

52. Mechanizm trasowania pakietów w Internecie

Informacje ogólne

Trasowanie (Routing) to mechanizm wyznaczania trasy i przesyłania pakietów danych w intersieci, od stacji nadawczej do stacji odbiorczej. **Intersieć** to minimum dwie sieci fizyczne połączone ze sobą za pomocą routera.

Trasowaniem zajmuje się urządzenie zwane **routerem**; może to być zwykły komputer jak i urządzenie specjalnie dedykowane tylko do tego zadania, tzw. router sprzętowy.

Trasowanie umożliwia danym z jednej sieci lokalnej dotrzeć do innej sieci lokalnej, która może znajdować się w dowolnym miejscu na świecie. Trasa może prowadzić przez wiele sieci pośrednich, tak więc routing jest jakby spoiwem łączącym Internet w całość. Bez routowania cały ruch danych byłby ograniczony do jednej fizycznej sieci.

Trasowanie realizowane jest w warstwie trzeciej (sieciowej) modelu OSI.

Wyznaczane trasy pakietów danych muszą być jak najbardziej **optymalne** – czyli możliwie najszybsze, ale umożliwiające dostarczenie wszystkich pakietów.

Pakiety informacji przesyłane przez Internet są opatrzone adresem odbiorcy i nadawcy.

Pakiet to jednostka informacji, której źródłem i przeznaczeniem jest warstwa Sieciowa (warstwa 3) modelu OSI. Pakiet składa się z trzech elementów:

1. **Nagłówek** warstwy Sieciowej,
2. **Danych** warstwy wyższej,
3. **Końcówki** warstwy Sieciowej.

Nagłówek i końcówka zawierają informację sterującą przeznaczoną dla warstwy 3 w stacji odbiorczej. Można powiedzieć, że dane z wyższej warstwy są otoczone (kapsułkowane) przez nagłówek i końcówkę warstwy 3.

Datagram jest jednostką informacji, której źródłem i przeznaczeniem jest warstwa Sieciowa (warstwa 3) modelu OSI, używająca bezpołączeniowej obsługi sieci. Pakiet (połączeniowa obsługa sieci) = datagram (bezpołączeniowa)

Etapy trasowania:

1. Host generuje pakiety i decyduje, czy dostarczyć je bezpośrednio do adresata, czy przesłać do routera.
2. Obowiązkiem routera przy przekazywaniu pakietu dalej do celu jest obniżenie o jeden wartości TTL (ang. *Time To Live*, czas życia). Datagram IP, który trafia do routera z

wartością 1 (a zostanie ona zmniejszona na tym routerze do 0) w polu TTL zostanie utracony, a do źródła router odsyła data gram ICMP z kodem TTL Exceeded.

3. Router decyduje, czy przesłać pakiety bezpośrednio do adresata, czy do routera pośredniczącego (i ew. do którego routera, gdy jest ich kilka).

Tablica routingu

Router przechowuje tzw. **tablicę routingu**, dzięki której wie, jak kierować ruchem. Najważniejsze informacje zawarte w tablicy to adresy sąsiednich routerów i adresy sieci docelowych.

Aby dotrzeć do sieci	Wyślij do urządzenia o adresie
10.1.1.0	10.1.2.2
10.1.2.0	10.1.2.2
10.1.3.0	10.1.2.2
10.1.4.0	Bezpośrednio połączony
10.1.5.0	Bezpośrednio połączony

Oprócz tego w tablicy mogą się też znaleźć informacje o całościowym **koszcie** (metryce) wysłania daną trasą pakietu (jest to pewna liczba przypisana trasie przez protokoły routingu), **nazwy czy adresy interfejsów sieciowych**, przez które dany pakiet jest kierowany do sieci, **flagi** opisujące właściwości danej ścieżki (H - ścieżka do konkretnego komputera, a nie np. do kolejnego routera, U – ścieżka jest drożna i działa bez problemów), **licznik** określający czas, jaki upłynął od ostatniego uaktualnienia informacji o trasie.

Pakiet danych przechodzi pomiędzy kolejnymi sieciami. Takie kolejne przejście nazywane jest **przeskokiem** lub **hop-em**. Tablica routingu zawarta w routerze lub w komputerze sieciowym zawiera właśnie przyporządkowania adresów dotyczące jednego hopu!

```

Routing Table:
  Destination      Gateway         Flags Ref  Use  Interface
  -----
  127.0.0.1        127.0.0.1      UH    0   10565  lo0
  153.19.51.64    153.19.51.66   U     3   12105  hme0
  224.0.0.0        153.19.51.66   U     3    0     hme0
  default          153.19.51.126  UG    0  264196
  
```

Rysunek 1. Przykładowa tablica routingu

Routing statyczny i dynamiczny

Pod względem sposobu wypełniania danymi tych tablic, dzielimy routing na statyczny i dynamiczny.

Stacyjny – administrator ręcznie wpisuje wszystkie adresy

Najprostszą formą budowania informacji o topologii sieci są ręcznie podane przez administratora trasy definiujące routing statyczny. Przy tworzeniu takiej trasy wymagane jest jedynie podanie adresu sieci docelowej, interfejsu, przez który pakiet ma zostać wysłany oraz adresu IP następnego routera na trasie.

Zalety:

- Router przesyła pakiety przez z góry ustalone interfejsy bez konieczności każdorazowego obliczania tras, co zmniejsza zajętość cykli procesora i pamięci.
- Informacja statyczna nie jest narażona na deformację spowodowaną zanikiem działania dynamicznego routingu na routerach sąsiednich.
- Dodatkowo zmniejsza się zajętość pasma transmisji, gdyż nie są rozsyłane pakiety rozgłoszeniowe protokołów routingu dynamicznego.
- Dla małych sieci jest to doskonałe rozwiązanie, ponieważ nie musimy posiadać zaawansowanych technologicznie i rozbudowanych sprzętowo routerów.
- Routing statyczny zapewnia również konfigurację tras domyślnych, nazywanych *brankami ostatniej szansy* (gateway of the last resort). Jeżeli router uzna, iż żadna pozycja w tablicy routingu nie odpowiada poszukiwanemu adresowi sieci docelowej, korzysta ze statycznego wpisu, który spowoduje odesłanie pakietu w inne miejsce sieci.)

Wady

- Routing statyczny wymaga jednak od administratora sporego nakładu pracy w początkowej fazie konfiguracji sieci,
- Nie jest również w stanie reagować na awarie poszczególnych tras.

Dynamiczny – routery samodzielnie zbierają informacje i aktualizują zapisy w tablicy.

Ponieważ statyczne systemy trasowania nie mogą reagować na zmiany w sieci, to generalnie nie są one przydatne do stosowania w sieciach dużych, gdzie zmiany następują praktycznie ciągle. Dlatego większość obecnie stosowanych algorytmów trasowania to algorytmy dynamiczne, dostosowujące się do zmiennych warunków występujących w sieci, na drodze analizy aktualizujących komunikatów trasowania. W wypadku, gdy aktualizujący komunikat trasowania wskazuje, że w sieci wystąpiły zmiany, oprogramowanie trasujące ponownie oblicza trasy i wysyła do routerów nowe komunikaty aktualizujące. W ślad za tym komunikaty, przenikając przez sieć, stymulują routery do uruchomienia algorytmów trasowania i zmieniają ich tablice trasowania.

Kategorie protokołów trasowania

Podział protokołów:

- Podział ze względu na charakter wymienianych informacji:
 - Protokoły wektora odległości (lub dystans - wektor),
 - protokoły stanu łącza,
 - hybrydowe.
- Podział ze względu na obszary zastosowań:
 - Protokoły wewnętrzne,

- Protokoły zewnętrzne.

Protokoły trasowania dynamicznego są wykorzystywane przez routery do pełnienia trzech podstawowych funkcji:

- wyszukiwania nowych tras,
- przekazywania do innych routerów informacji o znalezionych trasach,
- przesyłania pakietów za pomocą owych routerów.

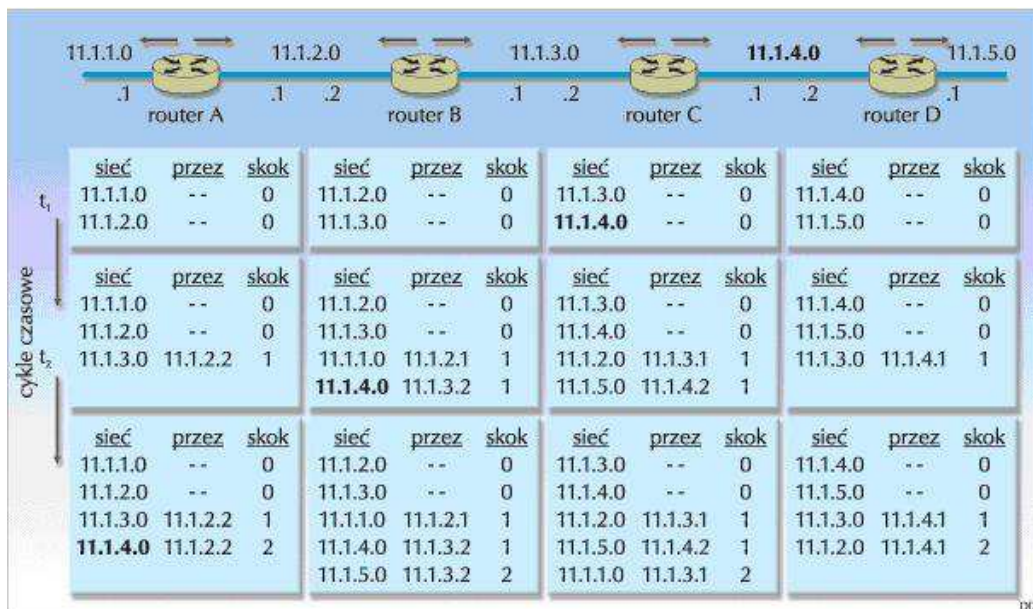
Protokoły wektora odległości:

Trasowanie może być oparte na algorytmach wektora odległości (nazywanych również *algorytmami Bellmana-Forda*). Nazwa pochodzi stąd, iż poszczególne routery prezentowane są jako wektory zawierające dwie informacje: dystans oraz wektor wyznaczający kierunek. **Dystans** opisuje całkowity koszt/metrykę danej trasy i wyrażany jest za pomocą pewnej liczby, natomiast **kierunek** definiowany jest poprzez adres następnego skoku.

Etapy działania protokołu:

1. Przy starcie router tworzy tablicę routingu zawierającą informacje tylko o jego bezpośrednich sąsiadach i kosztach/metrykach dotarcia do nich.
2. Wysyła tą tablicę tylko do swoich sąsiadów, którzy uzupełniają swoje tablice routingu o informacje, które pozyskali z tej właśnie przysłanej.

Router nie widzi poza swojego sąsiada i informacje o innych sieciach, nieprzyłączonych do niego bezpośrednio, uzyskuje tylko dzięki nim. Nazywa się to **routowaniem przez plotkowanie**.



Rysunek 2. Przykład działania protokołu wektora odległości

Zalety:

- Protokoły wektora odległości są łatwe w konfiguracji i bardzo dobrze nadają się do zastosowania w małych sieciach.

Wady:

- Niestety, jednym z ich podstawowych problemów jest tzw. zbieżność, czyli powolne reagowanie na zmiany zachodzące w topologii sieci, na przykład wyłączenie lub włączenie pewnych segmentów - zerwanie łącza zostaje odzwierciedlone w tabelach routingu poszczególnych routerów dopiero po pewnym czasie. Czas, po którym wszystkie routery mają spójne i uaktualnione tabele routingu nazywany jest czasem zbieżności.
- Kolejną wadą protokołów wektora odległości jest generowanie dodatkowego ruchu w sieci poprzez cykliczne rozgłaszanie pełnych tabel routingu, nawet wówczas, gdy w topologii sieci nie zachodzą żadne zmiany.
- Protokoły tej grupy nie są też odporne na powstawanie pętli między routerami (zarówno między bezpośrednimi sąsiadami, jak i pętli rozległych), co skutkuje wzajemnym odsyłaniem sobie pakietów z informacją o tej samej sieci.

Przykładowe protokoły: RIP, EBGp.

Trasowanie na podstawie stanu łącza

Algorytmy trasowania na podstawie stanu łącza, ogólnie określane jako protokoły "najpierw najkrótsza ścieżka" (ang. SPF *shortest path first*), utrzymują złożoną bazę danych opisującą topologię sieci. W odróżnieniu od protokołów wektora odległości, protokoły stanu łącza zbierają i przechowują pełną informację na temat routerów sieci, a także o sposobie ich połączenia.

W protokołach stanu łącza każdy router przechowuje kompletną bazę danych o topologii sieci z informacjami o koszcie pojedynczych ścieżek w obrębie sieci oraz o stanie połączeń. Informacje te kompletowane są poprzez rozsyłanie tzw. pakietów LSA (*link-state advertisement*) o stanie łącza.

Etapy działania protokołu:

1. Każdy router wysyła informację o bezpośrednio do niego podłączonych sieciach oraz o ich stanie (włączone lub wyłączone).
2. Dane te są następnie rozsyłane od routera do routera, każdy router pośredni zapisuje u siebie kopię pakietów LSA, ale nigdy ich nie zmienia.
3. Po pewnym czasie (czasie zbieżności) każdy router ma identyczną bazę danych o topologii (czyli mapę sieci) i na jej podstawie tworzy drzewo najkrótszych ścieżek SPF (*shortest path first*) do poszczególnych sieci.
4. Router zawsze umieszcza siebie w centrum (korzeniu) tego drzewa, a ścieżka wybierana jest na podstawie kosztu dotarcia do docelowej sieci - najkrótsza trasa nie musi pokrywać się z trasą o najmniejszej liczbie skoków. Do wyznaczenia drzewa najkrótszych ścieżek stosowany jest *algorytm E.W. Dijkstry*.

Zalety

- Reagowanie na zmiany w topologii sieci. Po zmianie stanu łącza router generuje nowy pakiet LSA, który rozsyłany jest od routera do routera, a każdy router otrzymujący ten pakiet musi przeliczyć od nowa drzewo najkrótszych ścieżek i na jego podstawie zaktualizować tabelę routingu.

- Protokoły stanu łącza nazywane są też protokołami "cichymi", ponieważ w przeciwieństwie do protokołów wektora odległości nie rozsyłają cyklicznych ogłoszeń, a dodatkowy ruch generują tylko przy zmianie stanu łącza. Ze względu na sposób działania i swoje cechy protokoły stanu łącza przeznaczone są do obsługi znacznie większych sieci niż protokoły wektora odległości.

Wady

- Do wad protokołów stanu łącza zaliczyć można zwiększone zapotrzebowanie na pasmo transmisji w początkowej fazie ich działania (zanim "ucichną"), gdy routery rozsyłają między sobą pakiety LSA. Wspomniane obniżenie wydajności ma charakter przejściowy, ale jest niestety mocno odczuwalne.
- Dodatkowo ze względu na złożoność obliczeń drzewa SPF, protokoły stanu łącza mają zwiększone wymagania dotyczące procesora i pamięci RAM routera (zwłaszcza przy większych sieciach). Z tego powodu routery skonfigurowane do obsługi trasowania na postawie stanu łącza są stosunkowo drogie. Typowym przedstawicielem tej grupy protokołów jest OSPF (*Open Shortest Path First*).

Ostatnią formą trasowania dynamicznego jest praca hybrydowa. Choć istnieją "otwarte" zrównoważone protokoły hybrydowe, ta forma trasowania jest niemal całkowicie związana z zastrzeżonym produktem jednej firmy Cisco Systems, Inc. Protokół o nazwie EIGRP (ang. *Enhanced Interior Gateway Routing Protocol*) został zaprojektowany z zamiarem połączenia najlepszych cech protokołów opartych na wektorze odległości i stanie łącza, przy jednoczesnym ominięciu ich ograniczeń wydajności i innych wad.

Przykładowe protokoły: OSPF, IS-IS, IDRP.

Protokoły wewnętrzne i zewnętrzne

Podział ze względu na obszary zastosowań protokołów:

- Protokoły wewnętrzne,
- Protokoły zewnętrzne.

Systemy autonomiczne:

Wraz ze wzrostem rozmiaru sieci i liczby routerów obciążenie związane z przechowywaniem i przesyłaniem informacji związanych z routowaniem staje się bardzo duże. Niemożliwe jest, aby każdy router przechowywał informacje o całej sieci globalnej, potrzebna jest autonomia administracyjna poszczególnych organizacji mających swoje sieci.

Rozwiązanie: organizowanie routerów za pomocą systemów autonomicznych

System autonomiczny – grupa sieci i routerów pod wspólną administracją (korporacje, uczelnie). Routery wewnątrz systemu autonomicznego dowolnie zarządzają trasami. Każdy system autonomiczny wybiera router lub routery przeznaczone do komunikacji z innymi systemami autonomicznymi. Odpowiadają one za przekazywanie informacji o osiągalności sieci wewnątrz „swojego” systemu do innych systemów.

Routery odpowiedzialne za komunikację z innymi systemami autonomicznymi nazywane są routerami zewnętrznymi albo brzegowymi (exterior gateways), routery działające wewnątrz systemu – wewnętrznymi (interior gateways).

Zewnętrzne:

EGP (Exterior Gateway Protocol)

- Router może uzgodnić z innym routerem, że będą „sąsiadami”, tzn. będą wymieniać informacje o trasach.
- Router sprawdza co jakiś czas czy jego sąsiedzi działają.
- Sąsiedzi wymieniają komunikaty pozwalające zaktualizować tablice routingu. Komunikat taki zawiera listę znanych danemu routerowi sieci i odległości do nich.

Inny protokół tego typu – (E) BGP (Exterior Border Gateway Protocol)

Wewnętrzne

Grupę protokołów używanych przez routery wewnątrz systemu autonomicznego określa się nazwą IGP (Interior Gateway Protocols)

Przykładowe protokoły z tej grupy:

- RIP
- HELLO
- OSPF

RIP – Routing Information Protocol

- Implementacja algorytmu wektor-odległość dla sieci lokalnych;
- odległość mierzona jako „hop count”;
- liczba routerów między rozważanymi sieciami;
- przeznaczony dla niewielkich sieci – odległość 16 traktowana jest jako nieskończoność;

HELLO

- Protokół bazujący na algorytmie „wektor odległość”
- Do oceny odległości używa opóźnień (tj. czasu potrzebnego na dostarczenie komunikatu za pośrednictwem sieci), a nie liczby routerów pośredniczących

Miary trasowania

W jaki sposób algorytmy trasowania decydują o tym, że jedna trasa jest preferowana bardziej niż inna?

Rozróżnia się obecnie następujące miary trasowania:

- długość ścieżki,
- niezawodność,
- opóźnienie,
- szerokość pasma,
- obciążenie,
- koszt komunikacji.

Długość ścieżki jest najczęściej używaną miarą trasowania. Niektóre protokoły trasowania zezwalają administratorowi sieci na arbitralne przypisywanie kosztów każdemu łączy sieciowemu. W takim wypadku koszt ścieżki jest sumą kosztów związanych z każdym łączy składającym się na ścieżkę. Inne protokoły trasowania natomiast używają miary hop count, rozumianej jako liczba przejść pakietu przez urządzenia intersieciowe - np. routery - od stacji nadawczej do stacji odbiorczej.

Niezawodność, w kontekście algorytmów trasowania, odnosi się do skuteczności każdego łączy (określanego liczbą przekłamanych bitów). Niektóre łączy mogą ulegać uszkodzeniom częściej od innych. Po uszkodzeniu sieci niektóre łączy można naprawić szybciej i prościej niż inne.

Opóźnienie trasowania oznacza czas potrzebny do przesłania pakietu od stacji nadawczej do stacji odbiorczej w intersieci.

Szerokość pasma odnosi się do dostępnej pojemności ruchu w określonym łączy.

Obciążenie to stopień zajętości zasobu sieciowego, np. routera. Obciążenie zależy od wielu czynników, np. stopnia wykorzystania procesora czy liczby pakietów przetwarzanych w czasie jednej sekundy.

Koszt komunikacji jest ważną miarą trasowania, przede wszystkim dlatego, że niektóre firmy nie dbają o wydajność. Nawet wtedy, gdy opóźnienia są duże, przesyłają pakiety przez własne linie zamiast korzystać z sieci publicznych, za które się płaci tylko w czasie ich używania.