



AKADEMIA GÓRNICZO-HUTNICZA
IM. STANISŁAWA STASZICA W KRAKOWIE

Sieci komputerowe

Routing

dr inż. Andrzej Opaliński

Plan wykładu

- **Wprowadzenie**
- **Urządzenia**
- **Tablice routingu**
- **Typy protokołów**



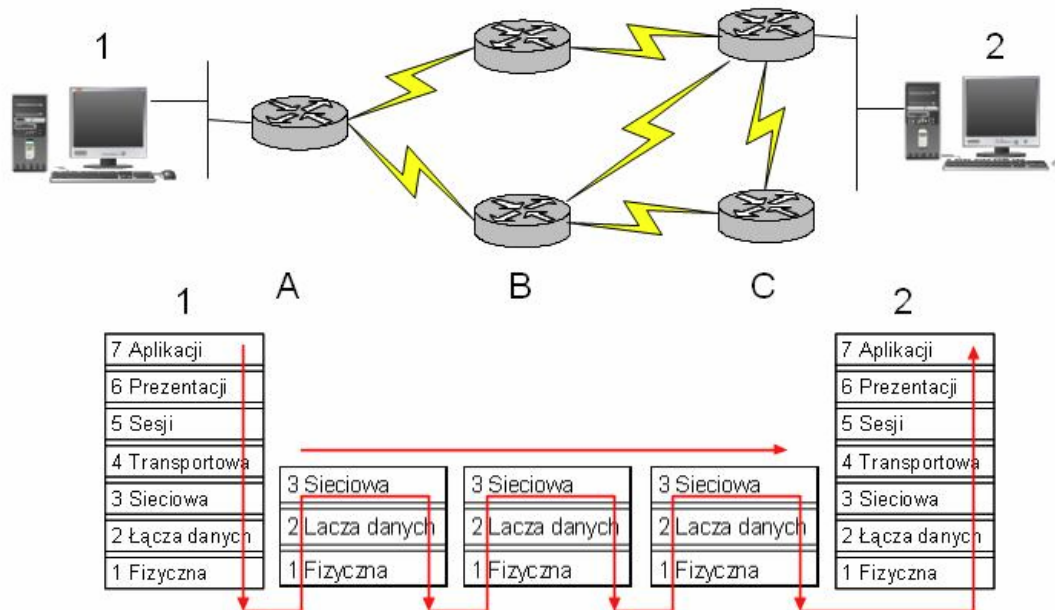
Wstęp

- Routing
 - Trasowanie (pl)
 - Algorytm
 - Definicja: „algorytm wyznaczania trasy i wysłanie nią pakietu”
- Spolszczona wymowa
 - mechanizm - routing (ang.), ruting (pl_ang), trasowanie
 - urządzenie - router (ang.), ruter (pl_ang), trasownik



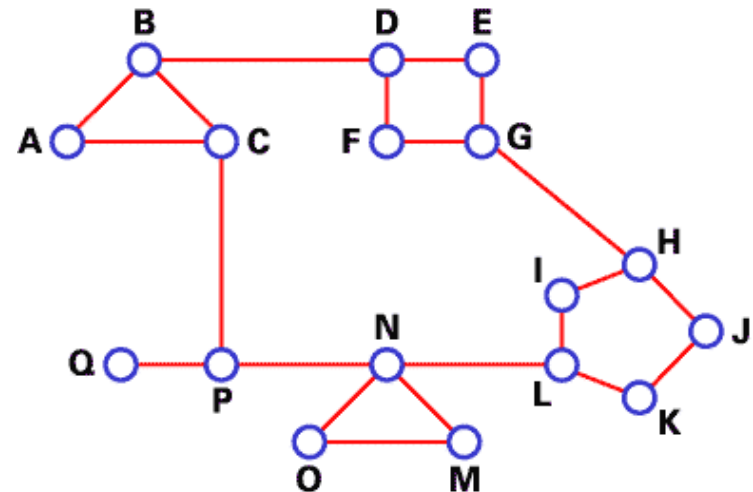
Router i jego zadania

- Router
 - Komputer z odpowiednim oprogramowaniem
 - Najczęściej – specjalistyczne urządzenia z dedykowanym OS
 - Przesyłanie pakietów pomiędzy swoimi interfejsami
 - Obsługuje ruch pakietów w warstwie sieci modelu ISO/OSI
 - Umożliwia filtrowanie pakietów
 - Mechanizmy efektywnego i niezawodnego przesyłu pakietów w sieci



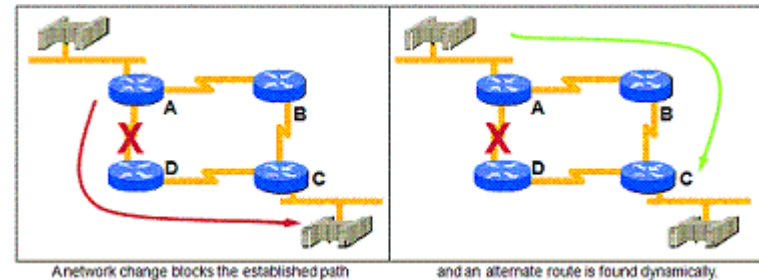
Routing pakietów - protokoły

- Protokoły routowalne
 - Zawierają informacje identyfikujące nadawcę i adresata
 - IP
 - Apple Talk
 - IPX
- Protokoły routujące
 - Obsługują proces przesyłu pakietu między urządzeniami sieciowymi
 - Wybór odpowiedniej trasy dla pakietu
 - Komunikacja między routerami – wymiana informacji o trasach

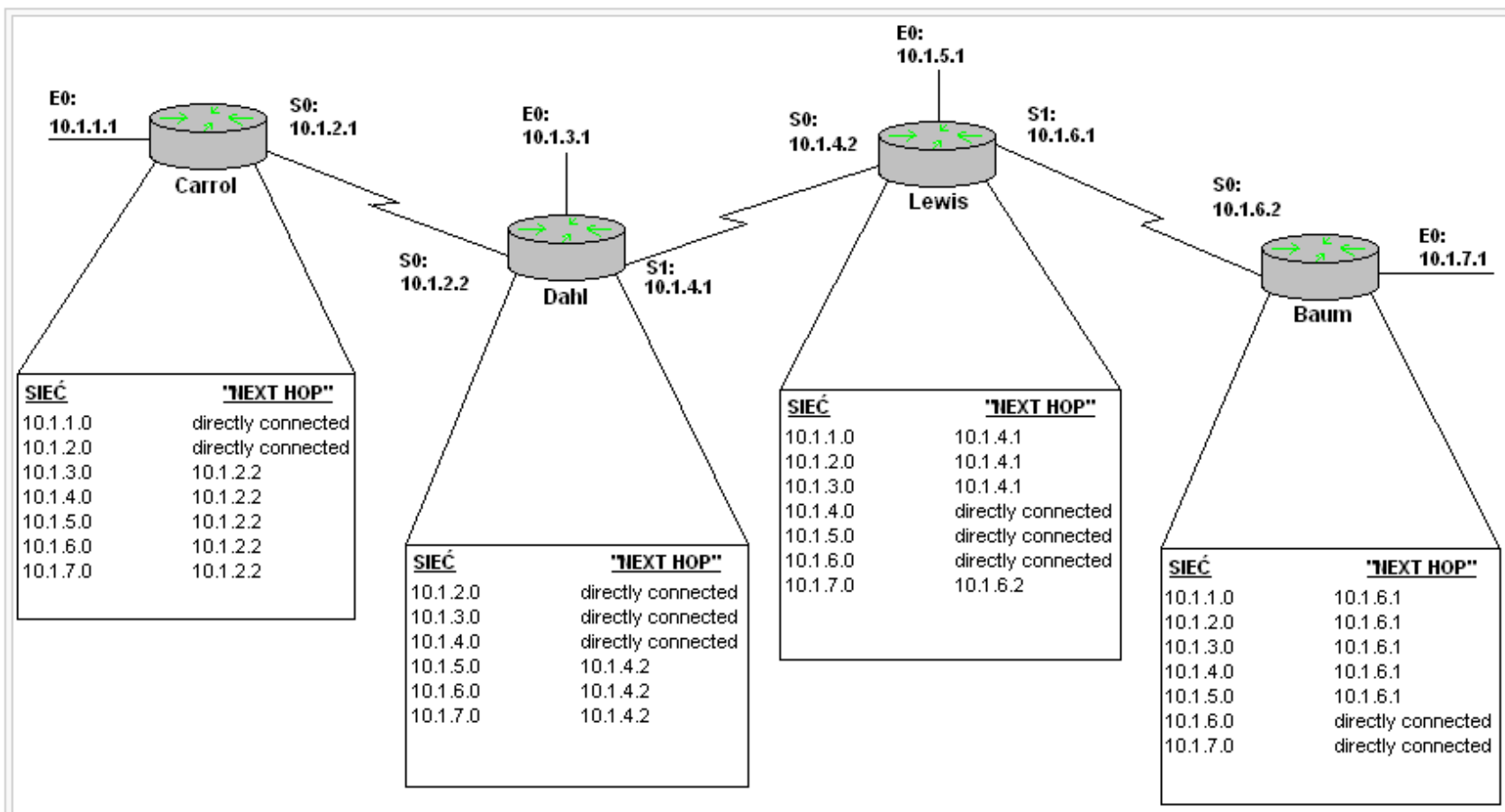


Typy routingu

- Routing statyczny
 - Wpisy dotyczące tras dokonywane „ręcznie” przez administratora systemu
 - Oparte o wiedzę i znajomość topologii sieci administratora
- Routing dynamiczny
 - Trasy ustalane w oparciu o protokoły routingu
 - Informacja o topologii sieci
 - Informacja o zmianie tras



Tablica routingu - schemat



Rysunek 1

E0 – interfejs Ethernet0

S0 – interfejs Serial0

S1 – interfejs Serial1

Tablica routingu - praktyka

```
vyatta@R1:~$ show ip route
Codes: K - kernel route, C - connected, S - static, R - RIP, O - OSPF,
       I - ISIS, B - BGP, > - selected route, * - FIB route

S>* 0.0.0.0/0 [1/0] via 192.168.223.2, eth0
O 10.50.0.0/28 [110/10] is directly connected, eth1, 00:07:03
C>* 10.50.0.0/28 is directly connected, eth1
O>* 10.50.10.0/28 [110/20] via 10.50.0.2, eth1, 00:05:40
O>* 10.50.20.0/28 [110/20] via 10.50.30.1, eth2, 00:03:47
O 10.50.30.0/28 [110/10] is directly connected, eth2, 00:06:57
C>* 10.50.30.0/28 is directly connected, eth2
C>* 127.0.0.0/8 is directly connected, lo
O>* 192.168.0.0/24 [110/30] via 10.50.0.2, eth1, 00:03:40
      *
      via 10.50.30.1, eth2, 00:03:40
C>* 192.168.223.0/24 is directly connected, eth0
vyatta@R1:~$ _
```

Routing Table: IPv4

Destination	Gateway	Flags	Ref	Use	Interface
194.29.160.1	194.29.144.1	UGH	1	354	
194.29.150.0	194.29.144.1	UG	1	0	
194.29.149.0	194.29.144.1	UG	1	0	
194.29.148.0	194.29.144.1	UG	1	1	
194.29.147.0	194.29.144.1	UG	1	0	
194.29.146.0	194.29.144.1	UG	1	423	
194.29.145.0	194.29.145.18	U	1	3059	hme1
194.29.144.0	194.29.144.18	U	1	2958	hme0
192.168.30.0	192.168.30.2	U	1	12	le0
10.40.192.0	194.29.145.12	UG	1	3	
10.44.0.0	194.29.144.1	UG	1	713	
224.0.0.0	194.29.144.18	U	1	0	hme0
127.0.0.1	127.0.0.1	UH	3	38	lo0

Tabela tras IPv4

```
=====
Aktywne trasy:
Miejsce docelowe w sieci  Maska sieci  Brama  Interfejs  Metryka
0.0.0.0  0.0.0.0  On-link  37.209.141.91  31
0.0.0.0  0.0.0.0  On-link  192.168.1.1  4491
0.0.0.0  0.0.0.0  192.168.1.1  192.168.1.1  4491
37.209.141.91  255.255.255.255  On-link  37.209.141.91  286
127.0.0.0  255.0.0.0  On-link  127.0.0.1  4531
127.0.0.1  255.255.255.255  On-link  127.0.0.1  4531
127.255.255.255  255.255.255.255  On-link  127.0.0.1  4531
192.168.1.0  255.255.255.0  On-link  192.168.1.1  4491
192.168.1.1  255.255.255.255  On-link  192.168.1.1  4491
192.168.1.255  255.255.255.255  On-link  192.168.1.1  4491
224.0.0.0  240.0.0.0  On-link  127.0.0.1  4531
224.0.0.0  240.0.0.0  On-link  192.168.1.1  4492
224.0.0.0  240.0.0.0  On-link  37.209.141.91  31
255.255.255.255  255.255.255.255  On-link  127.0.0.1  4531
255.255.255.255  255.255.255.255  On-link  192.168.1.1  4491
255.255.255.255  255.255.255.255  On-link  37.209.141.91  286
=====
Trasy trwałe:
Adres sieciowy  Maska sieci  Adres bramy  Domyślne  Metryka
0.0.0.0  0.0.0.0  192.168.1.1  Domyślne
=====
```

- Typ protokołu
- Odniesienie do punktu docelowego
- Metryka routingu
- Interfejs wyjściowy
- Czas wygaśnięcia/aktualizacji
- Flagi
 - U - działająca (UP)
 - G - prowadzi przez bramę
 - H - trasa do hosta (nie do sieci)

Routing statyczny

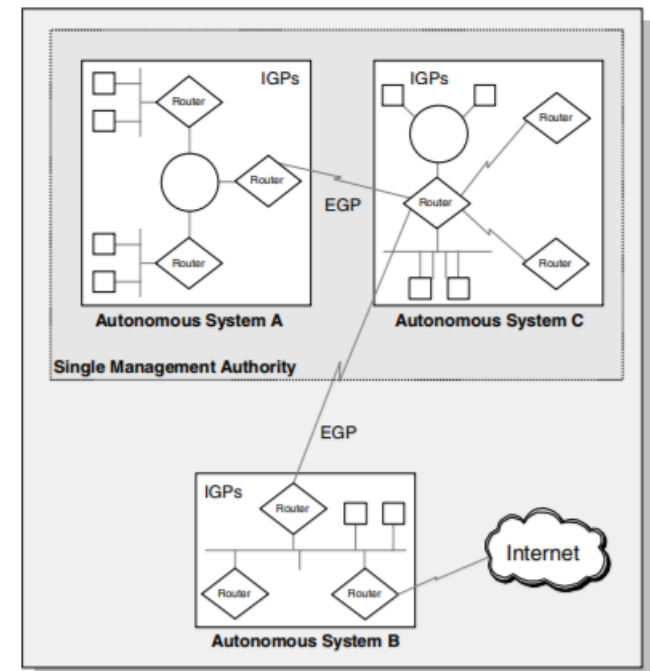
- Wpisany przez administratora systemu
- Stosowany dla nieskomplikowanych sieci
- Czasami stosowany razem z routingiem dynamicznym jako trasy zapasowe (z wyższymi metrykami)

- Zalety
 - Brak komunikacji w sieci związanej z dynamiczną konfiguracją routingu
- Wady
 - Konieczność ręcznej ingerencji w przypadku awarii lub modyfikacji sieci

- Polecenia (unix):
 - `% route add <dest> <host>`
 - `% route add 149.156.110.130 149.156.112.1`
 - `% route add 149.156.51.0 149.156.112.1`
 - `% route add default 149.156.112.1`

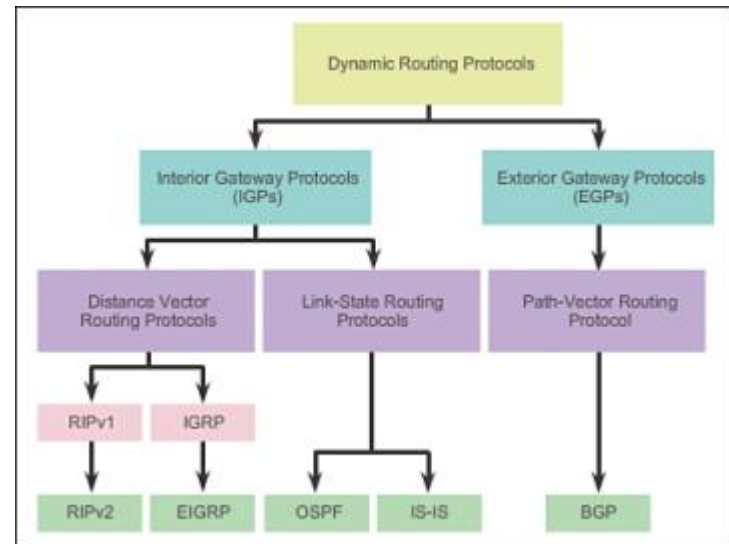
Routing dynamiczny

- „System autonomiczny” (AS – Autonomous system) (RFC 1771, 1930) – zbiór adresów sieci IP pod wspólną kontrolą administracyjną, w którym utrzymywany jest spójny schemat trasowania (routing policy).
- Podział ze względu na zasięg działania
 - Protokoły wewnętrzne – IGP (Interior Gateway Protocol)
 - RIPv1/v2 (Routing Information Protocol)
 - OSPF (Open Shortest Path First)
 - E/IGRP (Enhanced/Interior Gateway Routing Protocol)
 - Protokoły zewnętrzne – EGP (Exterior Gateway Protocol)
 - BGP (Border Gateway Protocol)
 - EGP (Exterior Gateway Protocol) obecnie przestarzały
- Numery AS
 - Do 2007 roku – 2 bajty (65 536 systemów)
 - Od 2007 roku – 4 bajty
 - Nadawane przez ICANN
 - Aktualnie ok 40 tys. numerów AS
 - W Polsce około tysięcy
 - <http://www.cidr-report.org/as2.0/>



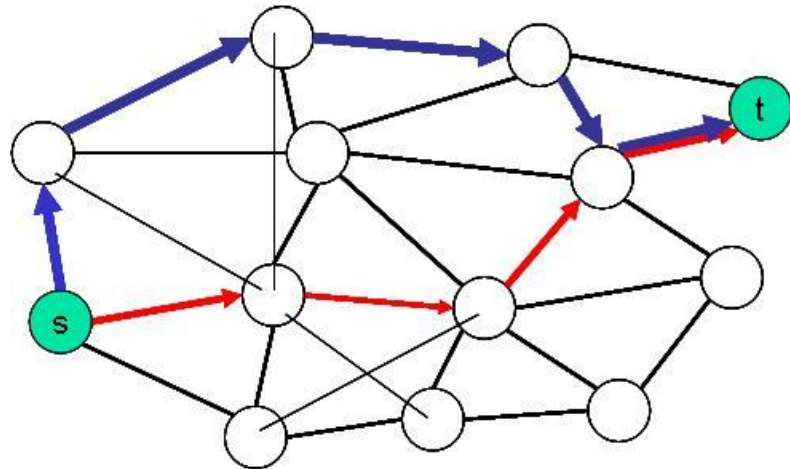
Protokoły routingu dynamicznego

- Otwarte
 - RIP (Routing Information Protocol)
 - OSPF (Open Shortest Path First)
 - BGP (Border Gateway Protocol)
- Własnościowe (CISCO)
 - IGRP (Interior Gateway Routing Protocol)
 - EIGRP (Enhanced IGRP)



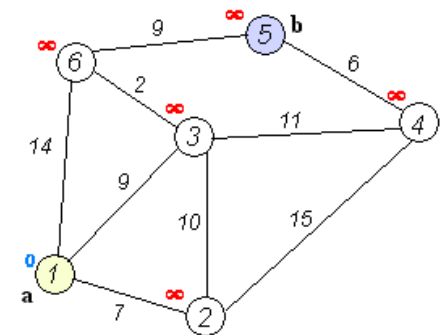
Protokoły routingu - wymagania

- Optymalizacja – wybór ścieżek o najlepszych metrykach
- Odporność na błędy – obsługa awarii łączy
- Szybka zbieżność – propagacja informacji o zmianie trasy pośród innych routerów
- Elastyczność – uwzględnienie urządzeń o różnych parametrach, zmienne warunki środowiska (przepustowość, opóźnienia)
- Prostota i niski narzut – złożoność obliczeniowa, obciążenie sprzętu, duże sieci



Routing dynamiczny

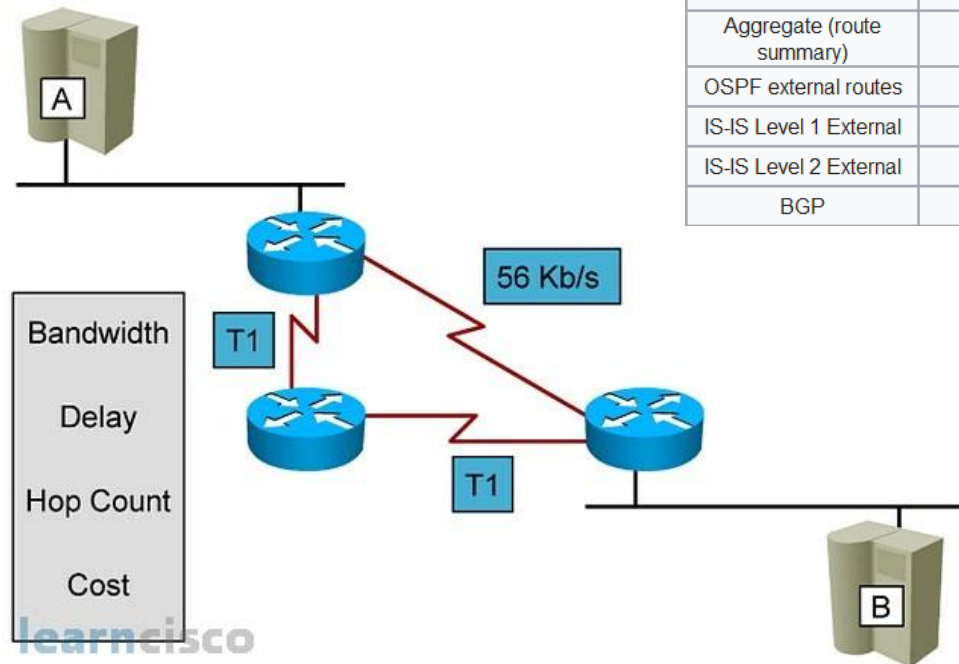
- Podział ze względu na sposób wyznaczania trasy
 - Protokoły wektora odległości (distance vector)
 - Routery wymieniają się gotowymi trasami
 - Przesyłają informację o sieci docelowej wraz z kosztem dotarcia do niej (metryką)
 - Metryka
 - Najprostsza - liczba przejść przez kolejne routery do punktu docelowego
 - Bardziej zaawansowane – przepustowość, koszt, czas dostępu itd.
 - Zaleta – stosunkowo prosty algorytm obliczania ścieżki
 - Wada – droga najkrótsza (ilość przeskoków) nie musi być najszybsza (czas dotarcia)
 - Protokoły stanu łącza (link state)
 - Oparte o algorytm Dijkstra
 - Uwzględniają „koszt” przeskoku
 - Zaleta – wyznaczają trasę bardziej optymalną niż algorytmy distance-vector
 - Wada - bardziej złożone obliczeniowo
 - Routery znają całą topologię i wymieniają się informacjami o stanie łącza (samodzielne przeliczanie trasy)
 - Protokoły hybrydowe (łączy cechy dwóch powyższych)
 - Protokoły path-vector
 - Opisują trasy przy użyciu atrybutów



Metryki routingu

- Metryka routingu
 - miara opisująca „koszt” przesłania pakietu daną trasą
 - abstrakcyjna ilościowa wartość wskazująca odległość do danej sieci
 - Wartość liczbowa - „im mniej tym lepiej”

- Szerokość pasma
- Opóźnienie
- Obciążenie
- niezawodność
- Liczba przeskoków
- Impulsy zegarowe
- Koszt



Routing Protocol	Administrative distance
Directly connected interface	0
Static routes	5
OSPF internal routes	10
IS-IS Level 1 Internal	15
IS-IS Level 2 Internal	18
RIP	100
Aggregate (route summary)	130
OSPF external routes	150
IS-IS Level 1 External	160
IS-IS Level 2 External	165
BGP	170

Protokół RIPv1

- RIP – Routing Information Protocol – Protokół informowania o trasach, RFC 1058
- Protokół bram wewnętrznych (IGP), w ramach jednego AS
- Rodzina protokołów opartych o wektor odległości (distance vector)
- Aktualizacja tras:
 - Rozgłaszana na adres broadcastowy
 - Wysyłana co 30 sekund
- Metryka - liczba przeskoków
- Maksymalna liczba przeskoków na trasie – 15 (dla >16 przeskoków – adres nieosiągalny)
- Wady:
 - Nie wysyła informacji o masce podsieci
 - Nie obsługuje VLSM i CIDR
 - Nie obsługuje uwierzytelniania
- Format pakietu
 - Funkcja pakietu (request/response/...)
 - Wersja protokołu RIP
 - AFI – wersja protokołu routowalnego – 2 dla IP
 - adres IP sieci
 - metryka

0	8	16	31
command (1)	version (1)	must be zero (2)	
address family identifier (2)		must be zero (2)	
IP address (4)			
must be zero (4)			
must be zero (4)			
metric (4)			

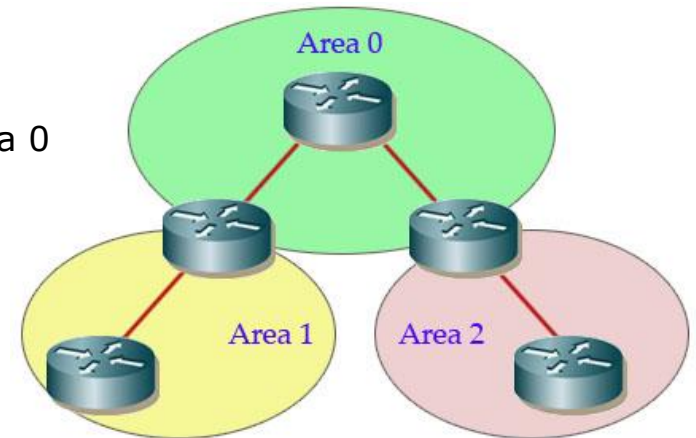
Protokół RIPv2

- Opracowany na początku lat 90tych (RFC 1723)
- Obsługuje routing bezklasowy (VLSM)
- Przesyła informacje o masce podsieci
- Wysyła informacje uwierzytelniające
- Informacje wysyła na adres multicastowy (224.0.0.9)
- Przenosi informacje uzyskane za pomocą innych protokołów z sieci zewnętrznej
- Pola ramki: (dodatkowe)
 - Route tag – informacja z routera wewnętrznego czy zewnętrznego
 - IP subnet mask – dla IP – maska podsieci
 - Next hop – adres routera następnego skoku

0	8	16	31
command (1)		version (1)	
address family identifier (2)		route Tag (2)	
IP address (4)			
subnet mask (4)			
next hop (4)			
metric (4)			

Protokół OSPF

- Open Shortest Path First – tł.pl: „pierwszeństwo ma najkrótsza ścieżka”
- RFC 2322 dla IPv 4 (1998r.)
- Cechy
 - Trasowanie najmniejszym kosztem
 - Dobra skalowalność (w przeciwieństwie do RIP)
 - Wybór optymalnych ścieżek (trasowanie wielościeżkowe)
 - Szybka zbieżność
 - Równoważenie obciążenia
 - Brak ograniczenia skoków do 15
 - Przeznaczony do sieci zawierających do 500 routerów w obszarze trasowania
- Hierarchiczna struktura sieci
 - Centralny obszar zerowy – Area0
 - Obszary podrzędne
 - Wymiana tras pomiędzy obszarami zawsze poprzez Area 0 (brak pętli)
- wewnątrz obszaru – link state - (inf. o stanie łącz)
- między obszarami – distance vector (gotowe trasy) (wymieniane przez routery brzegowe)



Protokół IGRP

- Interior Gateway Routing Protocol – protokół trasowania bramy wewnętrznej
- Cechy
 - Algorytm typu distance-vector
 - Metryka wykorzystywane przez routery do wyboru ścieżki
 - Szerokość pasma
 - Obciążenie
 - Opóźnienie
 - Niezawodność
 - Rozgłaszanie informacji o dostępności tras (wraz z parametrami łącz)
 - Cykliczne – co 90 sekund
 - Po zmianie stanu sieci
 - Protokół własnościowy (Cisco)
 - Urządzenia cisco
 - Licencja
 - Brak wsparcia dla VLSM (zastąpiony przez EIGRP)

```
RouterA# show interfaces Serial0
Serial0 is up, line protocol is up
Hardware is QUICC Serial
Internet address is 10.0.0.5/30
MTU 1500 bytes, BW 1544 Kbit, DLY 20000 usec,
    rely 255/255, load 120/255
Encapsulation PPP, loopback not set
Keepalive set (10 sec)
reliability      ...      load
bandwidth
delay
```

Protokół EIGRP

- Enhanced Interior Gateway Routing Protocol
- Hybrydowy protokół trasowania
 - Wymienia informację jedynie z trasą i metryką
 - Metrykę oblicza w oparciu o dodatkowe parametry
- Protokół własnościowy (Cisco) – sprzęt, licencja
- Cechy
 - Mechanizm przeliczania tras: maszyna DUAL FSM (Diffused Update Algorithm Finite State Machine)
 - Złożona metryka (Composite metric) uwzględniająca
 - Przepustowość
 - Obciążenie
 - Opóźnienie
 - Niezawodność
 - MTU
 - Liczbę przeskoków
 - Używany w sieciach do 50 routerów
 - Płaska struktura sieci z podziałem na systemy autonomiczne
 - Wykorzystuje protokół RTP do transportu pakietów
 - Łatwa konfiguracja, obsługa VLSM, szybka zbieżność

```

router1# show ip eigrp topology 10.0.0.1[12] 255.255.255.255
IP-EIGRP topology entry for 10.0.0.1/32
State is Passive, Query origin flag is 1, 1 Successor(s), FD is 40640000
Routing Descriptor Blocks:
 10.0.0.1 (Serial0/0/0), from 10.0.0.1, Send flag is 0x0
   Composite metric is (40640000/128256), Route is Internal
   Vector metric:
     Minimum bandwidth is 64 Kbit
     Total delay is 25000 microseconds
     Reliability is 255/255
     Load is 197/255
     Minimum MTU is 576
     Hop count is 2
  
```

$$\left[\left(K_1 \cdot \text{Bandwidth}_E + \frac{K_2 \cdot \text{Bandwidth}_E}{256 - \text{Load}} + K_3 \cdot \text{Delay}_E \right) \cdot \frac{K_5}{K_4 + \text{Reliability}} \right] \cdot 256$$

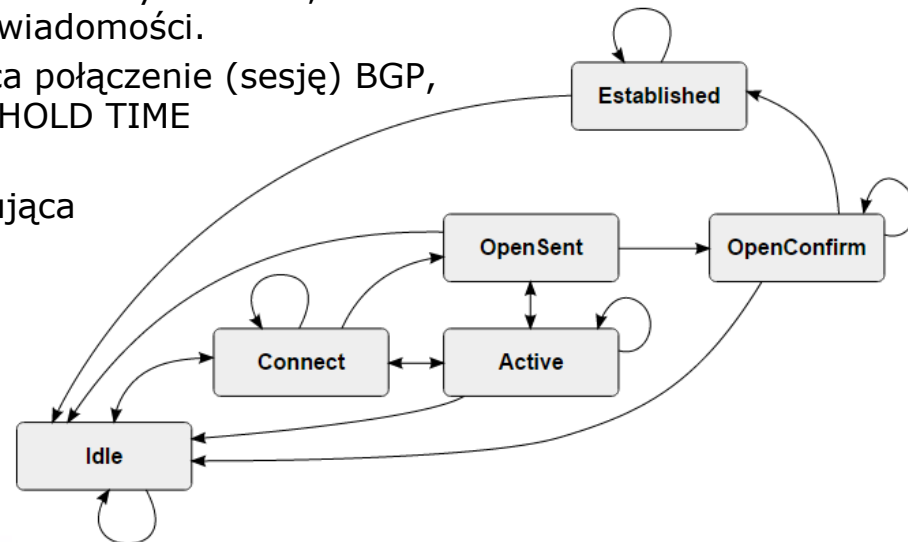
Protokół EIGRP – c.d.

- Przykładowa konfiguracja sieci
- Wykorzystuje dodatkowe 2 tablice:
 - Tablice sąsiadów –
adresy IP sąsiadów (routerów) dostępnych bezpośrednio z danego routera)
(pośrednio - routery dostępne poprzez inne routery)
 - Tablica topologii
trasy uzyskane z tablic routingu od sąsiadów (za pomocą EIGRP)
metryki dla tych tras
- Okresowo sprawdza dostępność tras
- Przy aktualizacji nie transmituje całej tablicy routingu tylko zmiany
- Wymiana informacji jedynie przy zmianach (pełna tablica jedynie na początku)
- Wspiera load-ballancing
- Autentyfikacja MD5 i SHA-2 pomiędzy routerami
- Typy komunikatów: *Hello, Update, Query, Reply, Acknowledgement*
- Wartości metryk komunikatów EIGRP
 - Z tego samego AS: 90
 - Spoza AS: 170

```
Router# configure terminal
Router(config)# router eigrp 1
Router(config-router)# network 10.201.96.0 0.0.15.255
Router(config-router)# no auto-summary
Router(config-router)# exit
```

Protokół BGP

- Border Gateway Protocol (RFC 1771, 1772, 1773, 1774, 1665)
- Protokół z rodziny distance - vector
- Wymienia informacje pomiędzy różnymi AS
- Komunikaty (zestawienie sesji i wymiana informacji)
 - 1 - OPEN - wiadomość rozpoczynająca zestawienie sesji BGP.
Zawiera wersję protokołu BGP, nr systemu autonomicznego AS, HOLD TIME (jak długo ma być podtrzymana sesja BGP, jeśli nie nadejdzie wiadomość KEEPALIVE lub UPDATE), identyfikator routera BGP (RouterID) oraz opcjonalne parametry wykorzystywane przy zestawieniu sesji BGP.
 - 2 - UPDATE - wiadomość przynosząca informacje o routingu.
Składa się z trzech części: informacji o nieaktualnych trasach, atrybutów ścieżki i NLRI (Network Layer Reachability Information), czyli informacje o dostępnych sieciach.
 - 3 - NOTIFICATION - wiadomość wysyłana za każdym razem, gdy wystąpi jakikolwiek błąd w nagłówku wiadomości.
 - 4 - KEEPALIVE - wiadomość podtrzymująca połączenie (sesję) BGP, wykorzystuje się ją do zerowania licznika HOLD TIME w przypadku braku wiadomości UPDATE.
 - 5 - ROUTE-REFRESH - wiadomość obsługująca dynamiczne żądania odświeżenia tras.
- Stosunkowo długi czas zbieżności
- Metryki zastąpione atrybutami
 - Pochodzenie ścieżki
 - Ścieżka
 - Adres następnego skoku



Protokół BGP – przykładowa konfiguracja

- Wymiana komunikatów na porcie 179 protokołu TCP (niezawodność)
(niezbędne zestawienie sesji między routerami)
- Typy routingu
 - EBGp (exterior) – sesją między dwoma AS
 - IBGP (interior) – sesja między dwoma routerami brzegowymi jednego AS
- Po IBGP nie przesyłamy tras o których dowiedzieliśmy się z IBGP (zapobiegane pętlom)
- Administrative distance (stopień zaufania, mniej->lepiej)
 - 20 – EBGp
 - 200 - IBGP

```

RTA#
router bgp 100
neighbor 129.213.1.1 remote-as 200

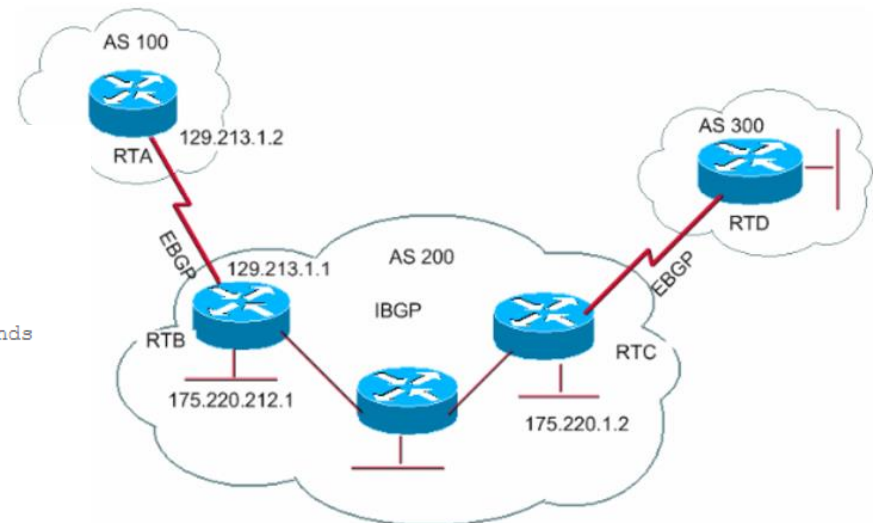
RTB#
router bgp 200
neighbor 129.213.1.2 remote-as 100
neighbor 175.220.1.2 remote-as 200

RTC#
router bgp 200
neighbor 175.220.212.1 remote-as 200
  
```

```
# show ip bgp neighbors
```

```

BGP neighbor is 129.213.1.1, remote AS 200, external link
BGP version 4, remote router ID 175.220.12.1
BGP state = Established, table version = 3, up for 0:10:59
Last read 0:00:29, hold time is 180, keepalive interval is 60 seconds
Minimum time between advertisement runs is 30 seconds
Received 2828 messages, 0 notifications, 0 in queue
Sent 2826 messages, 0 notifications, 0 in queue
Connections established 11; dropped 10
  
```



W.Graniszewski, E.Grochocki, G.Świątek – „Routing IP” – Studia Informatyczne, wazniak.mimuw.edu.pl
Akademia Cisco CCNA – „Routing i protokoły routingu”
LearnCisco, „Exploring the Functions of Routing” – dostęp 04.2015
Akademia CISCO, „BGP Case Studies”