Wyznaczanie tras

- w pojedynczej sieci fizycznej nie ma potrzeby wyznaczania tras — pakiet wysłany do wskazanego adresata dociera do niego bezpośrednio;
- w intersieci adresat datagramu może być oddzielony od nadawcy przez wiele sieci pośrednich (połączonych ruterami), może też istnieć wiele różnych tras od nadawcy do odbiorcy;
- dobre oprogramowanie trasujące powinno zapewniać optymalny wybór trasy dla każdego datagramu (np. przez sieć najszybszą, najmniej obciążoną, z najmniejszą liczbą ruterów po drodze itd.);
- wybór trasy należy zarówno do nadawcy, jak i do ruterów pośrednich.

Dostarczanie bezpośrednie

- może zachodzić tylko wtedy, gdy nadawca i odbiorca są przyłączeni do tej samej sieci fuzycznej;
- nadawca za pomocą protokołu ARP (lub innego podobnego, np. ATMARP) wyznacza adres fizyczny odbiorcy, kapsułkuje datagram w ramce sieci fizycznej i przekazuje ją karcie sieciowej;
- określanie, czy nadawca i odbiorca są w tej samej sieci fizycznej odbywa się na podstawie porównania prefiksu sieci w obu adresach, co można zrealizować bardzo sprawnie.

Dostarczanie pośrednie

- jest bardziej skomplikowane niż dostarczanie bezpośrednie — nadawca musi ustalić adres rutera, do którego ma posłać datagram; wybór rutera może zależeć od adresata;
- ruter sprawdza adres odbiorcy i na jego podstawie wybiera adres kolejnego rutera, któremu przekaże ramkę (bądź dostarcza ją bezpośrednio).

Tablica tras

- podstawowy mechanizm trasowania wybiera adresy przy użyciu *tablicy tras*, którą przechowuje każdy węzeł sieci i każdy ruter;
- tablica tras nie może zawierać informacji o każdym możliwym adresacie, gdyż musiałaby być ogromna; ponadto chcemy ograniczyć znajomość struktury sieci przez każdą maszynę do jej lokalnego środowiska (np. jednej sieci fizycznej lub sieci lokalnej);
- tablica tras zawiera jedynie adresy sieci, do których można przesłać dane za pośrednictwem poszczególnych ruterów przyłączonych do danej sieci fizycznej.

Trasowanie etapami

- typowa tablica tras zawiera pary (N, R), gdzie N jest adresem IP sieci docelowej, a R — adresem IP „następnego” rutera na trasie do N (R jest nazywany *następnym etapem*, ang. next hop);
- pomysł przechowywania w tablicy tras adresu następnego etapu dla każdej sieci docelowej jest nazywany *trasowaniem etapami*;
- tablica tras rutera R zawiera informacje tylko o jednym kroku na ścieżce do docelowej sieci — pełnej ścieżki ruter R nie zna;
- każdy ruter następnego etapu musi być podłączony do tej samej sieci fizycznej, co korzystający z jego usług nadawcy.

Własności mechanizmu trasowania

- wyznaczanie tras jest statyczne i deterministyczne;
- wszystkie datagramy skierowane do maszyn w jednej sieci lokalnej będą wędrować tą samą trasą (ewentualne trasy alternatywne nie będą nigdy wykorzystywane jednocześnie);
- datagramy wszystkich typów są przesyłane tą samą trasą niezależnie od opóźnień i przepustowości sieci fizycznych;
- tylko ostatni ruter komunikuje się z adresatem i tylko on wie, czy adresat istnieje i działa; stąd konieczny jest mechanizm powiadamiania nadawcy o błędach;
- każdy ruter wyznacza trasy niezależnie od pozostałych, trasa od A do B może być zupełnie inna niż trasa od B do A.

Trasy domyślne

- dla dodatkowego zmniejszenia liczby zapisów w yablicy tras stosuje się *trasy domyślne*;
- algorytm wyznaczania trasy sprawdza najpierw, czy trasa do danego adresata jest opisana explicite w tablicy tras — jeśli tak, to jej używa; w przeciwnym przypadku kieruje datagram do rutera domyślnego;
- mechanizm tras domyślnych jest szczególnie przydatny w ośrodkach o prostej strukturze sieci lokalnych i jednym połączeniu ze światem zewnętrznym, a także w sieciach, do których jest przyłączony tylko jeden ruter.

Trasy specyficzne dla poszczególnych maszyn

- oprogramowanie trasujące pozwala na określenie specjalnej trasy dla każdego konkretnego adresu odbiorcy;
- mechanizm ten jest przydatny przy testowaniu sieci, precyzyjnej kontroli wykorzystania sieci oraz dla zwiększenia bezpieczeństwa sieci.

Algorytm trasowania IP

- *dane wejściowe:* datagram i tablica tras
- **krok 1:** na podstawie datagramu wyznacz adres IP odbiorcy D, oraz prefiks sieci odbiorcy N;
- **krok 2:** jeśli N zgadza się z adresem którejś z bezpośrednio przyłączonych sieci, to dostarcz datagram do adresata D za pośrednictwem tej sieci;
- **krok 3:** w przeciwnym razie, jeśli tablica tras zawiera trasę specyficzną dla adresata D, to wyślij datagram do rutera następnego etapu podanego w tablicy;
- **krok 4:** w przeciwnym razie, jeśli tablica zawiera trasę do sieci N, to wyślij datagram do rutera następnego etapu podanego w tablicy;
- **krok 5:** w przeciwnym razie, jeśli tablica tras zawiera trasę domyślną, to wyślij datagram do rutera domyślnego podanego w tablicy;

- **krok 6:** w przeciwnym razie zgłoś błąd trasowania.

Czynności związane z trasowaniem

- trasowanie nie zmienia zawartości datagramów (za wyjątkiem czasu życia i sum kontrolnych);
- adres nadawcy jest niezmienny — oznacza pierwotnego nadawcę datagramu; to samo dotyczy adresu odbiorcy;
- mechanizm trasowania wyznacza adresu, pod który należy wysłać datagram — za wyjątkiem ostatniego etapu, adres ten jest inny, niż adres odbiorcy;
- oprogramowanie IP nie zapisuje adresu następnego etapu w datagramie (chyba, że w odpowiednim polu opcji);
- adres następnego etapu jest odwzorowywany na adres fizyczny (np. przez ARP)
  i wpisywany do ramki fizycznej, w której jest umieszczany datagram.

Adresy IP i adresy fizyczne

- tablica tras zawiera adresy IP następnych etapów, a nie odpowiadające im adresy fizyczne;
- oprogramowanie IP przy wysyłaniu każdego datagramu wyznacza adres IP, który jest odwzorowywany na adres fizyczny przez oprogramowanie interfejsu sieciowego;
- powody, dla których tablica tras nie zawiera adresów fizycznych:
  - tablica tras jest przejrzystym interfejsem między oprogramowaniem IP, które wyznacza trasy, a oprogramowaniem wyższego poziomu, które służy do ustawiania zawartości tablic tras; tablice tras są często odczytywane i modyfikowane przez administratorów, korzystne jest zatem przechowywanie informacji w czytelnej postaci;
  - założenia projektowe protokołu IP

nakazują oddzielenie adresów fizycznych od logicznych (na jak najniższym poziomie) dla możliwie dokładnego ukrycia struktury sieci fizycznej;

– używanie adresów IP ruterów zamiast adresów fizycznych zwiększa odporność sieci na awarie sprzętu.

Obsługa przychodzących datagramów

- w przypadku normalnego komputera (który nie jest ruterem) datagramy o adresie odbiorcy zgodnym z jego adresem są przekazywane wyższym warstwom oprogramowania, a datagramy o innych adresach odbiorcy są porzucane przez interfejs (istnieje zakaz przekazywania ich wyższym warstwom protokołów);
- w przypadku rutera sytuacja jest niemal odwrotna — większość datagramów *nie jest* adresowana do rutera:
  - ruter datagramy adresowane bezpośrednio do niego przetwarza według zwykłych zasad;
  - datagramy kierowane do innych adresatów zostają przetworzone według zasad opisanych wcześniej;
- ustalenie, czy dana maszyna jest adresatem

datagramu, nie jest całkiem trywialne:

– węzeł może mieć wiele interfejsów sieciowych o różnych adresach (tak jest w przypadku każdego rutera);
– maszyna musi przyjmować datagramy z adresem ograniczonego rozgłaszania lub adresem ukierunkowanego rozgłaszania dla danej sieci lokalnej;
– maszyna musi przyjmować datagramy z adresem rozgłaszania grupowego kierowane do każdej z grup rozgłaszania, do których należy;
– dodatkowe komplikacje występują w przypadku stosowania rozszerzeń adresowych dla nadsieci lub podsieci.

Rutery i nie-rutery

- maszyna nie będąca ruterem nie powinna przekazywać datagramów tak, jak ruter:
  - otrzymanie przez zwykły węzeł datagramu adresowanego do innego węzła może oznaczać błędy związane z wyznaczaniem adresów, trasowaniem lub dostarczaniem pakietów;
  - przekazywanie przez zwykły węzeł datagramów do innych maszyn zwiększałoby jego obciążenie;
  - nadmierna „pracowitość” mogłaby spowodować przeciążenie sieci;
  - rutery, prócz przekazywania datagramów, pełnią też inne funkcje (np. zajmują się dynamicznym wyznaczaniem zawartości tablic tras oraz przesyłają komunikaty sterujące działaniem sieci i komunikaty o błędach).

Ustalanie zawartości tablicy tras

- tablica tras zawierająca minimalne informacje początkowe jest przechowywana na dysku lokalnym komputera i ładowana przy inicjalizacji jego działania;
- komputery mogą otrzymywać początkową zawartość tablicy tras za pomocą któregoś z protokołów dynamicznej konfiguracji (BOOTP, DHCP);
- zawartość tablicy tras może być odczytywana z sieciowych baz danych (Yellow Pages; NIS+, DCE Dictionary Services);
- do modyfikacji trasowania służą niektóre komunikaty kontrolne ICMP;
- rutery modyfikują informacje o trasowaniu przy użyciu protokołów wymiany informacji trasujących (GGP, SPF, RIP, OSPF, BGP itd. itp.).