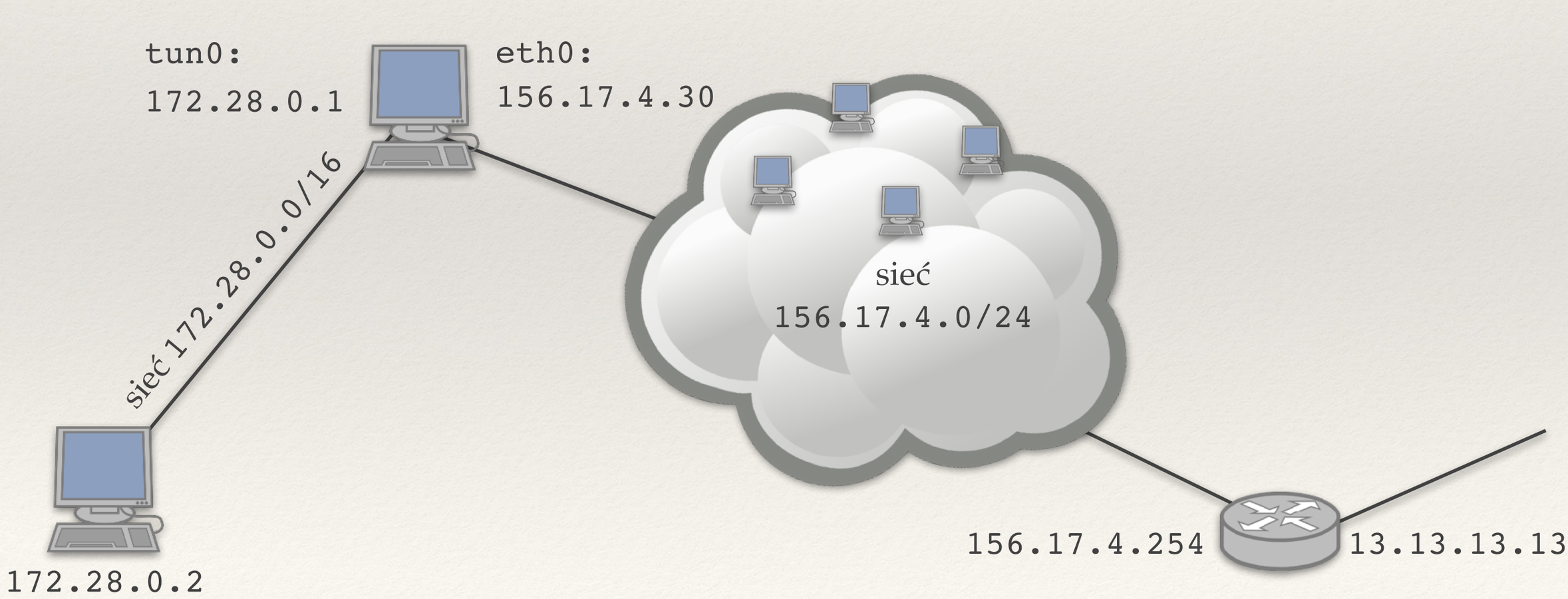
Następny krok

- **Akcja z tablicy routingu** = wysłanie pakietu do
  - osiągalnej bezpośrednio przez interfejs **sieci S** (jeśli adres docelowy jest w S)
  - osiągalnego bezpośrednio przez interfejs **routera X** (w przeciwnym przypadku)

- **Bezpośrednio** = warstwa sieciowa nie bierze udziału w przesyłaniu, choć pakiet może być przesyłany między wieloma urządzeniami.

Przykładowa tablica routingu w komputerze

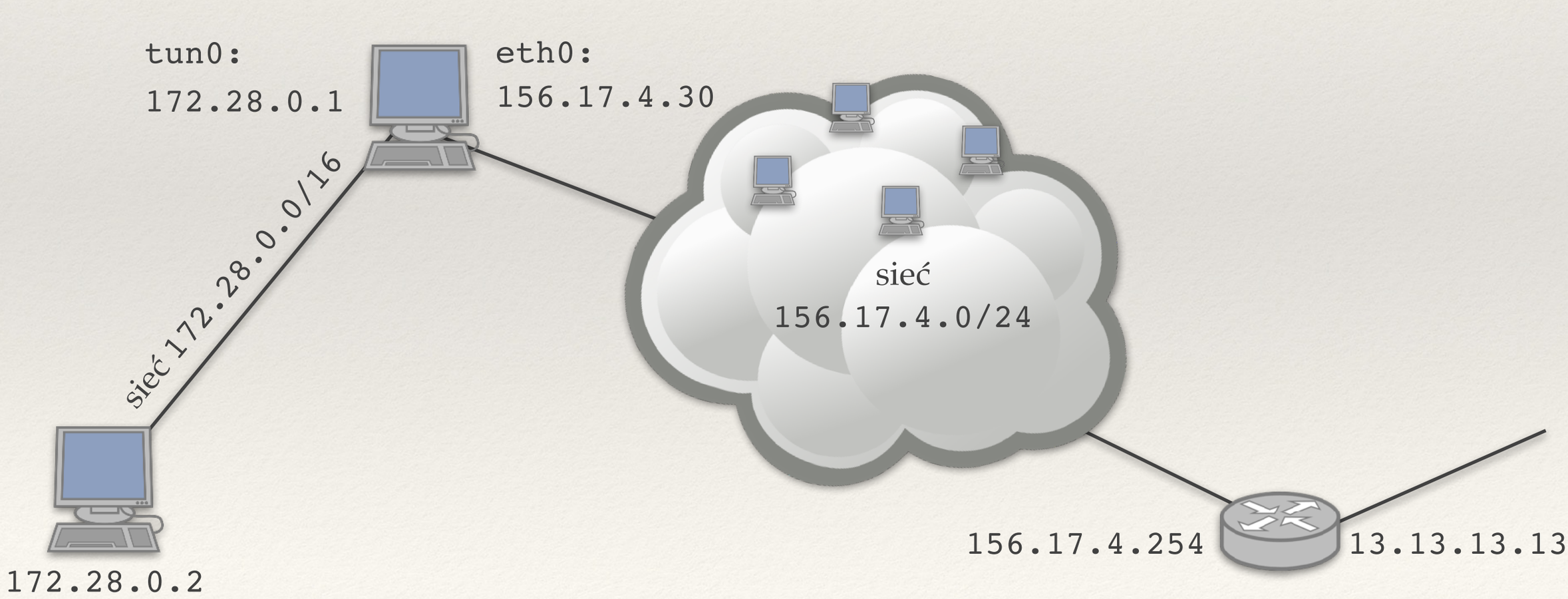
```
$> ip route
156.17.4.0/24                          dev eth0  src 156.17.4.30
172.28.0.0/16                          dev tun0  src 172.28.0.1
0.0.0.0/0          via 156.17.4.254    dev eth0
```



Przykładowa tablica routingu w komputerze

Reguła dodana w momencie przypisywania adresu IP 156.17.4.30/24

```
$> ip route
156.17.4.0/24                          dev eth0  src 156.17.4.30
172.28.0.0/16                          dev tun0  src 172.28.0.1
0.0.0.0/0          via 156.17.4.254    dev eth0
```



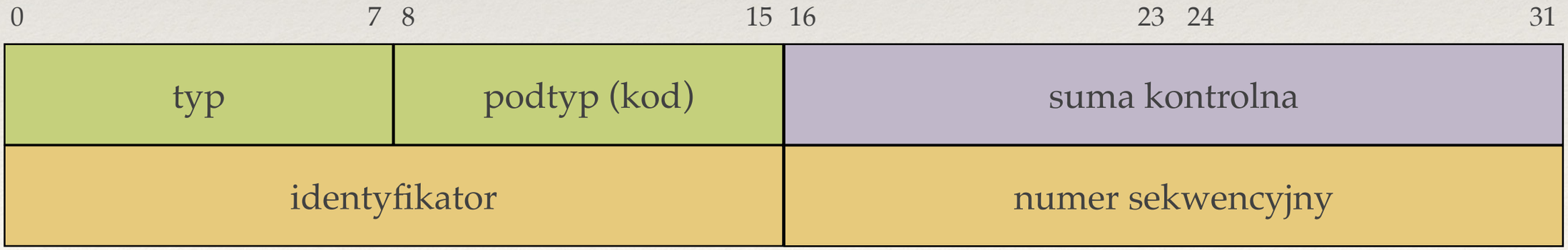
ICMP

ICMP (Internet Control Message Protocol)

- Protokół pomocniczy warstwy trzeciej.

- Pakiety ICMP są enkapsulowane w pakietach IP (stanowią pole danych w pakiecie IP).

- Nagłówek ICMP (bajty 5-8 mogą nie występować):



Ping

- **Wysyła żądanie ICMP o typie 8 (*echo request*).**
  - W danych ICMP jest m.in. znacznik czasowy.
- **Odbiorca odsyła komunikat ICMP o typie 0 (*echo reply*).**
  - W danych ICMP są dokładnie te same pola co w żądaniu.
  - Na tej podstawie można wyznaczyć bieżący RTT.

```
PING whitehouse.gov (104.89.18.154): 56 data bytes
64 bytes from 104.89.18.154: icmp_seq=0 ttl=58 time=65.080 ms
64 bytes from 104.89.18.154: icmp_seq=1 ttl=58 time=67.033 ms
64 bytes from 104.89.18.154: icmp_seq=2 ttl=58 time=68.533 ms
```

Traceroute (1)

Jak `traceroute -I` wyświetla ścieżkę do *X* (docelowego adresu IP)?

- Niech *k* = odległość do *X*
- `traceroute -I` wysyła pakiety ICMP *echo request* z kolejnymi wartościami TTL (1, 2, 3, …, 30)
- Co się dzieje jak wyślemy pakiet z TTL = *j*?

Traceroute (1)

Jak `traceroute -I` wyświetla ścieżkę do *X* (docelowego adresu IP)?

- Niech *k* = odległość do *X*
- `traceroute -I` wysyła pakiety ICMP *echo request* z kolejnymi wartościami TTL (1, 2, 3, …, 30)
- Co się dzieje jak wyślemy pakiet z TTL = *j*?
  - Jeśli $j < k$, to pakiet dotrze do *j*-tego routera na trasie do celu. Router wyrzuci pakiet i odeśle nam komunikat ICMP *time exceeded* (typ 11, podtyp 0).

Traceroute (1)

Jak `traceroute -I` wyświetla ścieżkę do *X* (docelowego adresu IP)?

- Niech *k* = odległość do *X*
- `traceroute -I` wysyła pakiety ICMP *echo request* z kolejnymi wartościami TTL (1, 2, 3, …, 30)
- Co się dzieje jak wyślemy pakiet z TTL = *j*?
  - Jeśli $j < k$, to pakiet dotrze do *j*-tego routera na trasie do celu. Router wyrzuci pakiet i odeśle nam komunikat ICMP *time exceeded* (typ 11, podtyp 0).
  - Jeśli $j \geq k$, to komputer docelowy odpowie komunikatem ICMP *echo reply*.

Traceroute (2)

- `traceroute` (z opcją `-I`) wysyła pakiety ICMP *echo request*
  - Jeśli dotrą do komputera docelowego, to dostaniemy komunikat ICMP *echo reply*

- `traceroute` (bez opcji `-I`) wysyła pakiety UDP do rzadko używanego portu
  - Jeśli dotrą do komputera docelowego, to dostaniemy komunikat ICMP *port unreachable*

Traceroute (3)

```
traceroute to www.ii.uni.wroc.pl (156.17.4.3), 64 hops max, 52 byte packets
 1  livebox (192.168.1.1)  3.151 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

Programowanie gniazd (wstęp)

Gniazda

Gniazda = interfejs programistyczny do nadawania i odbierania pakietów

- Umożliwiają podawanie **danych** do umieszczenia w datagramach UDP lub segmentach TCP.

dostęp do niektórych pól za pomocą funkcji gniazd

- **Gniazda surowe**: umożliwiają podawanie danych do umieszczenia bezpośrednio w danych pakietu IP.

Kolejność bajtów w liczbach całkowitych

- Liczba całkowita (np `0x4A3B2C1D`) jest przechowywana inaczej na różnych architekturach. Przykładowo:
  - PowerPC: `0x4A`, `0x3B`, `0x2C`, `0x1D` (*big endian*).
  - Intel x86: `0x1D`, `0x2C`, `0x3B`, `0x4A` (*little endian*).

- W nagłówkach pakietów są liczby, protokoły wymagają „sieciowej kolejności bajtów“ (*big endian*).

- Do konwersji służą funkcje **`htons`**, **`htonl`**, **`ntohs`**, **`ntohl`**.

Sprawdzanie błędów

- Funkcje dotyczące gniazd często zwracają błędy.
- Zwrócona wartość mniejsza od 0 zazwyczaj oznacza błąd.
- Kod błędu: `errno` → jako komunikat: **`strerror`**`(errno)`.

Tworzenie gniazda surowego

```
#include <arpa/inet.h>
int sockfd = socket(AF_INET, SOCK_RAW, IPPROTO_ICMP);
```

- Gniazdo surowe otrzymuje **kopię wszystkich pakietów danego protokołu** (w tym przypadku ICMP).
- `sockfd` jest deskryptorem gniazda podobnym do deskryptora pliku czy potoku.

Programowanie gniazd (odbieranie pakietów)

Odbieranie pakietu z gniazda

`recvfrom` odbiera kolejny pakiet z kolejki związanej z gniazdem.

```
struct sockaddr_in    sender;
socklen_t             sender_len = sizeof(sender);
u_int8_t              buffer [IP_MAXPACKET];

ssize_t packet_len = recvfrom (
    sockfd,
    buffer,
    IP_MAXPACKET,
    0,
    (struct sockaddr*)&sender,
    &sender_len
);
```

pakiet jako ciąg bajtów

informacje o nadawcy

Internetowa struktura adresowa

```
struct sockaddr_in {
   sa_family_t      sin_family;
   in_port_t        sin_port;
   struct in_addr   sin_addr;
   // tutaj zera
}
```

zdefiniowana w `netinet/in.h`

```
char sender_ip_str[20];
inet_ntop (
   AF_INET,
   &(sender.sin_addr),
   sender_ip_str,
   sizeof(sender_ip_str)
);
```

zamienia strukturę adresową
w `sender` na napis z adresem IP

Odczyt nagłówka IP

zdefiniowana w `netinet/ip.h`

```
struct ip
{
  unsigned int ip_hl:4;
  …
  u_int32_t saddr;
  u_int32_t daddr;
};
```

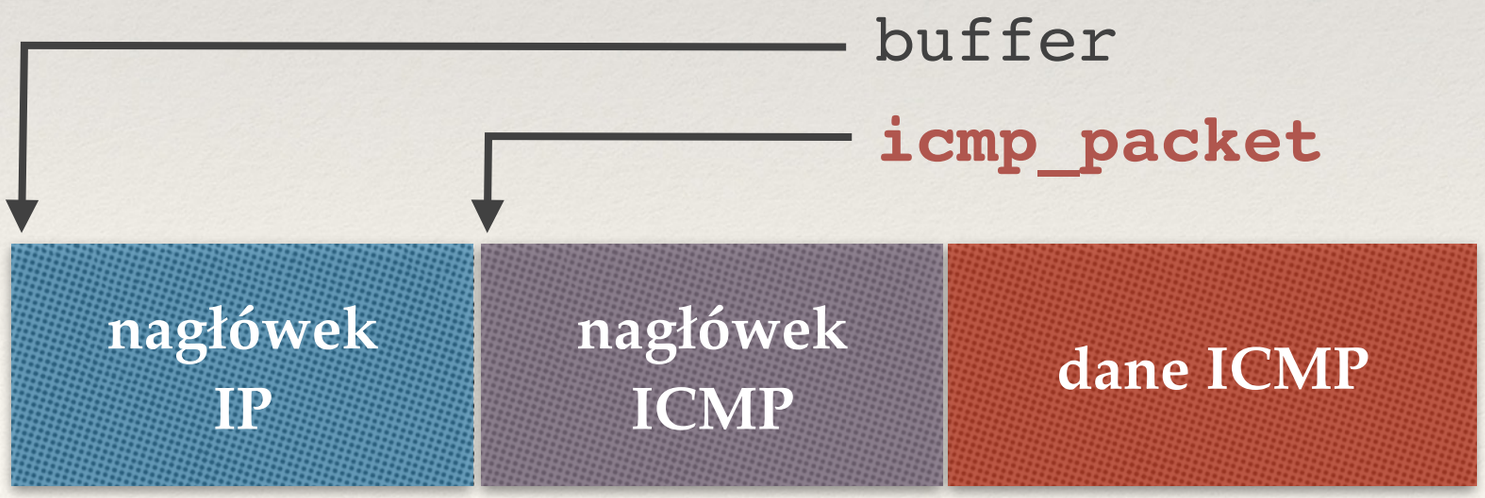
```
struct ip* ip_header   = (struct ip*) buffer;
u_int8_t*  icmp_packet = buffer + 4 * ip_header->ip_hl;
```

Odczyt nagłówka ICMP

zdefiniowana w `netinet/ip_icmp.h`

```
struct icmp
{
  u_int8_t icmp_type;
  u_int8_t icmp_code;
  …
};

struct ip*    ip_header   = (struct ip*) buffer;
u_int8_t*     icmp_packet = buffer + 4 * ip_header->ip_hl;
struct icmp* icmp_header = (struct icmp*) icmp_packet
```



Kod odbierający pakiety

```
int sockfd = socket(AF_INET, SOCK_RAW, IPPROTO_ICMP);

for (;;) {
  struct sockaddr_in    sender;
  socklen_t             sender_len = sizeof(sender);
  u_int8_t              buffer[IP_MAXPACKET];

  ssize_t packet_len = recvfrom (sockfd, buffer, IP_MAXPACKET, 0,
                                 (struct sockaddr*)&sender, &sender_len);

  char ip_str[20];      // sender IP
  inet_ntop (AF_INET, &(sender.sin_addr), ip_str, sizeof(ip_str));
  printf ("IP packet with ICMP content from: %s\n", ip_str);

  struct ip*  ip_header = (struct ip*) buffer;
  ssize_t     ip_header_len = 4 * ip_header->ip_hl;

  // IP header = buffer [0, ip_header_len-1]
  // IP data   = buffer [ip_header_len, packet_len-1]
}
```

Brak obsługi błędów!

demonstracja

cały kod programu na stronie wykładu

Tryb nieblokujący

- **Funkcja `recvfrom()`:**
  - Standardowe wywołanie blokuje aż w gnieździe będzie pakiet.
  - Zazwyczaj nie chcemy czekać więcej niż *x* sekund.

- **Tryb nieblokujący:**
  - Czwarty parametr `recvfrom()` równy `MSG_DONTWAIT`.
  - Jeśli w gnieździe nie ma pakietów, to `recvfrom()` kończy działanie zwracając -1 zaś `errno = EWOULDBLOCK`.

Tryb nieblokujący

- **Funkcja `recvfrom()`:**
  - Standardowe wywołanie blokuje aż w gnieździe będzie pakiet.
  - Zazwyczaj nie chcemy czekać więcej niż *x* sekund.

- **Tryb nieblokujący:**
  - Czwarty parametr `recvfrom()` równy `MSG_DONTWAIT`.
  - Jeśli w gnieździe nie ma pakietów, to `recvfrom()` kończy działanie zwracając -1 zaś `errno = EWOULDBLOCK`.

- **Aktywne czekanie**:
  - Wywołujemy w pętli cały czas `recvfrom(sockfd,_,_,MSG_DONTWAIT,_,_)`.
  - Sprawdzamy, ile czasu upłynęło od ostatniego odczytu.
  - **Wada: 100% zużycie procesora!**

Funkcja poll()

Czekanie maksymalnie *x* milisekund na pakiet w gnieździe `sockfd`.

Funkcja poll()

Czekanie maksymalnie *x* milisekund na pakiet w gnieździe `sockfd`.

```
struct pollfd ps;
  ps.fd = sockfd;
  ps.events = POLLIN;
  ps.revents = 0;
int ready = poll (&ps, 1, x);
```

Funkcja poll()

Czekanie maksymalnie x milisekund na pakiet w gnieździe `sockfd`.

```
struct pollfd ps;
  ps.fd = sockfd;
  ps.events = POLLIN;
  ps.revents = 0;
int ready = poll (&ps, 1, x);
```

- `ready = 0` → nastąpił timeout (po x milisekundach).
- `ready < 0` → wystąpił błąd (zazwyczaj przerwanie sygnałem)
- `ready > 0` → `ready` obserwowanych deskryptorów "gotowych do odczytu".
  - Trzeba sprawdzić, czy `ps.revents == POLLIN`!
  - Pierwsze wywołanie `recvfrom(sockfd, …)` nie zablokuje.
  - W gnieździe `sockfd` może być więcej niż jeden pakiet → można je odczytać w trybie nieblokującym.

Funkcja poll()

Czekanie maksymalnie *x* milisekund na pakiet w gnieździe `sockfd`.

```
struct pollfd ps;
  ps.fd = sockfd;
  ps.events = POLLIN;
  ps.revents = 0;
int ready = poll (&ps, 1, x);
```

Obserwowaliśmy 1, więc ready = 1

- `ready = 0` → nastąpił timeout (po *x* milisekundach).
- `ready < 0` → wystąpił błąd (zazwyczaj przerwanie sygnałem)
- `ready > 0` → `ready` obserwowanych deskryptorów "gotowych do odczytu".
  - Trzeba sprawdzić, czy `ps.revents == POLLIN`!
  - Pierwsze wywołanie `recvfrom(sockfd, …)` nie zablokuje.
  - W gnieździe `sockfd` może być więcej niż jeden pakiet → można je odczytać w trybie nieblokującym.

Programowanie gniazd (wysyłanie pakietów)

Tworzenie danych do wysyłki

Konstruujemy komunikat ICMP do wysłania. W przypadku ICMP *echo request* wystarczy sam nagłówek.

```
struct icmp header;
header.icmp_type = ICMP_ECHO;
header.icmp_code = 0;
header.icmp_hun.ih_idseq.icd_id = ???;
header.icmp_hun.ih_idseq.icd_seq = ???;
header.icmp_cksum = 0;
header.icmp_cksum = compute_icmp_checksum (
        (u_int16_t*)&header, sizeof(header));
```

unikatowy identyfikator,
np. 16 mniej znaczących bitów z PID

numer sekwencyjny

Funkcja obliczająca 16-bitową sumę kontrolną w kodzie uzupełnień do jedności jest na stronie wykładu

Adresowanie

Wpisujemy adres odbiorcy do struktury adresowej:

```
struct sockaddr_in recipient;
memset (&recipient, 0, sizeof(recipient));
recipient.sin_family = AF_INET;
inet_pton (AF_INET, "adres_ip", &recipient.sin_addr);
```

Opcje gniazda

Pole TTL jest w nagłówku IP → brak bezpośredniego dostępu. Zmiana wywołaniem:

```
ttl = 42;
setsockopt (sockfd, IPPROTO_IP, IP_TTL, &ttl, sizeof(int));
```

Wysyłanie pakietu przez gniazdo

```
ssize_t bytes_sent = sendto (
  sockfd,
  &header,
  sizeof(header),
  0,
  (struct sockaddr*)&recipient,
  sizeof(recipient)
);
```

Lektura dodatkowa

- Kurose & Ross: rozdział 4.
- Tanenbaum: rozdział 5.
- Stevens: rozdział 25.
- Dokumentacja IP i ICMP:
  - https://web.archive.org/web/20220412004810/http://www.networksorcery.com/enp/protocol/ip.htm
  - https://web.archive.org/web/20220410210745/http://www.networksorcery.com/enp/protocol/icmp.htm

Zagadnienia

- Z czego wynika hierarchia adresów IP? Jaki ma wpływ na konstrukcję tablic routingu?
- Notacja CIDR.
- Co to jest adres rozgłoszeniowy?
- Co to jest maska podsieci
- Opisz sieci IP klasy A, B i C.
- Co to jest pętla lokalna (loopback)?
- Do czego służy pole TTL w pakiecie IP? Do czego służy pole protokół?
- Jakie reguły zawierają tablice routingu?
- Na czym polega reguła najdłuższego pasującego prefiksu?
- Co to jest trasa domyślna?
- Do czego służy protokół ICMP? Jakie znasz typy komunikatów ICMP?
- Jak działa polecenie `ping`?
- Jak działa polecenie `traceroute`?
- Dlaczego do tworzenia gniazd surowych wymagane są uprawnienia administratora?
- Co to jest sieciowa kolejność bajtów?
- Co robią funkcje `socket()`, `recvfrom()` i `sendto()`?
- Jakie informacje zawiera struktura adresowa `sockaddr_in`?
- Co to jest tryb blokujący i nieblokujący? Co to jest aktywne czekanie?
- Jakie jest działanie funkcji `select()`?