

Mapa wykładu

- ❑ 4.1 Usługi warstwy sieci z komutacją pakietów
- ❑ 4.2 Zasady działania routingu
- ❑ 4.3 Routing hierarchiczny
- ❑ 4.4 Protokół Internetu (IP)
- ❑ 4.5 Routing w Internecie
- ❑ 4.6 Co jest w routerze
- ❑ 4.7 IPv6
- ❑ 4.8 Routing rozsiewczy (multicast)
- ❑ 4.9 Mobilność

IPv6

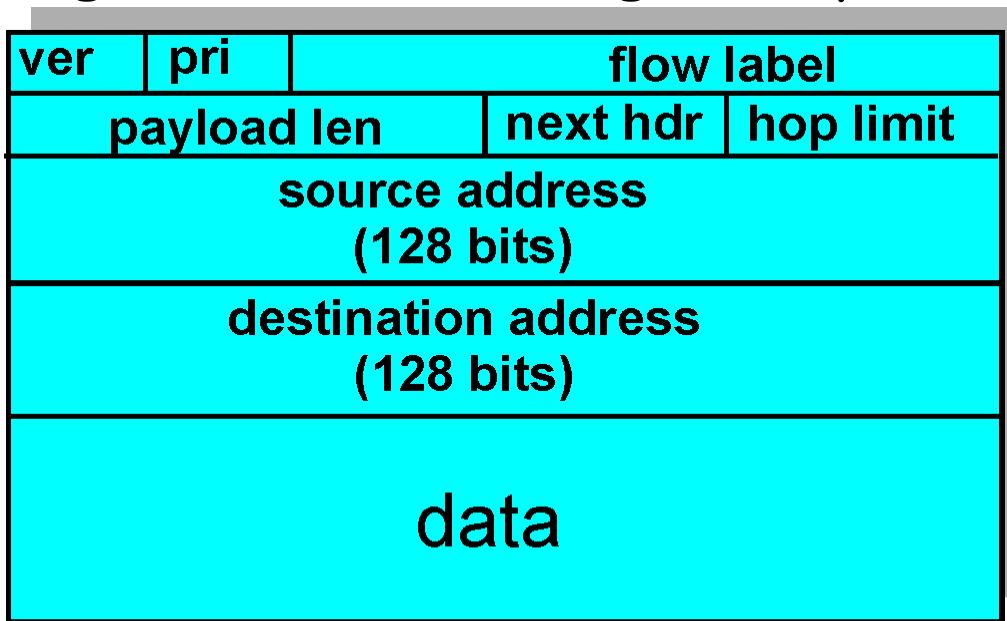
- **Początkowe uzasadnienie:** 32-bitowa przestrzeń adresowa wyczerpie się w 2008 r.
- **Dodatkowe uzasadnienie:**
 - format nagłówka pomagający w przetwarzaniu/przekazywaniu
 - zmiany w nagłówku w celu różnicowania QoS
 - nowy adres "anycast": ścieżka do "najlepszego" z wielu replikowanych serwerów
- **format pakietu IPv6:**
 - nagłówek 40-bajtowy (320 b), elastyczny
 - fragmentacja tylko koniec-koniec

Nagłówek pakietu IPv6

Priority: określa priorytet pakietu w przepływie

Flow Label: identyfikuje pakiety należące do jednego "przepływu".

Next header: określa następną (opcjonalną) część nagłówka IPv6 lub nagłówek protokołu wyższej warstwy



← 32 bits →

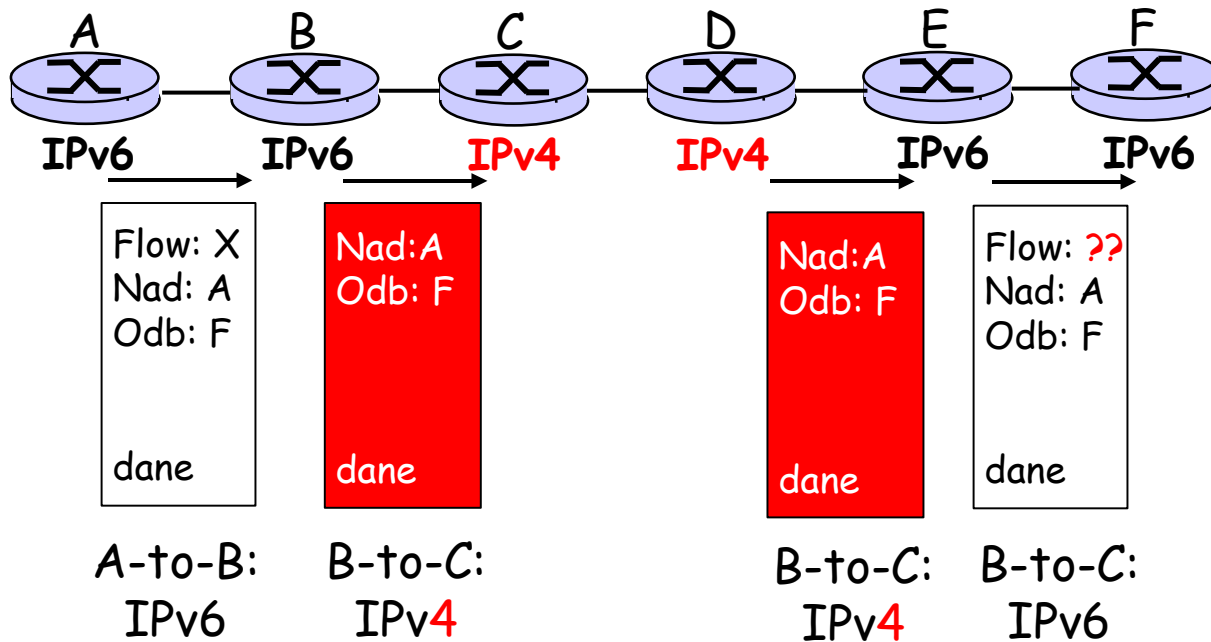
Inne zmiany w stosunku do IPv4

- ❑ *Suma kontrolna nagłówka*: usunięta całkiem w celu zmniejszenia czasu przetwarzania pakietów
- ❑ *Opcje*: dozwolone, ale w dodatkowych częściach nagłówka, wskazywanych przez pole "Next Header"
- ❑ *ICMPv6*: nowa wersja ICMP
 - dodatkowe komunikaty, n.p. "Packet Too Big"
 - funkcje zarządzania grupami multicast
- ❑ *DHCP*: staje się częścią IP (Neighbor Discovery)
- ❑ *NAT*: adresy IPv6 mogą być prywatne
- ❑ *IPSec*: staje się częścią IP

Przejs̄cie z IPv4 na IPv6

- Nie da się aktualizować wszystkich ruterów jednoczeŝnie
 - nie ma "dni ŝwiątecznych" w Internecie
 - Jak sieć będzie działała z ruterami IPv4 oraz IPv6 jednoczeŝnie?
- Dwa proponowane rozwiązania:
 - *Dual Stack*: routery z podwójnym stosem (v6, v4) mogą "tłumaczyć" pomiędy formatami
 - *Tunelowanie*: pakiet IPv6 przenoszony jako dane pakietu IPv4 przez routery IPv4

Podwójny stos

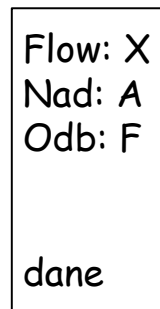
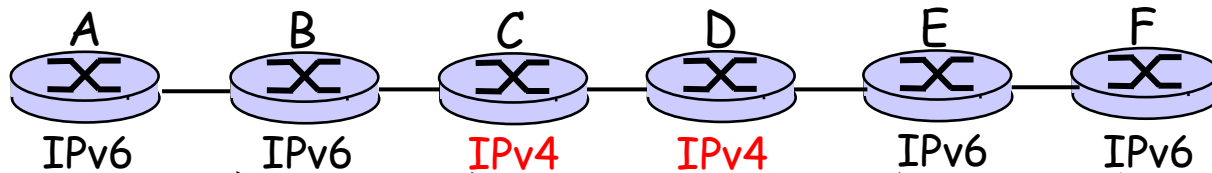


Tunelowanie

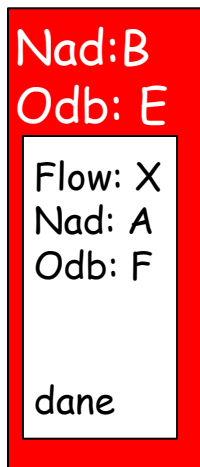
Logiczne połączenie



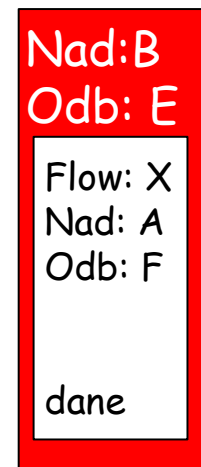
Fizyczne połączenie



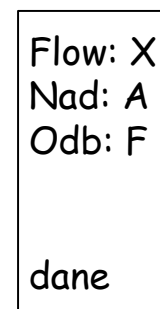
A-do-B:
IPv6



B-do-C:
IPv6 tunelowane w
IPv4



B-do-C:
IPv6 tunelowane w
IPv4



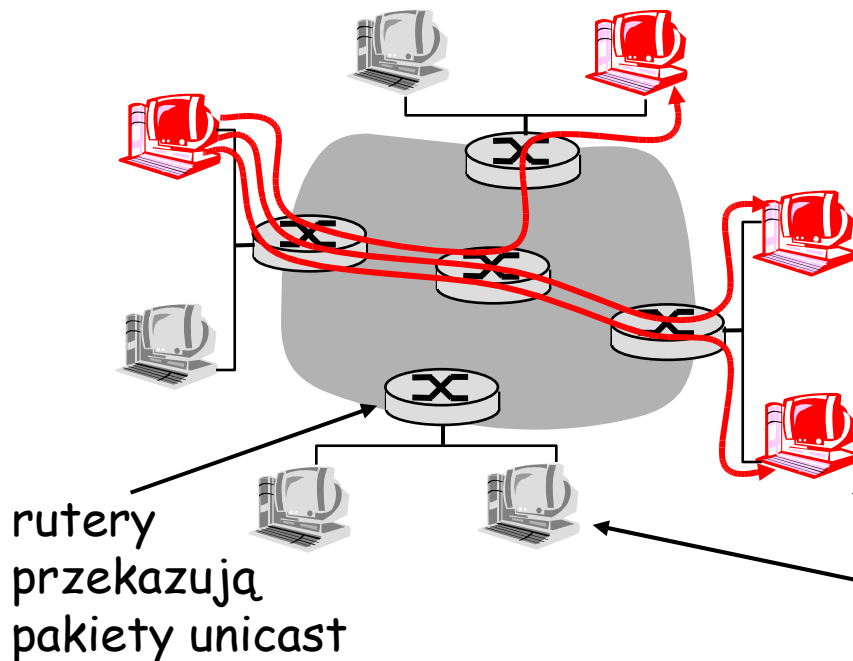
E-do-F:
IPv6

Mapa wykładu

- ❑ 4.1 Usługi warstwy sieci z komutacją pakietów
- ❑ 4.2 Zasady działania routingu
- ❑ 4.3 Routing hierarchiczny
- ❑ 4.4 Protokół Internetu (IP)
- ❑ 4.5 Routing w Internecie
- ❑ 4.6 Co jest w routerze
- ❑ 4.7 IPv6
- ❑ 4.8 Routing rozsiewczy (multicast)
- ❑ 4.9 Mobilność

Multicast: jeden nadawca do wielu odbiorców

- **Komunikacja rozsiwczająca:** wysłanie pakietu do wielu odbiorców za pomocą pojedynczej operacji
 - analogia: jeden wykładowca do wielu studentów
- **Pytanie:** jak zrealizować komunikację rozsiwczającą

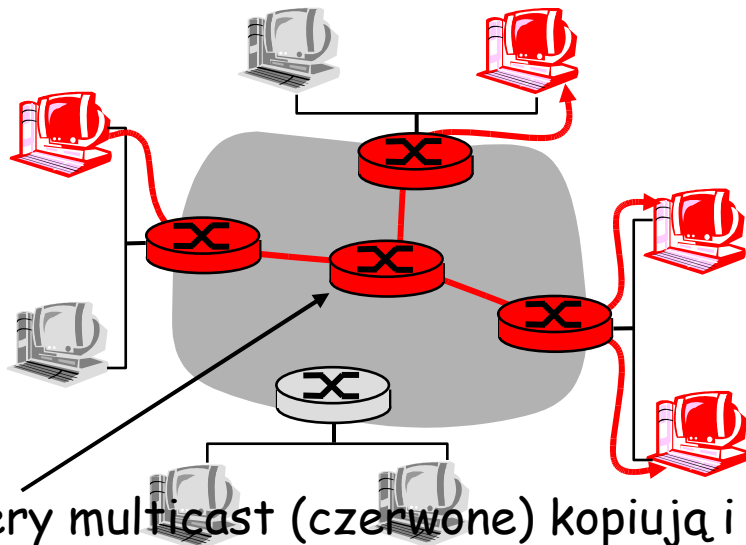


Multicast przez unicast

- nadawca wysyła N pakietów unicast, po jednym do każdego z N odbiorców

Multicast: jeden nadawca do wielu odbiorców

- ❑ Komunikacja rozszewcza: wysłanie pakietu do wielu odbiorców za pomocą pojedynczej operacji
- ❑ Pytanie: jak zrealizować komunikację rozszewczą



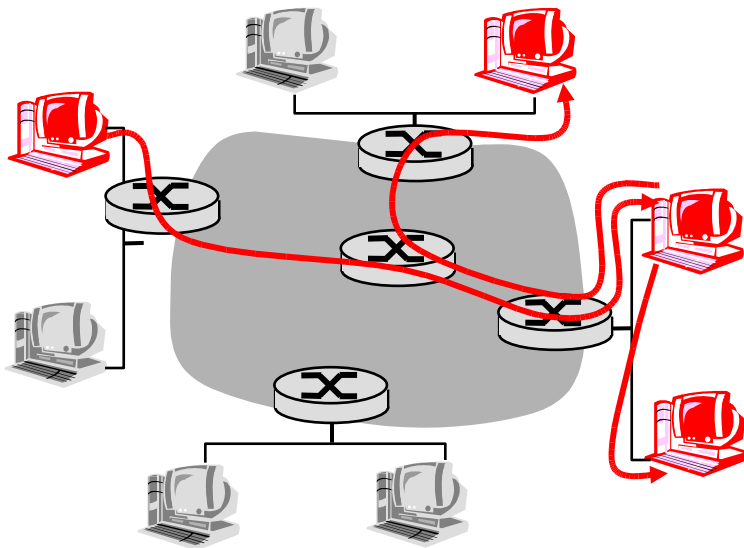
Rutery multicast (czerwone) kopiują i przekazują pakiety kom. rozszewczej

Multicast w w. sieci

- ❑ Rutery aktywnie biorą udział w kom. rozszewczej, kopiując pakiety, gdy tego potrzeba, i przekazując pakiety do odbiorców multicast

Multicast: one sender to many receivers

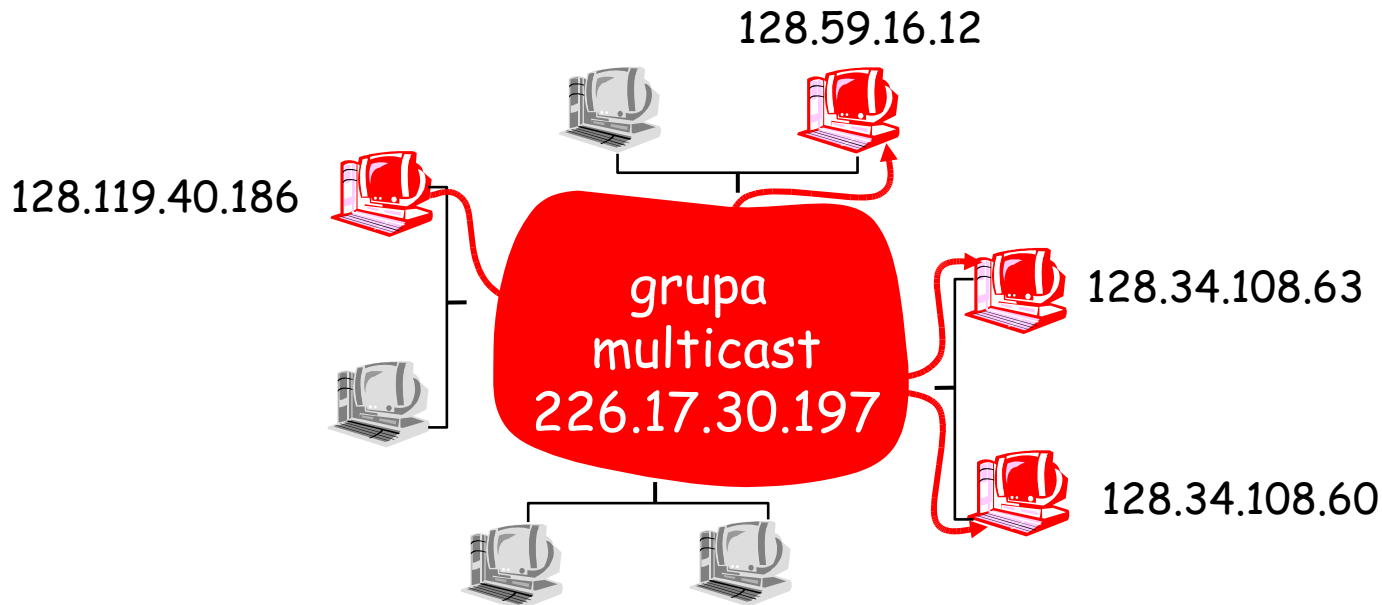
- Komunikacja rozsiwacza: wysłanie pakietu do wielu odbiorców za pomocą pojedynczej operacji
- Pytanie: jak zrealizować komunikację rozsiwczą



Multicast w w. aplikacji

- systemy końcowe kopiują komunikaty kom. rozsiwczą i przekazują je między sobą

Usługa Multicast w Internecie




pojęcie grupy multicast: użycie **bezkierunkowości**

- host adresuje pakiet IP do grupy multicast
- routery przekazują pakiety multicast do hostów, które "dołączyły" do grupy multicast

Grupy multicast

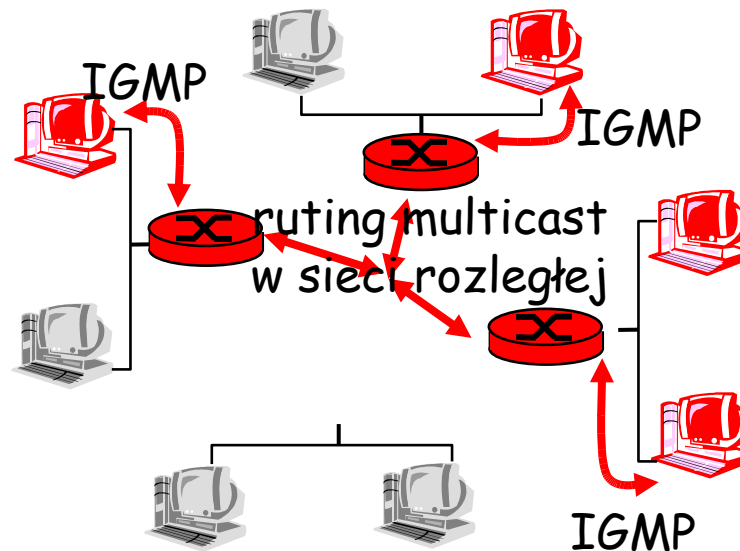
- adresy IP klasy D są rezerwowane dla grup multicast:



- znaczenie grupy hostów:  28 bits
- każdy może "dołączyć" (odbierać) do grupy multicast
- każdy może wysłać do grupy multicast
- nie ma rozróżnienia członków grupy w warstwie sieci
- potrzebne: infrastruktura przekazująca pakiety multicast do wszystkich hostów, które dołączyły do grupy multicast

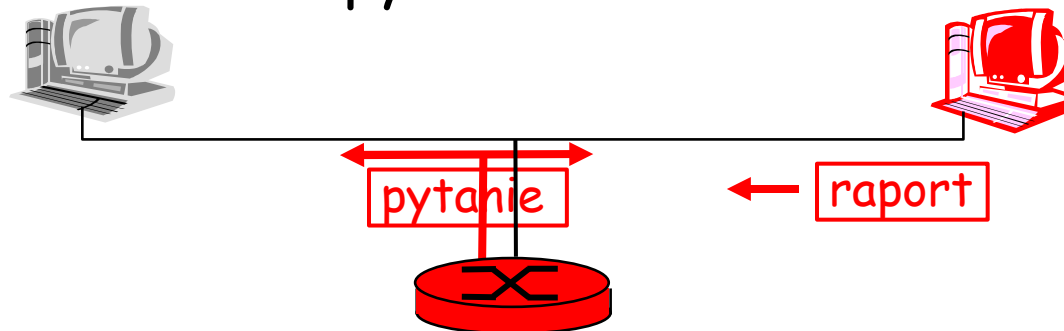
Dołączanie do grupy multicast: dwa etapy

- etap lokalny: host informuje lokalny ruter multicast, że chce dołączyć do grupy:
IGMP (Internet Group Management Protocol)
- etap w sieci rozległej: lokalny ruter komunikuje się z innymi ruterami, żeby otrzymywać pakiety grupy multicast
 - wiele protokołów (n.p., DVMRP, MOSPF, PIM)



IGMP: Internet Group Management Protocol

- host: wysyła raport IGMP gdy aplikacja dołącza do grupy multicast
 - używa opcji gniazd IP_ADD_MEMBERSHIP
 - host nie musi specjalnie "opuszczać" grupy
- ruter: wysyła pytanie IGMP w ustalonych odstępach czasu
 - host należący do grupy multicast musi odpowiedzieć na pytanie



IGMP

IGMP wersja 1

- ruter: rozgłasza komunikat *Host Membership Query* do wszystkich hostów w sieci LAN
- host: komunikat *Host Membership Report* wskazuje na członkostwo w grupie
 - losowe opóźnienie przed odpowiedzią
 - domyślne opuszczenie grupy przez brak odpowiedzi
- RFC 1112

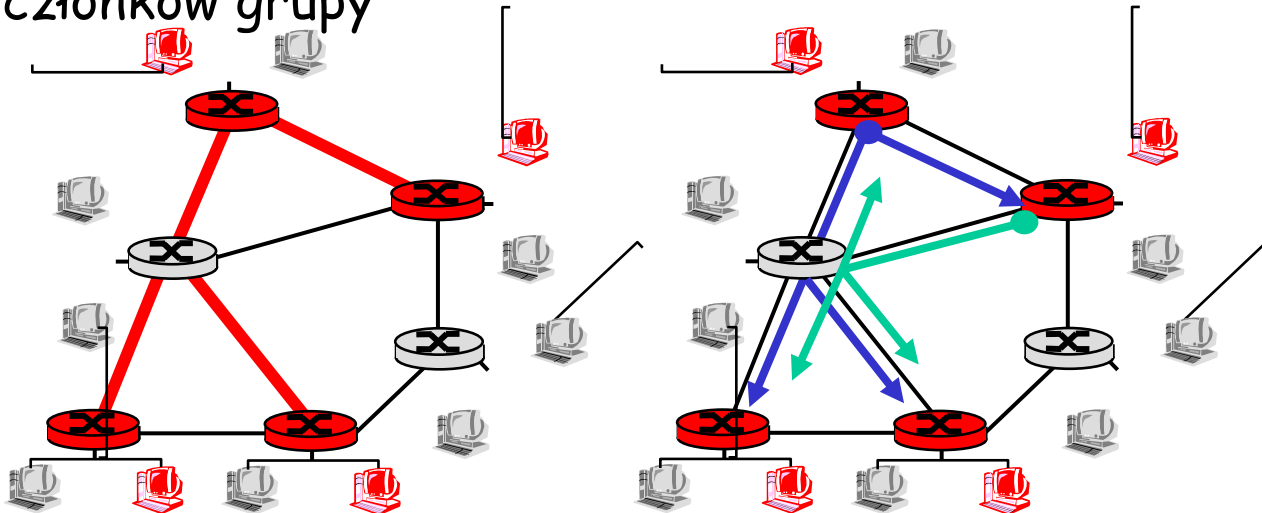
IGMP v2: dodatki:

- pytanie dotyczące grupy
- Komunikat *Leave Group*
 - ostatni host odpowiadający na pytanie może wysłać komunikat *Leave Group*
 - ruter wysyła pytanie dotyczące grupy, żeby sprawdzić, czy jakiś host został w grupie
 - RFC 2236

IGMP v3: jest rozwijane jako Internet Draft

Ruting Multicast: Określenie problemu

- **Cel:** znaleźć drzewo (lub drzewa) łączące routery, do których połączeni są członkowie grupy multicast
 - **drzewo:** nie używać wszystkich ścieżek między routerami
 - **drzewa od źródła:** różne drzewa od każdego nadawcy do odbiorców
 - **drzewo wspólne:** to samo drzewo używane przez wszystkich członków grupy



Drzewo wspólne

Drzewa od źródła

Sposoby budowania drzew rutingu multicast

Typy drzew:

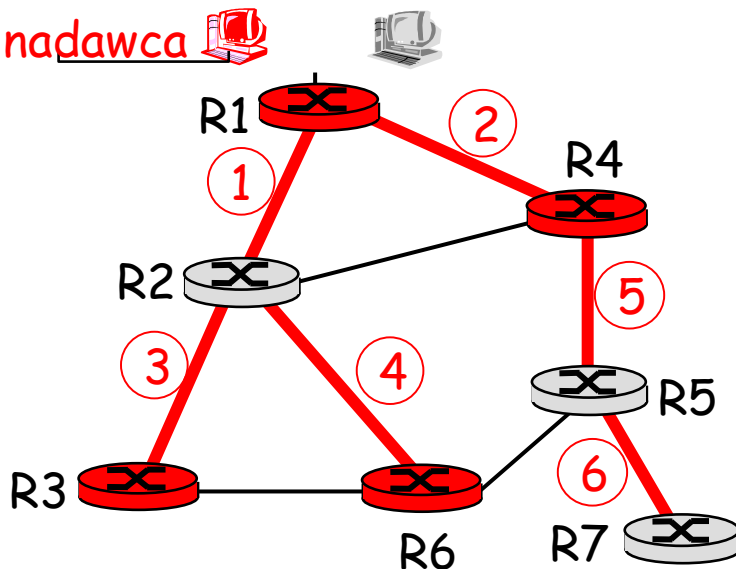
- **drzewa od źródła:** po jednym drzewie dla źródła
 - drzewa najkrótszych ścieżek
 - przekazywanie przez ścieżkę powrotną
- **drzewa wspólne:** grupa używa jednego drzewa
 - minimalne drzewa rozpinające (drzewa Steinera)
 - drzewa oparte o centrum

...opiszemy najpierw ogólne algorytmy, potem konkretne protokoły używające tych algorytmów




Drzewa najkrótszych ścieżek

- drzewo multicast składa się z najkrótszych ścieżek od nadawcy do każdego odbiorcy
 - algorytm Dijkstry

N: nadawca 



LEGENDA

-  ruter, z którym łączy się członek grupy
-  ruter, w którego podsięciach nie ma członków grupy
-  łączy używane w drzewie, i wskazuje na kolejność dodawania łączy przez algorytm

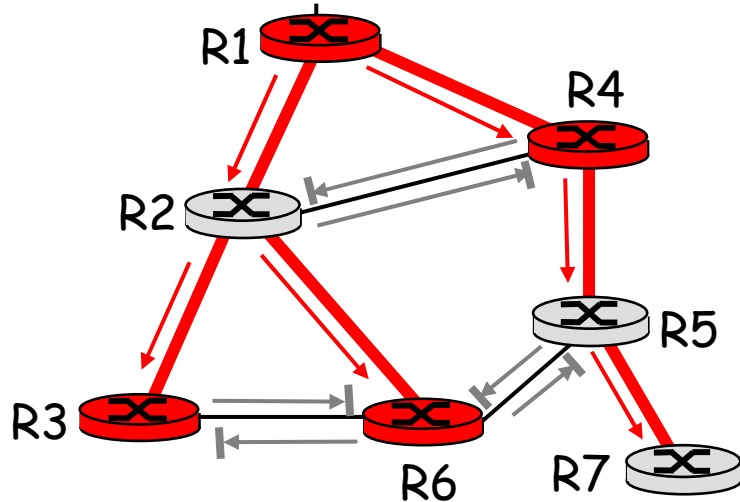
Przekazywanie przez ścieżkę powrotną

- ❑ ang. *Reverse Path Forwarding* (RPF)
- ❑ polega na tym, że rutera zna najkrótszą ścieżkę od siebie do nadawcy
- ❑ każdy ruter ma prosty algorytm:


if (otrzymałem pakiet multicast na łączy ze ścieżki, która prowadzi do nadawcy)
then wyślij pakiet na wszystkie łącza
else ignoruj pakiet


Przekazywanie przez ścieżkę powrotną


N: nadawca 




LEGENDA

 ruter, z którym łączy się członek grupy

 ruter, w którego podsięciach nie ma członków grupy

 pakiet będzie przekazywany

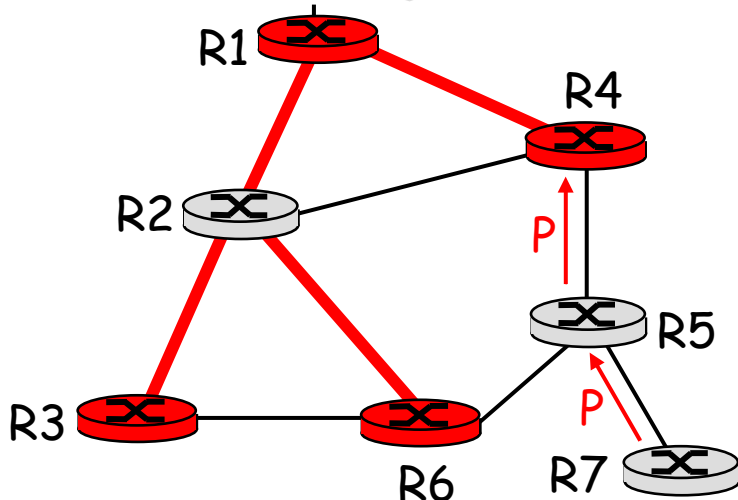
 pakiet nie będzie przekazywany

- wynikiem jest *odwrócone* drzewo najkrótszych ścieżek zakorzenione u nadawcy
 - może być nie najlepsze, jeśli łącza są asymetryczne

RPF: ucinanie ścieżek

- drzewo multicast może zawierać poddrzewa, w których nie ma członków grupy
 - nie trzeba przekazywać pakietów do takich poddrzew
 - komunikat "prune" jest wysyłany w górę drzewa przez ruter, który nie ma członków grupy w poddrzewie

N: nadawca 



LEGENDA



ruter, z którym łączy się członek grupy



ruter, w którego podsieciach nie ma członków grupy



komunikat *prune*



łącza, po których przekazywane są pakiety multicast

Drzewo wspólne: drzewa Steiner

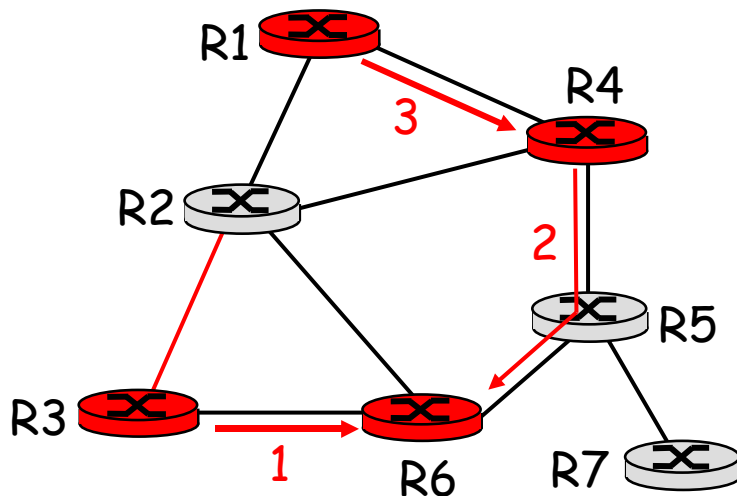
- ❑ **Drzewo Steiner**: drzewo o minimalnym koszcie łączące wszystkie routery z dołączonymi członkami grupy
- ❑ problem jest NP-zupełny
- ❑ istnieją bardzo dobre heurystyki
- ❑ nie używane w praktyce:
 - złożone obliczeniowo
 - potrzebują informacji o całej sieci
 - niepodzielne: przy każdym odłączeniu/dołączeniu routera, trzeba od nowa obliczyć drzewo

Drzewo ze wspólnego centrum




- ❑ jedno drzewo dla całej grupy
- ❑ jeden ruter wybrany jako "*centrum*" drzewa
- ❑ żeby się dołączyć:
 - ruter brzegowy wysyła komunikat unicast *join-msg* do rutera centrum
 - komunikat *join-msg* "obsługiwany" przez pośredniczące rutery i przekazywany do centrum
 - komunikat *join-msg* albo dotrze do istniejącej gałęzi drzewa, albo do centrum
 - ścieżka, jaką przebył komunikat *join-msg* staje się nową gałęzią drzewa do rutera dołączającego

Drzewo ze wspólnego centrum

Założmy, że R6 wybrany na centrum:



LEGENDA

-  ruter, z którym łączy się członek grupy
-  ruter, w którego podsięciach nie ma członków grupy
-  kolejność, w jakiej routery dołączają do drzewa

Ruting Multicast w Internecie: DVMRP

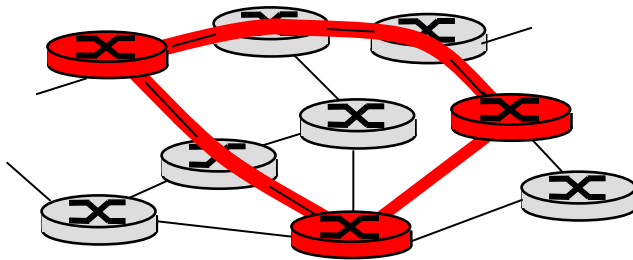
- ❑ **DVMRP**: Distance Vector Multicast Routing Protocol, RFC1075
- ❑ **zalew i ucinanie**: przekazywanie przez ścieżkę powrotną (RPF), drzewa od źródła
 - drzewo RPF budowane w oparciu o własne tablice routingu DVMRP
 - nic nie zakłada o routingu unicast
 - początkowy pakiet do grupy multicast rozsyłany wszędzie przez RPF
 - routery nie chcące grupy: wysyłają komunikaty prune w górę drzewa

DVMRP: ciąg dalszy...

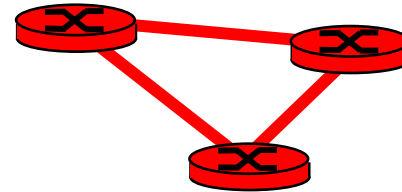
- miękki stan: ruter DVMRP okresowo (co 1 min.) "zapomina" że uciął gałąź:
 - pakiety multicast znowu płyną uciętą gałęzią
 - ruter w uciętej gałęzi: znów ucina lub otrzymuje dane dalej
- routery mogą szybko ponownie dołączyć do drzewa
- różności
 - powszechnie implementowany w komercyjnych routerach
 - routing Mbone także używa DVMRP

Tunelowanie

Pytanie: Jak połączyć "wysepki" ruterów multicast w "morzu" ruterów unicast?



topologia fizyczna



topologia logiczna

- ❑ pakiety multicast są enkapsulowane w "normalnych" pakietach (z adresem unicast)
- ❑ normalny pakiet IP wysyłany przez "tunel" za pomocą IP unicast do odbierającego rutera multicast
- ❑ odbierający ruter multicast dekapuluje pakiet, żeby odzyskać pakiet multicast

PIM: Protocol Independent Multicast

- ❑ nie zależy od używanego w sieci algorytmu routingu unicast (działa ze wszystkimi)
- ❑ dwa różne scenariusze działania :

Gęsty:

- ❑ członkowie grupy są rozmieszczeni gęsto w sieci, "blisko" siebie.
- ❑ dość dużo przepustowości

Rzadki:

- ❑ w niewielkiej ilości połączonych sieci są członkowie grupy multicast
- ❑ członkowie grupy "rzadko rozmieszczeni"
- ❑ mało przepustowości

Działanie PIM w 2 scenariuszach:

Gęsty

- ❑ zakłada członkostwo rutera w grupie dopóki ruter nie utnie gałęzi
- ❑ *sterowana danymi*
budowa drzewa multicast (n.p., RPF)
- ❑ *rozrzutnie* używa przepustowości i zasobów ruterów spoza grupy

Rzadki:

- ❑ żeby uzyskać członkostwo w grupie, ruter musi sam się dołączyć
- ❑ *sterowana przez odbiorcę*
budowa drzewa multicast (n.p., drzewa ze wspólnym centrum)
- ❑ *oszczędnie* używa przepustowości i zasobów ruterów spoza grupy

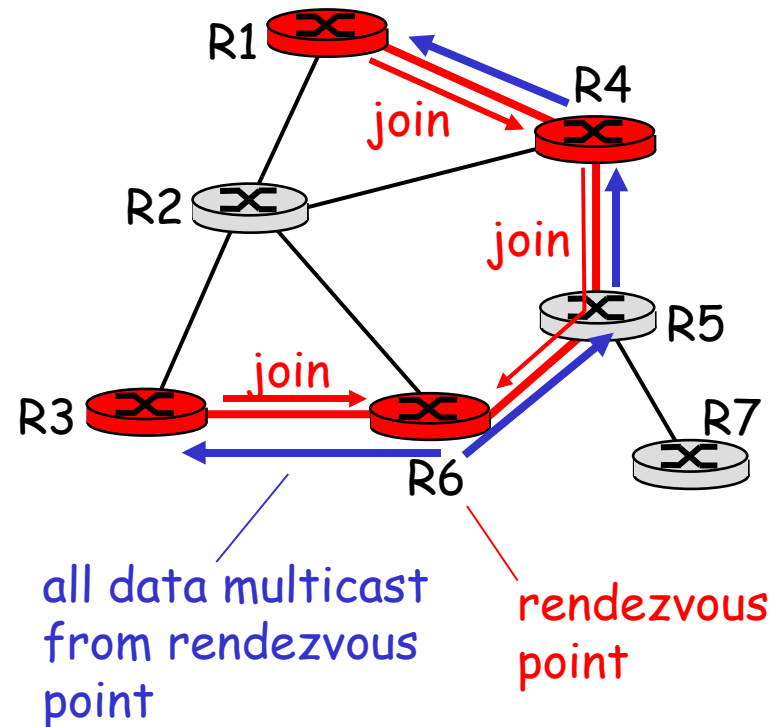
PIM- Dense Mode

flood-and-prune RPF, similar to DVMRP but

- ❑ underlying unicast protocol provides RPF info for incoming datagram
- ❑ less complicated (less efficient) downstream flood than DVMRP reduces reliance on underlying routing algorithm
- ❑ has protocol mechanism for router to detect it is a leaf-node router

PIM - Sparse Mode

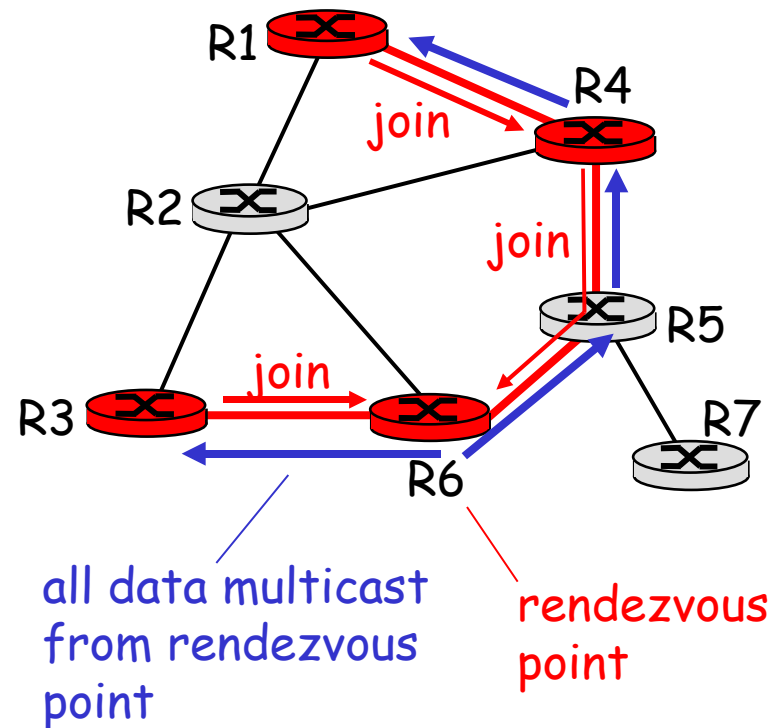
- center-based approach
- router sends *join* msg to rendezvous point (RP)
 - intermediate routers update state and forward *join*
- after joining via RP, router can switch to source-specific tree
 - increased performance: less concentration, shorter paths



PIM - Sparse Mode

sender(s):

- unicast data to RP, which distributes down RP-rooted tree
- RP can extend mcast tree upstream to source
- RP can send *stop* msg if no attached receivers
 - "no one is listening!"

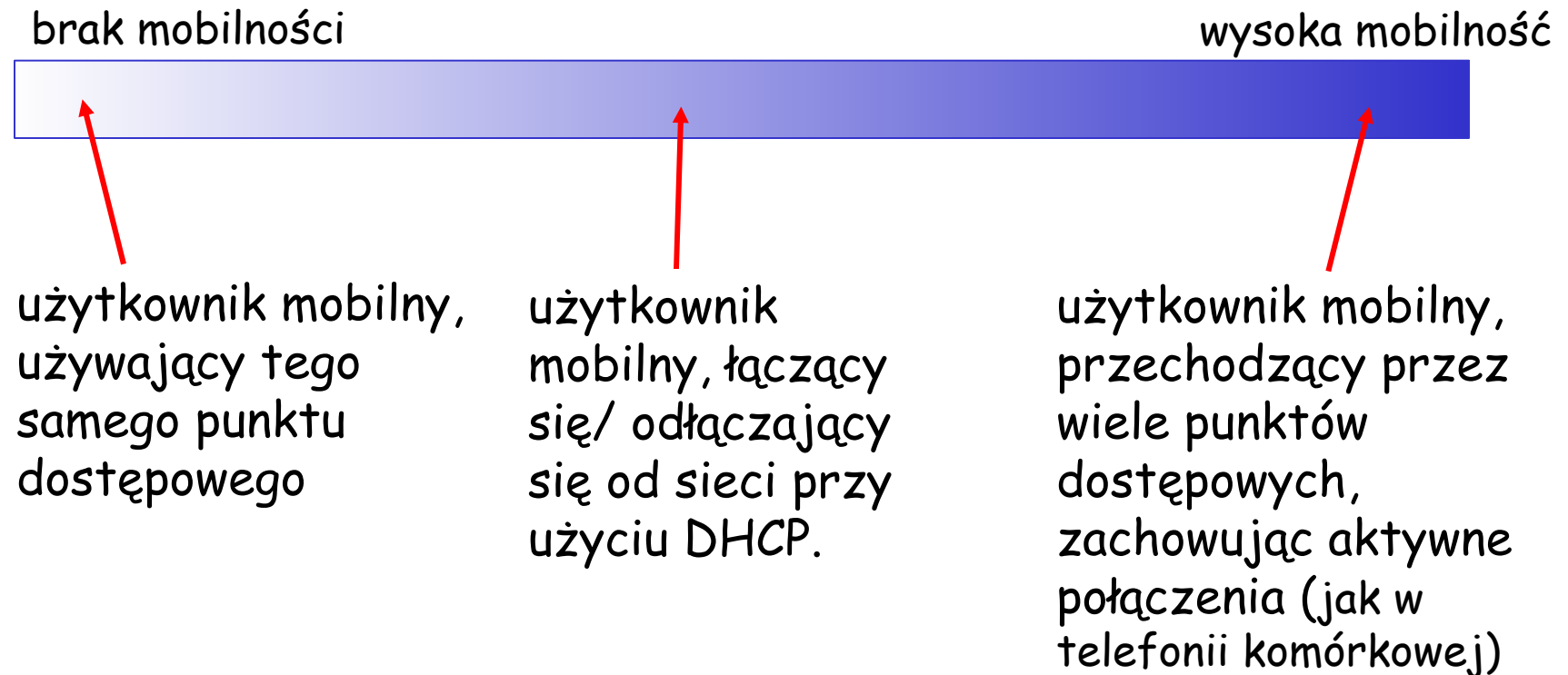


Mapa wykładu

- ❑ 4.1 Usługi warstwy sieci z komutacją pakietów
- ❑ 4.2 Zasady działania routingu
- ❑ 4.3 Routing hierarchiczny
- ❑ 4.4 Protokół Internetu (IP)
- ❑ 4.5 Routing w Internecie
- ❑ 4.6 Co jest w routerze
- ❑ 4.7 IPv6
- ❑ 4.8 Routing rozsiewczy (multicast)
- ❑ 4.9 Mobilność

Co to znaczy mobilność?

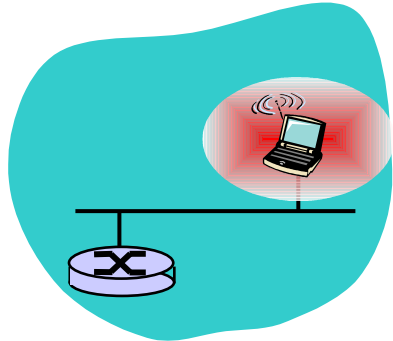
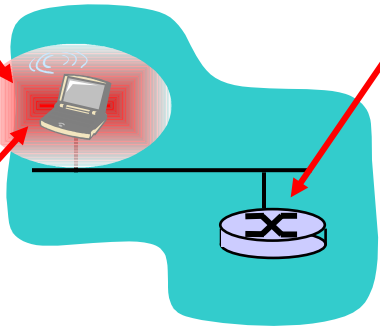
- stopnie mobilności, z punktu widzenia *sieci*:



Mobilność: pojęcia

sieć domowa: stały "dom"
mobilnego hosta
(n.p., 128.119.40/24)

agent domowy: jednostka
wykonująca funkcje mobilności
na rzecz mobilnego hosta, gdy
mobilny host jest poza domem



Staly adres: adres w
sieci domowej, zawsze
może być użyty do
kontaktu z mobilnym
hostem
n.p., 128.119.40.186

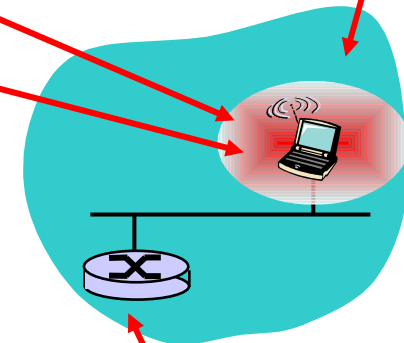
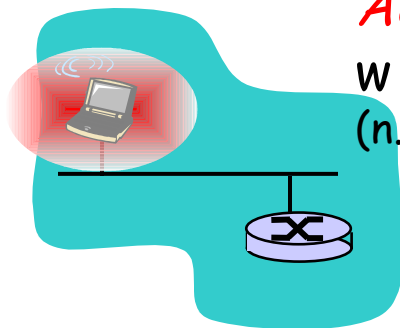


Mobilność: więcej pojęć

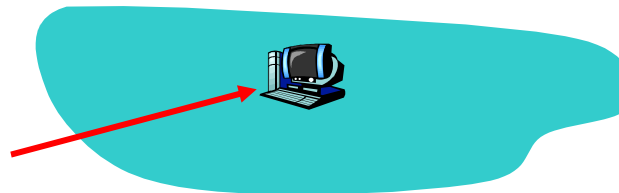
Stały adres: pozostaje stały
(n.p., 128.119.40.186)

sieć odwiedzana: sieć, w której aktualnie znajduje się mobilny host (n.p., 79.129.13/24)

Adres tymczasowy: adres w sieci odwiedzanej.
(n.p., 79,129.13.2)



korespondent: chce się porozumieć z mobilnym hostem



agent obcy: jednostka w sieci odwiedzanej, wykonująca funkcje mobilności na rzecz mobilnego hosta.

Jak wy kontaktujecie się z mobilnymi znajomymi:

Wyobraźmy sobie przyjaciela, który ciągle zmienia adres. Jak go znaleźć?

- przeszukać wszystkie książki telefoniczne?
- zadzwonić do jej rodziców?
- czekać, aż się odezwie i powie, gdzie jest?

Gdzie przeprowadziła się Alicja?



Mobilność: sposoby

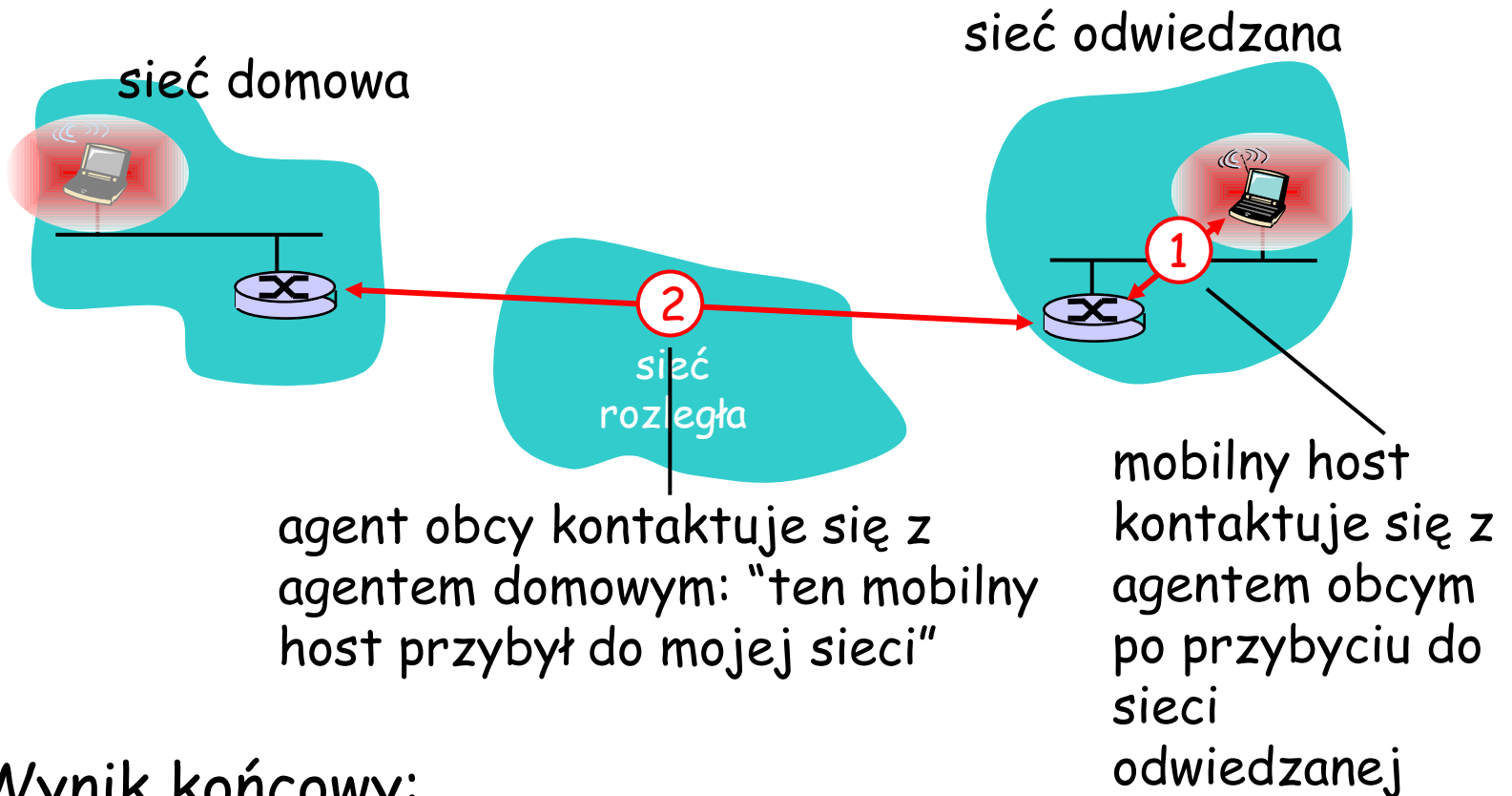
- *Niech się tym zajmie routing:* rutery ogłaszają stałe adresy mobilnych hostów w ich sieciach przez normalną wymianę tablic routingu.
 - tablice routingu wskazują, gdzie znajdują się mobilne hosty
 - nie potrzeba zmian w systemach końcowych
- *Niech się tym zajmą systemy końcowe:*
 - *pośredni routing:* komunikacja od korespondenta do mobilnego hosta przechodzi przez agenta domowego, potem jest przekazywana do mobilnego hosta
 - *bezpośredni routing:* korespondent otrzymuje adres tymczasowy mobilnego hosta, komunikuje się bezpośrednio z mobilnym hostem

Mobilność: sposoby

- *Niech się tym zajmie ruting:* rutery ogłaszają stałe adresy mobilnych hostów w ich tabelkach przez normalną wymianę tablic rutingu.
 - tablice rutingu nie skaluje się do milionów mobilnych hostów
 - nie potrzeba zmian w tabelkach końcowych
- *Niech się tym zajmą systemy końcowe:*
 - *pośredni ruting:* komunikacja od korespondenta do mobilnego hosta przechodzi przez agenta domowego, potem jest przekazywana do mobilnego hosta
 - *bezpośredni ruting:* korespondent otrzymuje adres tymczasowy mobilnego hosta, komunikuje się bezpośrednio z mobilnym hostem



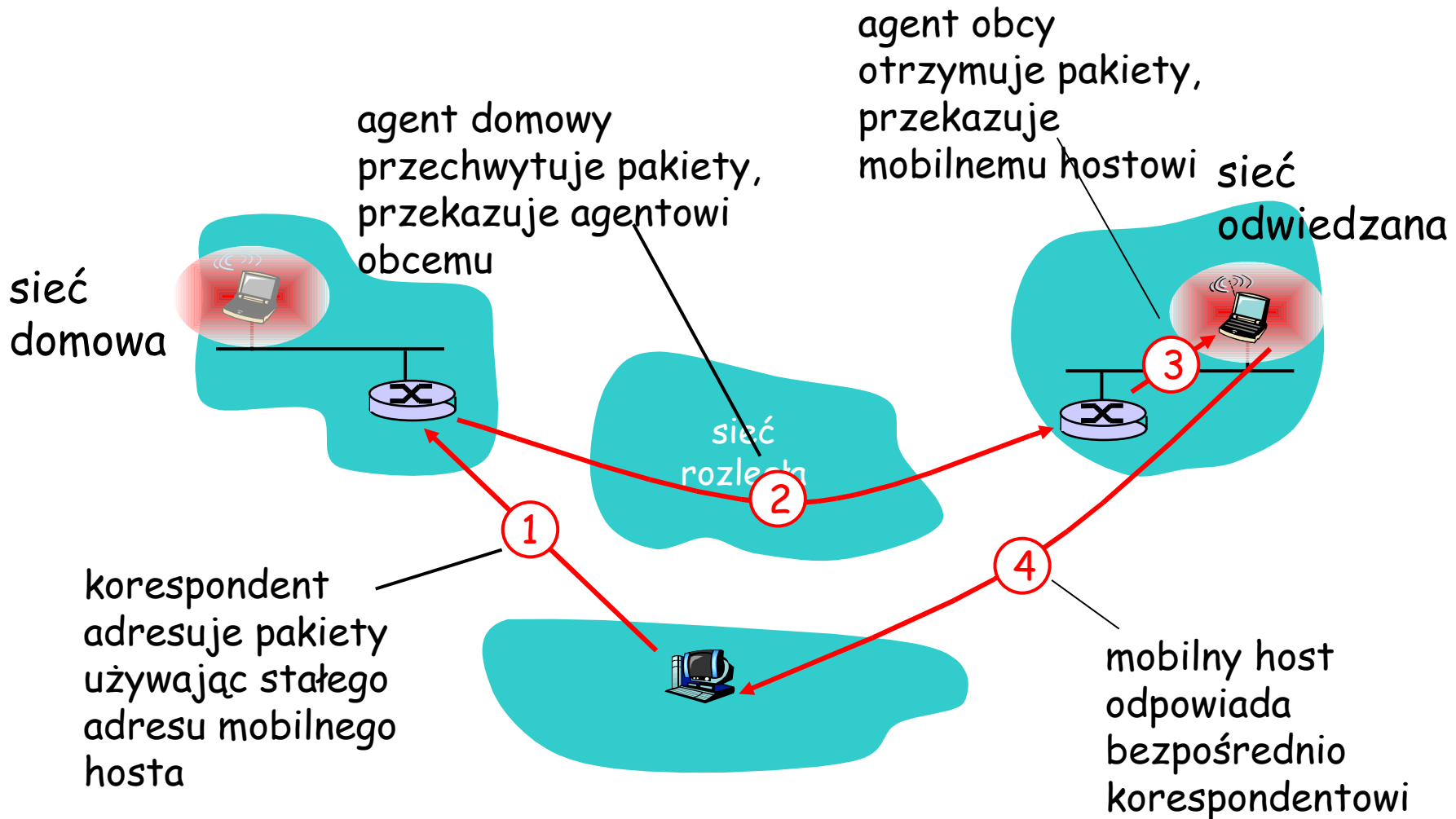
Mobilność: rejestracja



Wynik końcowy:

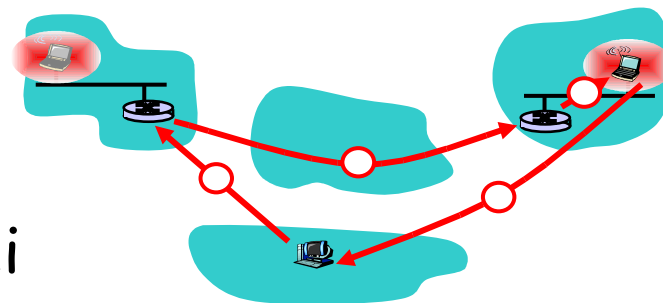
- Agent obcy wie o mobilnym gościu
- Agent domowy zna lokalizację mobilnego hosta

Mobilność przez ruting pośredni

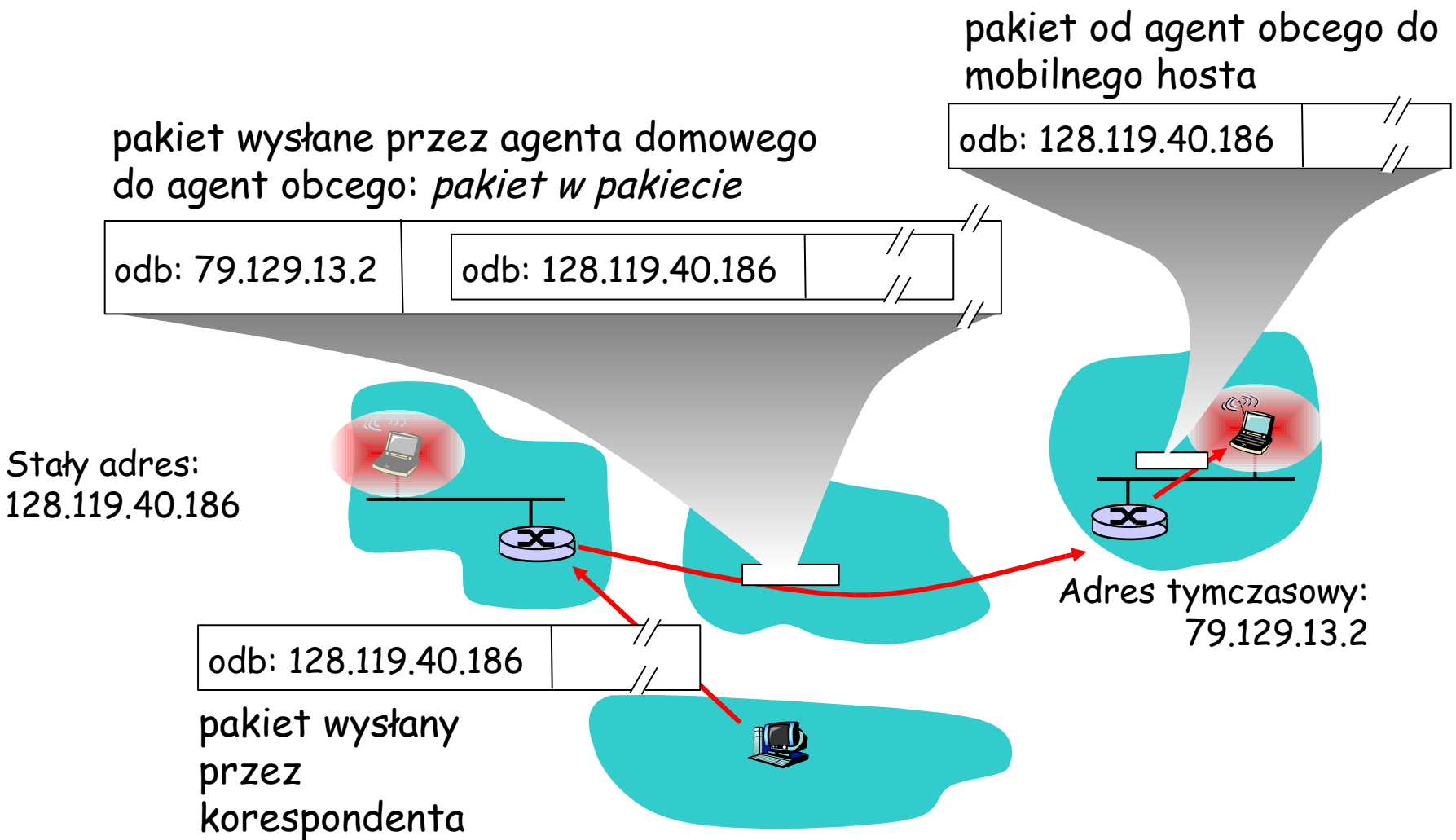


Ruting pośredni: komentarz

- ❑ Mobilny host używa dwóch adresów:
 - **stały adres**: używany przez korespondenta (stąd mobilna lokalizacja jest *przezroczysta* dla korespondenta)
 - **adres tymczasowy**: używany przez agenta domowego, żeby przekazać pakiety do mobilnego hosta
- ❑ funkcje agenta obcego mogą być wykonywane przez mobilnego hosta
- ❑ **ruting trójkątny**: korespondent-sieć domowa-mobilny host
 - niewydajne, jeśli korespondent i mobilny host są w tej samej sieci



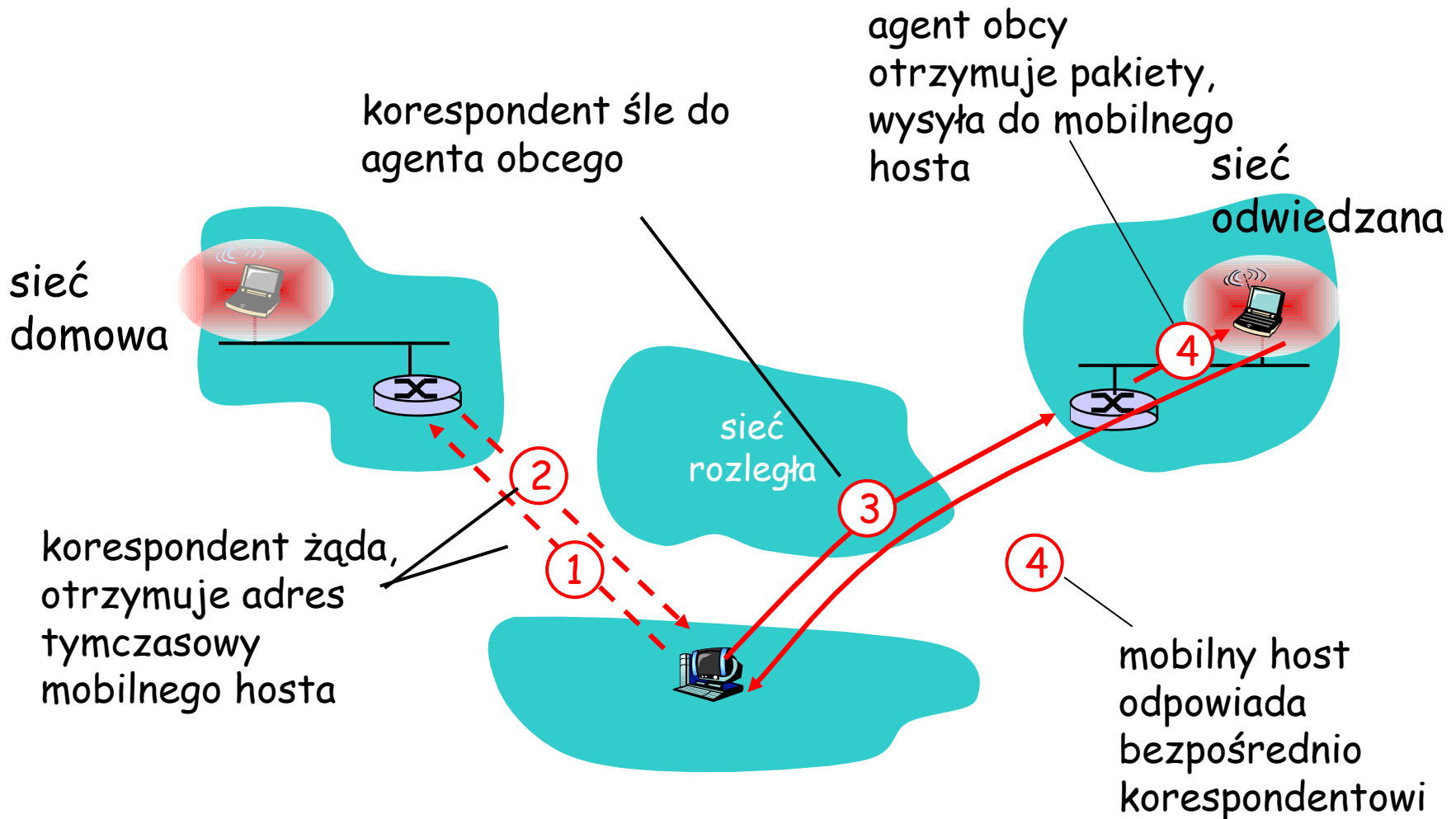
Przekazywanie pakietów do mobilnego hosta



Ruting pośredni: przenoszenie się do innych sieci

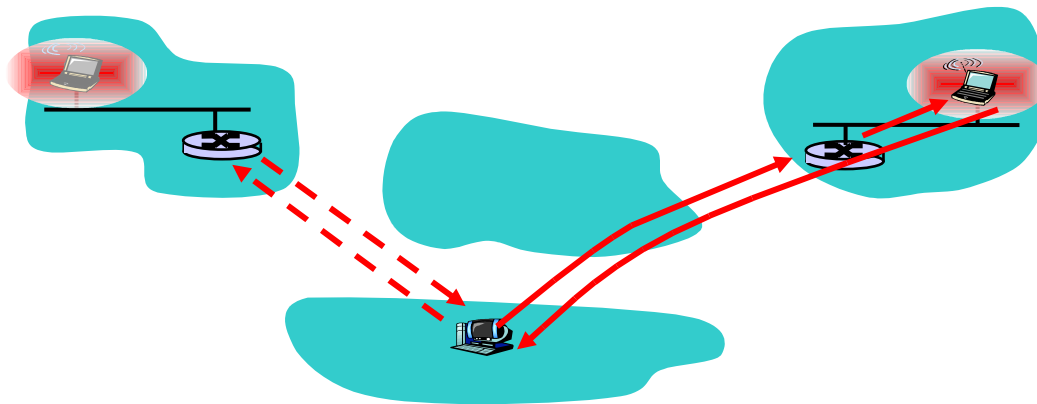
- założmy, że mobilny host przeniesie się do nowej sieci
 - zarejestruje się u nowego agenta obcego
 - nowy agent obcy zarejestruje się u agenta domowego
 - agent domowy zaktualizuje adres tymczasowy mobilnego hosta
 - pakiety są dalej przekazywane do mobilnego hosta (ale na nowy adres tymczasowy)
- Mobilność, zmiana sieci są przezroczyste:
aktywne połączenia mogą być utrzymane!

Mobilność przez ruting bezpośredni



Ruting bezpośredni: komentarz

- przewycięża problem routingu trójkątnego
- **nie jest przezroczysty dla korespondenta:**
korespondent musi poznać adres tymczasowy od agenta domowego
 - Co się stanie, jeśli mobilny host zmieni sieć?

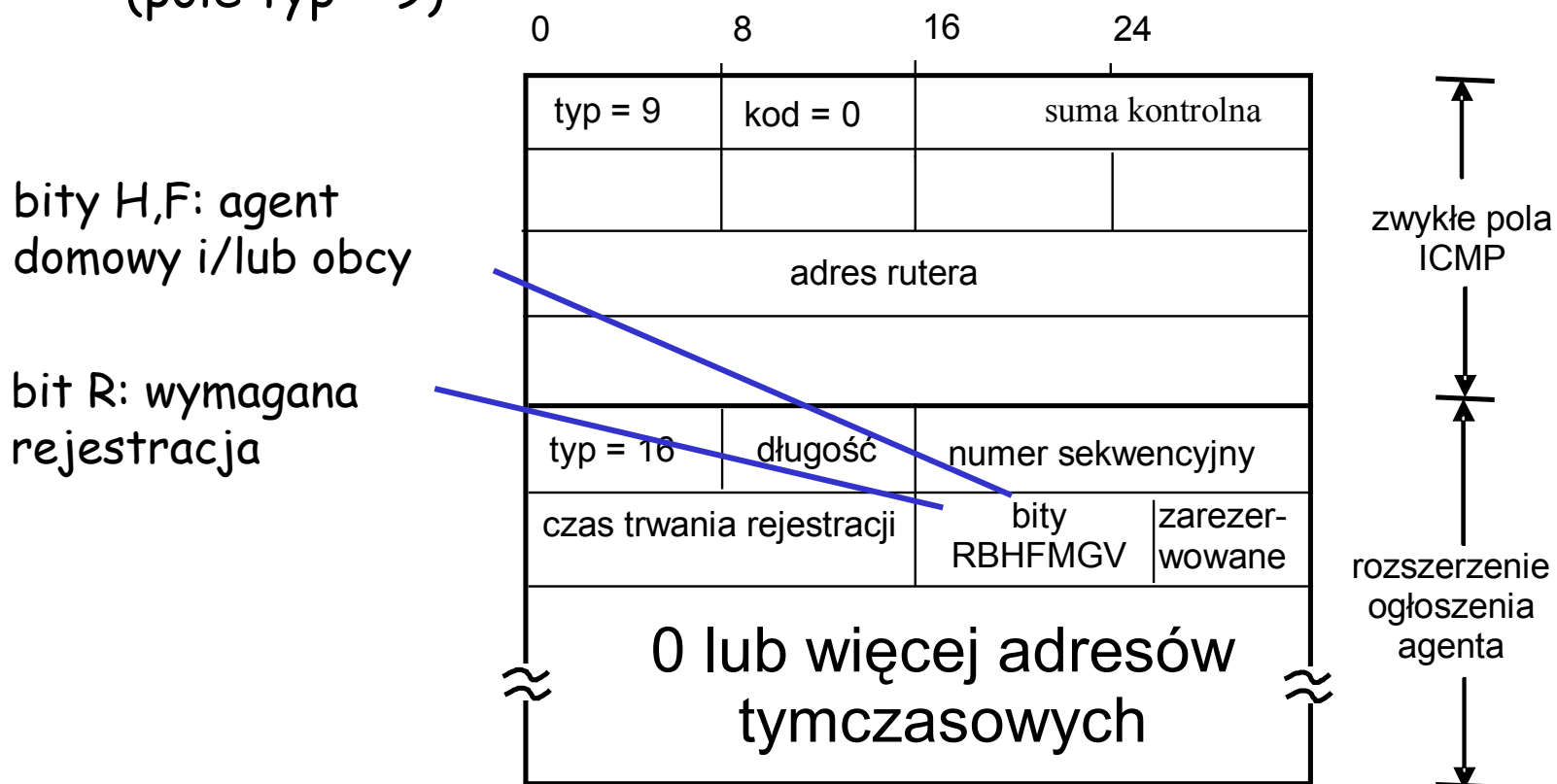


Mobile IP

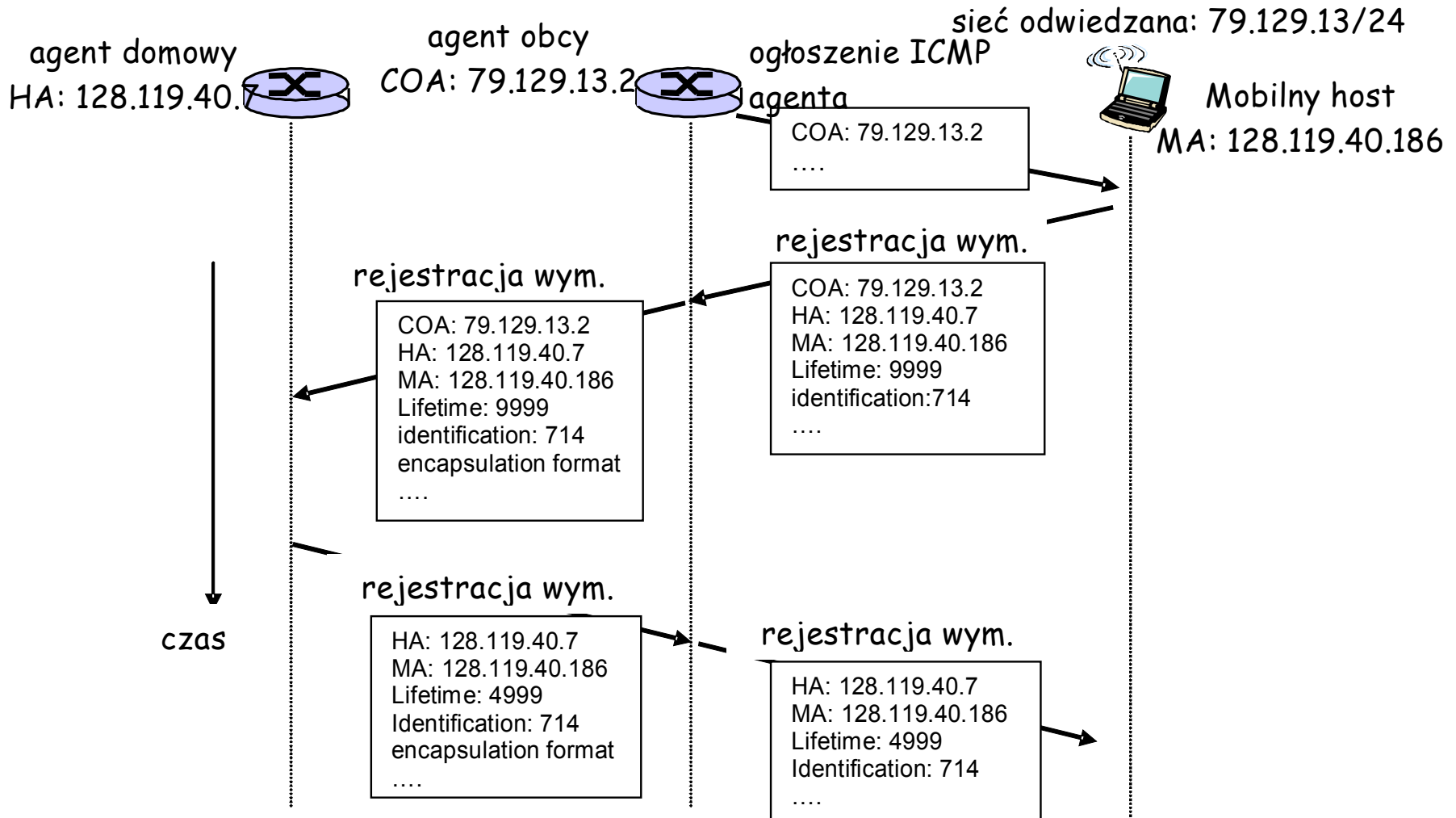
- RFC 3220
- ma wiele opisanych cech:
 - agenci domowi, agenci obcy, rejestracja u agenta obcego, adresy tymczasowe, enkapsulacja (pakiet w pakiecie)
- trzy części standardu:
 - odkrycie agenta
 - rejestracja u agenta domowego
 - pośredni ruting pakietów

Mobile IP: odkrycie agenta

- **ogłoszenie agenta:** agenci domowi/obcy ogłaszają usługi przez rozgłaszanie komunikatów ICMP (pole typ = 9)



Mobile IP: przykład rejestracji



Warstwa sieci: podsumowanie

Co przerobiliśmy:

- ❑ usługi warstwy sieci
- ❑ zasady działania routingu: stan łącza i wektor odległości
- ❑ routing hierarchiczny
- ❑ IP
- ❑ Protokoły routingu w Internecie: RIP, OSPF, BGP
- ❑ co jest w routerze?
- ❑ IPv6
- ❑ mobilność

Następna część:

Warstwa
Łącza Danych!