Notatki z kursu Sieci Komputerowe

Małgorzata Dymek

2018/19, semestr letni

1 Podstawowe pojęcia

1.1 Ramki

Dane przesyłane są w **porcjach zwanych ramkami**. Typowa ramka zawiera następujące pola:

- ogranicznik początku ramki (ustalony wzór bitów)
- adres fizyczny nadawcy
- adres fizyczny odbiorcy
- dane
- ogranicznik końca ramki (sekwencja kontrolna ramki).

Ogranicznik początku ramki być poprzedzony lub może zawierać tzw. **preambułę**, która w pewnych technologiach sieciowych jest stosowana do synchronizacji nadajnika i odbiornika. Wielkość pól określana jest w oktetach.

1.2 Topologia sieci lokalnych

Dwa rodzaje topologii:

- Topologie fizyczne
- Topologie logiczne

Jeżeli przy fizycznej topologii gwiazdy komputer przesyła dane bezpośrednio do komputera docelowego (przełącznik), to mamy logiczną topologię gwiazdy. Jeżeli ramka jest wysyłana do wszystkich dostępnych komputerów (koncentrator), to logicznie jest to topologia magistrali.

1.2.1 Komunikacja między komputerami

Założenia:

- Komputer źródłowy - Komputer 1: IP1, MAC1
- Komputer docelowy - Komputer 2: IP2, MAC2

Połączone switchem. Na komputerze docelowym jest serwer strony WWW2.

Jeżeli na komputerze 1 ktoś spróbuje otworzyć WWW2, to:

- Zadziała system DNS: komputer 1 skontaktuje się ze swoim serwerem DNS i zapyta jaki jest adres IP komputera związanego z nazwą domenową WW2. Serwer DNS znajdzie odpowiedni adres w swoich zasobach i odeśle informację do komputera 1.
- Przeglądarka utworzy komunikat (wg protokołu HTTP). Do komunikatu zostanie dodany nagłówek (wg protokołu TCP), który zawiera m.in. port docelowy (standardowo 80) oraz port źródłowy. Komunikat razem z dołączonym nagłówkiem TCP nazywa się **segmentem TCP**.

- Do segmentu TCP zostanie dodany nagłówek IP – w ten sposób powstanie **pakiet IP**.
- Pakiet musi być przesłany w ramce. Do pakietu musi zostać dodany nagłówek ramki, zawierający źródłowy i docelowy adres MAC. **Komputer 1 nie zna adresu MAC komputera 2**. Zna tylko jego adres IP. Wykorzystywany jest **protokół ARP** – Address Resolution Protocol.
  - Komputer 1 wysyła specjalną ramkę **ARP Request** (ta NIE zawiera pakietu IP), która ma adres rozgłoszeniowy jako adres docelowy (same jedynki).
  - Każdy komputer przyłączony do przełącznika ma obowiązek odebrać ramkę wysłaną na adres rozgłoszeniowy MAC. Jednak tylko komputer o zadanym IP odpowie na ARP Request.
  - Odpowiedź to specjalna ramka **ARP Reply**. Odpowiedź ARP jest wysyłana na adres MAC komputera 1.
- Po tym, jak komputer 1 pozna adres MAC komputera 2, może już zbudować ramkę przeznaczoną do komputera 2. Ramka jest wysyłana do przełącznika, a przełącznik dostarcza ją tylko do komputera 2.
  - Przełącznik uczy się adresów MAC przyłączonych komputerów i routerów i zapamiętuje w tablicy przypisanie adresu MAC do konkretnego swojego portu.
- Komputer 2 odbiera ramkę, sprawdza adres MAC docelowy i sumę kontrolną, po czym „wyjmuje" z ramki pakiet IP. Sprawdza adres docelowy IP i „wyjmuje" z pakietu segment TCP. Sprawdza do którego portu należy przekazać zawartość (komunikat HTTP) i ostatecznie „wyjmuje" komunikat http z segmentu i przekazuje do portu 80, na którym nasłuchuje serwer WWW.
- Serwer WWW konstruuje odpowiedź – stronę WWW. Strona ta zostanie umieszczona w komunikacie http, który następnie musi być przesłany do komputera 1. Mechanizm jest analogiczny jak poprzednio.

W rzeczywistości zanim może zostać przesłany segment TCP, komputery wykorzystujące ten protokół do komunikacji, muszą zbudować tzw. połączenie TCP.

Nagłówek ramki (numery MAC)	Nagłówek IP (numery IP) 20 bajtów	Nagłówek TCP (numery portów) 20 bajtów	Komunikat HTTP	Suma kontrolna 4 bajty

W przypadku komunikacji między komputerami rozdzielonymi przynajmniej jednym routerem

- Wszystko do skonstruowania pakietu IP włącznie działa tak samo. Komputer tworzący ramkę musi więc wykorzystując ARP Request poznać MAC adres routera, czyli swojej **bramy domyślnej**.
- Ramka jest wysyłana do routera.
- Router (brama) po otrzymaniu ramki „wyjmuje" z niej pakiet IP, zagląda do nagłówka i sprawdza jaki jest adres docelowy IP. Na podstawie tego adresu i tablicy routowania wyznacza router następnego skoku i konstruuje i wysyła do niego nową ramkę, w której umieszcza przesyłany pakiet IP. Analogicznie aż pakiet dotrze w kolejnych ramkach do docelowej sieci i do docelowego komputera.

1.3 Model ISO/OSI

OSI (Open Systems Interconnection) utworzony przez Międzynarodową Organizację Normalizacyjną stanowi **model referencyjny**.

Nr warstwy OSI	Nazwa warstwy OSI	Nazwa warstwy TCP/IP	Nazwa warstwy Tannenbaum
7	Aplikacji	Aplikacji	Aplikacji
6	Prezentacji		
5	Sesji		
4	Transportu	Transportu	Transportu
3	Sieci	Intersieci	Sieci
2	Łącza danych	Interfejsu sieciowego	Łącza danych
1	Fizyczna		Fizyczna

- **Warstwa fizyczna** - standard połączenia fizycznego, charakterystyki wydajnościowe nośników. Same media transmisyjne pozostają poza dziedziną jej zainteresowania (czasem określane są terminem warstwa zerowa).
- **Warstwa łącza danych** – grupowanie danych wejściowych (z warstwy fizycznej) w bloki zwane **ramkami** danych („jednostki danych usług warstwy fizycznej"), mechanizmy kontroli poprawności transmisji (FCS).
- **Warstwa sieci** - określenie trasy przesyłania danych między komputerami poza lokalnym segmentem sieci LAN, protokoły trasowane takie jak IP (ze stosu protokołów TCP/IP).
- **Warstwa transportu** - kontrola błędów i przepływu danych poza lokalnymi segmentami LAN, protokoły zapewniające komunikację procesów uruchomionych na odległych komputerach, protokoły TCP, UDP.
- **Warstwa sesji** - zarządzanie przebiegiem komunikacji podczas połączenia między komputerami.
- **Warstwa prezentacji** - kompresja, kodowanie i translacja między niezgodnymi schematami kodowania oraz szyfrowanie.
- **Warstwa aplikacji** - interfejs między aplikacjami a usługami sieci.

1.4 Zestaw (stos) protokołów TCP/IP

Protokoły z zestawu TCP/IP

- TCP, UDP - warstwa transportu,
- IP - IPv4 i IPv6, warstwa internetowa,
- ARP - tłumaczy adresy między warstwą internetową a warstwą interfejsu sieciowego, czasami zaliczany do tej ostatniej warstwy,
- ICMP - m.in. komunikaty o problemach,
- IGMP - komunikacja grupowa.
- TELNET, FTP, DNS - warstwa aplikacji

Na warstwę aplikacji składają się komponenty programowe sieci, wysyłające i odbierające informacje przez tzw. porty TCP lub UDP (z warstwy transportu). Protokoły warstwy aplikacji to między innymi:

- FTP (File Transfer Protocol),
- TELNET,
- DNS (Domain Name System) związany z usługą DNS (Domain Name Service).

Dane przechodząc w dół stosu protokołów TCP/IP są opakowywane i otrzymują odpowiedni nagłówek. Porcje danych przesyłane w dół stosu mają różne nazwy:

- **Komunikat** - porcja danych utworzona w warstwie aplikacji i przesłana do warstwy transportu.
- **Segment** - porcja danych utworzona przez oprogramowanie implementujące protokół TCP w warstwie transportu. Zawiera w sobie komunikat.

- **Datagram UDP** - porcja danych utworzona przez oprogramowanie implementujące protokół UDP w warstwie transportu.
- **Datagram** - również porcja danych utworzona w warstwie internetowej przez oprogramowanie implementujące protokół IP. Datagram IP zawiera w sobie segment, bywa nazywany pakietem.
- **Ramka** - porcja danych utworzona na poziomie dostępu do sieci.

Sekwencja zdarzeń przy wysłaniu danych:

- Aplikacja przesyła dane do warstwy transportu.
- Dalszy dostęp do sieci realizowany jest przez TCP albo UDP.
  - TCP realizuje tzw. niezawodne połączenia i kontroluje przepływ danych zapewniając niezawodne dostarczenie danych.
  - UDP nie zapewnia niezawodności, ale jest szybszy.
- Segment lub datagram UDP przesyłany jest do warstwy IP, gdzie protokół IP dołącza między innymi informacje o adresach IP źródła i celu tworząc datagram IP (pakiet).
- Datagram z IP przechodzi do warstwy interfejsu sieciowego, gdzie tworzone są ramki. W sieci LAN ramki zawierają adres fizyczny (przypisany do karty sieciowej) otrzymany zprotokołu ARP.
- Ramka przekształcana jest w ciąg sygnałów, który zostaje przesłany przez sieć.

RFC (Request for Comments) - miejsce publikowania oficjalnych standardów internetowych.

1.4.1 ARP (Address Resolution Protocol)

ARP stosowany jest w sieciach Ethernet (jeśli w warstwie sieci wykorzystywany jest protokół IPv4), był też używany w sieciach Token Ring. W wersji IPv6 protokół ARP nie jest w ogóle wykorzystywany, zastępują go inne mechanizmy.

- Zadaniem ARP jest **odnalezienie adresu fizycznego MAC** na podstawie znanego wprost adresu IP (został wpisany przez użytkownika, lub uzyskany automatycznie na podstawie nazwy domenowej (www) dzięki DNS).
- Ze względu na możliwość wymiany karty sieciowej w komputerze o określonym adresie IP ARP musi być **dynamiczny**.
- ARP jest oparty na **metodzie rozgłoszeniowej** i zasadzie **żądania i odpowiedzi**.
- ARP najpierw sprawdza w swojej pamięci podręcznej (**cache**) czy posiada wpis dla danego IP. Jeśli nie, to zostaje wysłana ramka rozgłoszeniowa **ARP Request** Message w fizyczneym segmencie sieci, do którego przyłączony jest nadawca (ARP requestor).
  - Jeśli węzeł docelowy znajduje się w tym samym segmencie sieci lokalnej, ARP requestor pyta wprost o to kto ma docelowy adres IP. ARP responder odpowiada wysyłając ramkę ARP Reply pod adres MAC, z którego przyszło żądanie. Po wymianie ramek zarówno nadawca jak i odbiorca mają uaktualnione tablice w pamięci podręcznej (cache).
  - Jeśli węzeł docelowy znajduje się w innym segmencie sieci datagram jest kierowany do domyślnego routera (IP wpisane w konfiguracji TCP/IP lub wykorzystanie Proxy ARP. ARP requester pyta o adres IP routera domyślnego, router odpowiada wysyłając ramkę ARP respond i podaje swój adres MAC.
- Po otrzymaniu ARP Request uaktualniane są również pamięci podręczne cache ARP w komputerach, które miały w pamięci podręcznej IP ARP requestor. Otrzymanie ramki ARP request jest zatem metodą aktualizacji wpisów w pamięci podręcznej ARP.
- Wpisy w pamięci podręcznej ARP są usuwane po okresie nieużywania rzędu kilku minut. W przypadku użycia wpisu czas ten może wzrosnąć, z pewnym limitem górnym.

- TCP/IP w Microsoft Windows pozwala na użycie statycznych wpisów w pamięci podręcznej ARP. Jednak są one przechowywane w RAM, więc wyłączaniu komputera przepadają.
- Struktura ramki ARP:
  - Typ sprzętu (2 oktety)
  - Typ protokołu (2 oktety)
  - Długość adresu sprzętu (1 oktet)
  - Długość adresu protokołu (1 oktet)
  - Kod operacji (2 oktety)
  - Adres sprzętu nadawcy (dla Ethernet 6 oktetów)
  - Adres protokołu nadawcy (dla IPv4 4 oktety)

1.4.2 Wykrywanie zduplikowanych adresów IP

Tzw "zbędny ARP"

- Węzeł wysyła ARP Request z zapytaniem o swój własny adres.
  - Jeśli ARP Reply nie nadejdzie to znaczy, że w lokalnym segmencie nie ma konfliktu adresów.
  - Jeśli odpowiedź nadejdzie, oznacza to konflikt.
- Węzeł już skonfigurowany traktowany jest jako węzeł z poprawnym adresem (**węzeł zgodny**, defending node), węzeł wysyłający „zbędny ARP" jest **węzłem konfliktowym** (offending node).
- **Węzeł konfliktowy wprowadza błąd** w pamięci podręcznej ARP komputerów w **całym segmencie** sieci. ARP Reply z węzła zgodnego nie naprawia sytuacji (ramka ARP Reply nie jest ramką rozgłoszeniową), więc zgodny wysyła ARP Request ze swoim adresem po wykryciu konfliktu.

Datagramy IP wysłane na w ramkach z niepoprawnym adresem MAC odbiorcy przepadają. Protokół IP nie zapewnia niezawodnej dostawy datagramów i nie spowoduje powtórnego przesłania datagramu w nowej ramce. Za niezawodność odpowiedzialne są protokoły warstwy transportu.

1.4.3 Proxy ARP

Router ze skonfigurowanym mechanizmem Proxy ARP odpowiada na ramki ARP Request w imieniu wszystkich węzłów – komputerów spoza segmentu sieci lokalnej. Może być używany jest np. w sytuacji, gdy komputery w sieci nie mają ustawionego domyślnego routera (domyślna brama, default gateway). Routery mogą mieć włączoną standardowo opcję Proxy ARP, wówczas jeśli jakiś komputer wyśle ARP Request z adresem spoza danej sieci lokalnej (zwykle to nie następuje), to router odpowie „w imieniu" komputera zewnętrznego.

2 Adresacja IPv4

Adres IP jest przypisywany do karty sieciowej, nie do komputera.

Są **trzy typy adresów IPv4**:

- **Adresy jednostkowe** (unicast) – pojedynczy interfejs sieciowy (komunikacja one-to-one).
- **Adresy rozgłoszeniowe** (broadcast) – wszystkie węzły w tym samym segmencie sieci (one-to-everyone).
- **Adresy grupowe** (multicast) – jeden lub wiele komputerów w jednej lub w różnych segmentach sieci (one-to-many).

W **adresie IP** zapisanym binarnie można wyróżnić **dwie części**:

- **Identyfikator sieci** (Network ID) - pewna liczba bitów z lewej strony adresu

- **Identyfikator hosta** (Host ID) - pozostałe bity.

Terminem host określa się komputer, który jest końcowym konsumentem usług sieciowych.

Granica między identyfikatorem sieci a identyfikatorem hosta może być wyznaczona przez tzw. **maskę sieci**.

Identyfikator sieci

- **nie** może się składać z **samych jedynek**.
- **nie** może się składać z **samych zer**.
- **nie może się powtarzać** w złożonej sieci.
- W **pierwszym oktecie** adresu **nie** może się znaleźć wartość **127** (jest ona zarezerwowana dla adresu tzw. pętli zwrotnej).

Identyfikator hosta

- **nie** może się składać z **samych jedynek**.
- **nie** może się składać z **samych zer**.
- musi być **unikalny** w segmencie sieci lokalnej.

Adres IP, który zawiera **same zera** w części hosta jest traktowany jako **adres sieci**.

Adres ograniczonego rozgłoszenia - 255.255.255.255 = 11111111 11111111 11111111 11111111
- adres rozgłoszenia w danym segmencie sieci ograniczonym routerami.
Adresy rozgłoszenia do sieci lub podsieci mają jedynki tylko w części hosta.

Adresy nieunikalne, powtarzalne - przykłady:

- adresy rozpoczynające się od liczby 127, które oznaczają zawsze komputer lokalny (zwykle 127.0.0.1).
- adresy tzw. transmisji grupowej.
- grupy tzw. adresów prywatnych.

2.1 Adresowanie oparte na klasach

Pierwszy bajt adresu determinuje do jakiej klasy należy sieć.

Klasa	Adres sieci	Adresy	Zakres 1-go bajtu	Najstarsze bity
A	w.0.0.0	1.0.0.0 - 126.0.0.0	1 – 126	0
B	w.x.0.0	128.0.0.0 - 191.255.0.0	128 – 191	10
C	w.x.y.0	192.0.0.0 - 223.255.255.0	192 – 223	110
D	nie dotyczy	nie dotyczy	224 – 239	1110
E	nie dotyczy	nie dotyczy	240 – 255	11110

Klasa	Ilość sieci	Komp. w sieci	ID sieci	ID hosta	"pierwszy"	"ostatni"
A	126	$2^{24} - 2$	1 bajt	3 bajty	w.0.0.1	w.255.255.254
B	$(191 - 128 + 1) * 256$	$2^{16} - 2 = 65534$	2 bajty	2 bajty	w.x.0.1	w.x.255.254
C	$(192 - 223 + 1) * 256 * 256$	$2^8 - 2 = 254$	3 bajty	1 bajt	w.x.z.1	w.x.z.254

- **Adresy klasy D** - przeznaczone są do transmisji grupowych.
- **Adresy klasy E** - zarezerwowane (nie wykorzystywane normalnie do transmisji pakietów).
- **Adresy pętli zwrotnej** (loopback) - postaci 127.x.y.z (na ogół 127.0.0.1). Cały ruch przesyłany na ten adres nie wychodzi z komputera.

Identyfikator sieci można określić na podstawie adresu IP oraz tzw. **maski sieci**. Jest to **liczba binarna 32 bitowa**, zapisywana podobnie jak adres IP, jednak **maska zawsze z lewej strony ma jedynki, natomiast z prawej ma zera**.
Przykłady masek:

255.0.0.0 = 11111111.00000000.00000000.00000000 = /8,
255.255.0.0 = 11111111. 11111111.00000000.00000000 = /16.

Adres sieci = AdresIP & Maska

Dzielenie sieci na podsieci
Dzielenie sieci na fragmenty nazywane **podsieciami** w celu zwiększenia efektywności działania.

- zmniejszenie ruchu w segmentach,
- zmniejszenoe tzw. dziedziny rozgłaszania (obszary przekazywania ramek rozgłoszeniowych, tj. z adresem MAC ff-ff-ff-ff-ff-ff-)
- zwiększenie bezpieczeństwa. Routery mogą działać jako filtry pakietów, które przepuszczają między sobą tylko pakiety spełniające określone kryteria.

Adres podsieci można określić przez użycie niestandardowych masek sieci (**masek podsieci**).

Dzielenie klasy A - maski 255.255.0.0, 255.255.255.0, dla B - 255.255.255.0.

Routery przechowują w tablicach routowania informacje o znanych im trasach do pewnych sieci. Administrator w trakcie konfiguracji routera wprowadza informacje o sieciach bezpośrednio przyłączonych do routera. Potem, po włączeniu opcji dynamicznego rutowania routery wymieniają się informacjami o sieciach wg protokołów rutowania i na tej podstawie budują sobie pewien obraz sieci i potrafią wyznaczać trasy datagramów.

Przykład: komputer A: 162.168.1.100, komputer B: 162.168.2.101
Maska 255.255.0.0 - komputery są względem siebie lokalne.
Maska 255.255.255.0 - komputery są względem siebie odległe (przedzielone routerem).

2.2 Adresowanie bezklasowe

Pytanie: czy nie można podzielić sieci na podsieci z **użyciem dowolnej liczby jedynek**? Na przykład, jeśli w sieci klasy B o adresie 149.159.0.0 /16 zastosowalibyśmy maskę podsieci nie 24 bitową (co daje 254 lub 256 podsieci z możliwością adresowania do 254 komputerów) tylko 22 bitową. Otrzymalibyśmy 62 lub 64 sieci, z których każda mogłaby mieć 1022 komputery. Do określenia sieci należy podać adres sieci oraz maskę. Obecnie w Internecie powszechnie jest wykorzystywane adresowanie bezklasowe. Przykład adresowania bezklasowego: 145.217.123.7 /20 (maska: 255.255.240.0)

3 Routing

Routowanie - proces przesyłania pakietów (datagramów IP) od hosta nadawczego do odbiorcy na ogół z wykorzystaniem routerów pośredniczących. Każdy host oraz router podejmuje decyzję jak przesłać datagram, podejmowaną na podstawie tzw. tabel routowania oraz pewnych reguł. **Routing statyczny** - gdy w routerze tabela routowania jest wypełniona wpisami statycznymi i nie zmienia się.
Routing dynamiczny - tabela routowania zmienia się dynamicznie na podstawie protokołów routowania.
Protokoły routowalne: **IPv4**, IPX firmy Novell (należący do stosu IPX/SPX), AppleTalk, IPv6. Routery mogą realizować trasowanie dla pakietów z protokołów innych niż IPv4.
Dla routerów tablica routowania na ogół jest modyfikowana dynamicznie na podstawie **protokołów routowania**. Określają one w jaki sposób routery mają wymieniać między sobą informacje na temat połączeń między routerami w sieci i jak na podstawie tych informacji mają aktualizować swoje tablice routowania.
Protokoły routowania: RIP, RIP2, OSPF, IGRP, EIGRP, BGP. **Brama domyślna** to router, do którego kierowany jest datagram, jeśli nie została znaleziona dla niego lepsza trasa w tablicy routowania.

Typy bezpośrednich połączeń:

- rozgłoszenia - np. Ethernet; działa protokół ARP,
- punkt-punkt - np. analogowa linia telefoniczna; technologie sieci rozległych WAN, ARP nie jest wykorzystywany;
- wielodostęp nierozgłoszeniowy (NBMA) - technologie przełączania pakietów WAN Frame Relay, ATM; ARP nie jest wykorzystywany.

3.0.1 Tablica routowania IP

Zawiera wpisy dotyczące tras do hostów, routerów i sieci. Zwykle w hostach liczba wpisów jest dużo mniejsza niż w routerach i zawiera informacje o bramie domyślnej.

W każdym hoście i routerze dla każdego przesyłanego pakietu IP na podstawie tablicy routowania wyznaczane są dwie wartości:

- interfejs – reprezentacja fizycznego urządzenia, przez które ma być wysłany pakiet,
- adres następnego skoku - adres IP następnego routera, do którego ma być skierowany datagram lub adres docelowy hosta, jeśli jest bezpośrednio dołączony do nadawcy

Tablica routowania zawiera następnujące pola:

- **Przeznaczenie (Destination)**
  W koniunkcji (logiczne AND) z polem Maska zawiera informację o zakresach adresów IP, które są dostępne przy użyciu tej trasy. Pole to może zawierać ID sieci lub adres IP konkretnego hosta lub routera. W prawidłowym wpisie nie może zawierać jedynek w miejscu, gdzie w Masce sieci są zera.
- **Maska sieci**
  Zawiera maskę sieci, może też zawierać same jedynki (255.255.255.255).
- **Adres następnego skoku**
  Adres IP, do którego datagram będzie przesłany w następnym kroku, jeśli zostanie wybrana ta trasa. Bez znaczenia dla połączeń punkt-punkt.
- **Interfejs**
  Oznaczenie interfejsu, przez który datagram będzie przesłany do miejsca określonego przez adres następnego skoku.
- **Metryka**
  Liczba wskazująca na koszt trasy. Im wyższa wartość, tym „gorsza” trasa.
- **Odległość administracyjna**
  Liczba przypisywana na podstawie tego, w jaki sposób router poznał trasę do danego miejsca docelowego. „Wygrywa” trasa z najmniejszą liczbą. Trasa domyślna może być oznaczana przez 0.0.0.0 w polu Przeznaczenie i 0.0.0.0 w polu Maska sieci.

Proces określania trasy na podstawie tablicy routowania:

- Dla każdej trasy w tablicy routowania określa się, czy jest ona **zgodna z adresem IP** w przesyłanym pakiecie. Trasa domyślna jest traktowana zawsze jako zgodna.
- Spośród tras zgodnych wybierana jest ta (lub kilka), dla której w polu **Maska sieci** jest **największa liczba jedynek**. Może się zdarzyć, że jedyną trasą zgodną jest trasa domyślna.
- Spośród tras, które zostały wybrane w punkcie 2 wybierane są trasy o **najmniejszej metryce**.
- Spośród tras wybranych w punkcie 3 wybierana jest dowolna trasa.

Routery potrafią również wykonywać równoważenie obciążeń.

3.0.2 Komunikaty ICMP o przekierowaniu

Komunikaty ICMP o przekierowaniu pozwalają hostom TCP/IP na konfigurację tylko jednego routera – bramy domyślnej nawet w sytuacji, gdy w sieci lokalnej są dwa lub więcej routerów, które są odpowiedzialne za pewne miejsca docelowe. Hosty mogą zacząć pracę z jedną domyślną trasą i uczyć się topologii sieci (w szczególności informacji o routowaniu) poprzez otrzymywanie komunikatów ICMP.

Komunikaty ICMP o przekierowaniu powinny być generowane przez routery, ale korzystać z nich mogą tylko hosty. Jeśli datagram IP zostanie celowo usuwanięty przez router, to może być wysłany odpowiedni komunikat protokołu ICMP do nadawcy.

4 Protokół IPv4

- Protokół warstwy trzeciej modelu ISO OSI.
- Oprogramowanie implementujące protokół IP jest odpowiedzialne za:
  - adresowanie IP,
  - tworzenie datagramów IP (pakietów)
  - uczestniczenie w kierowaniu ich w sieci z punktu początkowego do punktu docelowego.
- realizuje usługę zawodną. Jeśli komunikacja powinna zawierać mechanizmy niezawodności, to muszą one być dostarczone przez protokoły warstwy wyższej.
- Datagram IP składa się z nagłówka (header) i bloku danych (payload).
  - **Nagłówek** dzięki informacjom w nim zawartym umożliwia obsługę routowania, identyfikację bloku danych, określenie rozmiaru nagłówka i datagramu oraz obsługę fragmentacji. W nagłówku mogą się znaleźć również tzw. opcje rozszerzające. Ma zmienną długość (20 do 60 bajtów, co 4 bajty).
  - **Blok danych** może mieć długość do 65515 bajtów.

4.1 Nagłówek IPv4

- **Wersja** (4 bity) (=0100)
- **Długość nagłówka IP** (IHL – Internet Header Length) (4 bity)
  Najczęściej nagłówek ma 20 bajtów, a więc 5 bloków (0101 binarnie). Maksymalnie długość nagłówka może wynosić 60 bajtów.
- **Typ usługi**: TOS (Type of Service) lub DS. (Differentiaded Services) (8 bitów)
  Zawiera dodatkowe informacje, które mogą być użyte w routingu. Pierwotnie pole TOS było zdefiniowane następująco:
  - Bits 0-2: Precedence.
  - Bit 3: 0 = Normal Delay, 1 = Low Delay.
  - Bits 4: 0 = Normal Throughput, 1 = High Throughput.
  - Bits 5: 0 = Normal Relibility, 1 = High Relibility.
  - Bit 6-7: Reserved for Future Use (0).

  TOS było ustawiane przez hosta nadającego i nie było modyfikowane przez routery, miały być używane do obsługi QoS (Quality of Service). W rzeczywistości jego wykorzystanie było problematyczne.
  Zmieniono nazwę pola na DS (Differentiated Services) i sześć najstarszych bitównazwano DSCP. Następnie pozostałe dwa bity przeznaczono na ECN.
  - Bits 0-5: DCSP

  - Bits 6-7: ECN

  ECN jest rozszerzeniem protokołów IP oraz TCP. Umożliwia powiadamianie punktów końcowych IP/TCP o nadchodzącym zatorze bez usuwania pakietów, poprzez ustawienie warość 11 na bitach ECN. Jest opcjonalny.
  Standardowo (bez obsługi ECN) zator w sieci TCP/IP przejawia się usuwaniem pakietów. Dopuszczalne wartości na bitach ECN:

  - 00 – Non ECN-Capable Transport, Non-ECT
  - 10 – ECN Capable Transport, ECT(0)
  - 01 – ECN Capable Transport, ECT(1)
  - 11 – Congestion Encountered, CE.

  Odbiorca pakietu przesyła informację do źródła, wykorzystując odpowiednie flagi nagłówka TCP (ze względu na to, że zatorowi może przeciwdziałać TCP, nie IP). Pierwotne źródło danych redukuje prędkość transmisji zmniejszając rozmiar okna przeciążeniowego. Protokół TCP wspiera ECN przez wykorzystanie specjalnych trzech flag w nagłówku: TCP: Nonce Sum (NS), ECN-Echo (ECE) oraz Congestion Windows Reduced (CWR).

- **Długość całkowita** (16 bitów)
  Na podstawie tego pola oraz pola Długość nagłówka można określić wielkość bloku danych oraz początek tego bloku. Całkowita długość podawana jest w bajtach, maksymalna możliwa długość może wynosić 65535.
- **Identyfikator** (16 bitów)
  Identyfikator kolejnych datagramów. Wartość jest wpisywana przez host nadający i dla kolejnych datagramów jest zwiększana.
- **Flagi** (3 bity)
  3 bity tworzące dwie flagi używane przy fragmentacji datagramów.
- **Przesunięcie fragmentu** (13 bitów)
  Używane przy fragmentacji datagramów.
- **Czas życia** (TTL) (8 bitów)
  Określa przez ile łączy może przejść (skoków) datagram zanim zostanie odrzucony przez router. Host docelowy nie sprawdza TTL. Jeśli pakiet jest odrzucany to wysyłany jest komunikat ICMP „Time Expired – TTL Expired”.
- **Protokół** (8 bitów)
  Określa do jakiego protokołu warstwy wyższej należy przekazać datagram. Przykładowe wartości to 1 – ICMP, 6 – TCP, 17 – UDP.
- **Suma kontrolna nagłówka** (16 bitów)
  Liczona jest tylko dla nagłówka. Jest on dzielony na słowa 16-to bitowe. Są one dodawane a wynik negowany. Wynik umieszczany jest w polu sumy kontrolnej. W miejscu docelowym suma kontrolna jest ponownie obliczana. Ponieważ nagłówek w miejscu docelowym zawiera sumę kontrolną, to ponownie wyliczona suma powinna składać się z samych jedynek. Jeśli jest inna to oprogramowanie IP odrzuca odebrany pakiet (brak komunikatu o błędzie). Po przejściu przez router jest modyfikowane pole TTL, zatem suma kontrolna powinna ulec zmianie.
- **Adres IP źródła** (32 bity)
- **Adres IP docelowy** (32 bity)
- **Dodatkowe opcje i wypełnienie** (32 bity + ew. więcej).
  Opcje mogą zająć maksymalnie 40 bajtów i mogą zawierać m.in.:

  - zapis trasy (RR - Record Route)

    * kod - typ opcji; 1 bajt, RR=7

    - length - liczba bajtów opcji; 1 bajt, max=39
    - ptr – numer bajta wolnego miejsca na wpisanie kolejnego adresu IP; 1 bajt, na początku = 4
    - adres IP 1 (4 bajty)
    - ...
    - adres IP 9 (4 bajty)
- zapis czasu – timestamp
    - kod - typ opcji; 1 bajt, timestamp = 0x44
    - length - liczba bajtów opcji; 1 bajt, zwykle 36 lub 40
    - ptr - numer bajtu wolnego miejsca na kolejny wpis; 1 bajt, na początku = 5
    - OF - flaga przepełnienia. Jeśli router nie może dopisać swojego czasu, bo nie ma już miejsca, to powiększa OF o jeden; 4 bity, na początku = 0
    - FL - znacznik: 0 – zapisuj tylko czasy, 1 – zapisuj adres IP i czas, 2 – wysyłający wpisuje adresy IP, router o danym IP wpisuje czas
    - timestamp 1 (4 bajty)
    - ...
    - timestamp 9 (4 bajty)
- routowanie źrodłowe
  Normalnie to routery wybierają dynamicznie trasę datagramów. Można jednak określić trasę datagramu w opcjach nagłówka IP.
    - dokładne – wysyłający komputer określa dokładną trasę, jaką musi przejść datagram. Jeśli kolejne routery na tej trasie są przedzielone jakimś innym routerem, to wysyła komunikat ICMP „source route failed" i datagram jest odrzucany.
    - swobodne – wysyłający określa listę adresów IP, przez jakie musi przejść datagram, ale datagram może przechodzić również przez inne routery.

Pole opcji zawsze zajmuje wielokrotność 4 bajtów, stąd czasem jest uzupełniane zerami.

Za nagłówkiem IP w datagramie znajdują się dane (segment TCP, datagram UDP, komunikat ICMP).

4.2 Fragmentacja datagramów IPv4

MTU (Maximum Transmission Unit) to największa porcja danych, jaka może być przesłana w ramce przez pewną sieć (sieci) przy wykorzystaniu konkretnej technologii. Jeśli datagram IP jest większy niż wynika to z MTU dla warstwy łącza, to IP dokonuje fragmentacji. Najmniejsze MTU po drodze przejścia datagramu nazywa się **ścieżką MTU**. Jeśli nastąpiła fragmentacja, to w miejscu docelowym oprogramowanie warstwy IP składa fragmenty z powrotem w pakiety oryginalnej wielkości. Fragmenty też mogą być dalej dzielone, stają się samodzielnymi pakietami.

Pole identyfikator w nagłówku IP zawiera numer wysłanego pakietu. Pole powinno być inicjowane przez protokół warstwy wyższej. Warstwa IP zwiększa identyfikator o 1 dla kolejnych pakietów.
Pole flagi (3 bity) :

- Bit 0: zarezerwowane, musi być zero
- Bit 1: (DF) 0 = May Fragment, 1 = Don't Fragment.
- Bit 2: (MF) 0 = Last Fragment, 1 = More Fragments.

Jeśli bit 1 jest ustawiony, to znaczy, że pakiet nie może być dzielony. W przypadku konieczności dzielenia jest odrzucany i do nadawcy wysyłany jest komunikat ICMP (typ 3 z polem kod = 4). Pole przesunięcie fragmentu zawiera informację o przesunięciu fragmentu względem początku oryginalnego pakietu. Wyrażane jest w blokach ośmiobajtowych. Jeśli zgubiony zostanie chociaż jeden fragment, wówczas cały wyjściowy pakiet jest odrzucony, więc fragmentacja jest niekorzystna. Do tego może ona bardzo obciążać routery.

4.3 ICMP (Internet Control Message Protocol)

- raportowanie routingu,
- dostarczanie informacji o błędach podczas przesyłania ze źródła do komputera docelowego,
- dostarczanie funkcji sprawdzających możliwość komunikacji komputerów wykorzystaniem protokołu IP,
- pomoc w automatycznej konfiguracji hostów.

Komunikaty ICMP wysyłane są w pakietach IP. W efekcie w ramce znajduje się nagłówek IP, nagłówek ICMP oraz dane komunikatu ICMP.

Struktura komunikatu ICMP

- Typ (1 oktet)
- Kod (1 oktet)
- Suma kontrolna (2 oktety)
- Dane charakterystyczne dla typu (różna długość)

Typy komunikatów ICMP

0	Odpowiedź echa (echo reply)
3	Miejsce docelowe nieosiągalne (destination unreachable)
4	Tłumienie źródła (source quench)
5	Przekierowanie (redirect)
8	Żądanie echa (echo request)
9	Ogłoszenie routera (router advertisement)
10	Wybór routera (router selection)
11	Przekroczenie czasu (time exceeded)
12	Problem parametru (parameter problem)

Żądanie i odpowiedź echa Cel – wysłanie prostego komunikatu do węzła IP i odebranie echa tego komunikatu. Bardzo użyteczne przy usuwaniu problemów i naprawianiu sieci. Narzędzia takie jak ping oraz tracert i traceroute używają tych komunikatów ICMP do uzyskania informacji o dostępności węzła docelowego.

Żądanie echa:

- Typ = 8
- Kod = 0
- Suma kontrolna (2 oktety)
- Identyfikator (2 oktety)
- Numer sekwencji (2 oktety)
- Opcjonalne dane (różna długość)

Odpowiedź echa:

- Typ = 0

- Kod = 0
- Suma kontrolna (2 oktety)
- Identyfikator, Numer sekwencji, Opcjonalne dane przepisane z Echo request.

5 Routing dynamiczny

Sposób obsługi routowania przez warstwę IP to **mechanizm routowania** - przeglądanie przez tablicy routowania, podejmowanie decyzji co do przesyłania datagramów IP. Przez pojęcie **polityka routowania** określa się działania procesu routowania podejmowane w celu ustanowienia i bieżącej modyfikacji tablicy routowania, jest ona realizowana z wykorzystaniem protokołów routowania.

Pożądane cechy protokołów routowania to:

- Wyznaczenie **najlepszej trasy** do punktu docelowego, wymaga określenia kryterium porównywania tras.
- **Odporność** (robustness) - protokoły muszą zawsze działać poprawnie.
- **Szybkie osiągnięcie zbieżności** (rapid convergence), czyli stanu, w którym wszystkie routery „widzą" jednakowo topologię sieci. Szybkość określa czas rozpowszechnienia informacji o zmianach.
- **Dopasowanie do zmian** (flexibility), wyznaczanie nowych optymalnych tras.

Internet jest zorganizowany jako grupa tzw. systemów autonomicznych (Autonomous System – AS), z których każdy jest osobno administrowany. W każdym są wewnętrzne protokoły routowania (ang. IGP – interdomain gateway protocol lub IRP – interdomain routing protocol).

Ze względu na sposób działania protokoły routowania wewnętrznego dzielimy na:

- protokoły **wektora odległości** (DV, distance-vector): RIP, RIP2, IGRP, EIGRP
- protokoły **stanu łącza** (link-state): OSPF, OSPF2, IS-IS, NLSP

Uwaga: w starszych opracowaniach firmy Cisco protokół EIGRP był określany jako protokół hybrydowy.

Zewnętrzne protokoły routowania (EGP -bexterior gateway protocols) - międzydomenowe protokoły routowania używane między routerami działającymi w różnych systemach autonomicznych. Najważniejszym protokołem zewnętrznym jest BGP. Oprócz protokołów routowania rozważa się protokoły routowalne, takie jak IP, IPX, Apple Talk. Określają sposoby adresowania, umożliwiające dostarczanie pakietów w złożonej sieci komputerowej. Routery mogą wyznaczać trasy dla różnych protokołów routowalnych, nie tylko IP. Każdy z protokołów routowania i każdy z protokołów routowalnych musi być w routerze skonfigurowany.

5.1 Protokoły routowania wektora odległości

Distance vector – wektor odległości. Protokoły wektora odległości są oparte na **algorytmie Bellmana Forda** obliczania najkrótszych ścieżek w grafie.
Węzły grafu oznaczają routery, krawędzie odpowiadają połączeniom między routerami. Połączenia te mają różne koszty, co odpowiada różnym wagom krawędzi grafu. W protokołach routowania wagi nie mogą być ujemne, co oznacza, że można też wykorzystać np. algorytm Dijkstry (jest wykorzystywany w protokołach stanu łącza).

Nie zawsze router jest w stanie wykryć uszkodzenie łącza. Uszkodzeniu może ulec też np. sąsiedni router albo ramka zawierająca pakiet z wektorem odległości i wektor odległości nie dotrze do docelowego routera. Dlatego w protokołach typu wektor odległości trasa jest zaznaczana jako niedostępna, gdy router nie dostanie o niej informacji od sąsiada przez kilka kolejnych rozgłoszeń (np. w RIP 180 sekund, czyli sześć rozgłoszeń). Trasa niedostępna nie jest jeszcze usuwana z tablicy routowania przez kilka rozgłoszeń, np.

w RIP przez 90 sekund. Powoduje to większe opóźnienie w czasie uzyskania zbieżności.

5.2 Niekorzystne zjawiska związane z routowaniem wg protokołów wektora odległości

- Pętle routowania.
- Efekt odbijania.
- Zliczanie do nieskończoności.

Taktyki rozwiązania:

- **Dzielony horyzont (split horizon)**
  - **Do łącza nie zostanie przekazana informacja o trasach wiodących przez to łącze**.
  - Dzielony horyzont nie zawsze, ale zazwyczaj likwiduje **pętle routowania**.
- **Natychmiastowe/wymuszane aktualizacje (triggered updates)**
  - W przypadku zmiany metryki trasy **musi nastąpić rozgłoszenie bez względu na okres rozgłoszeń** charakterystyczny dla danego protokołu.
  - Powoduje to **szybszą zbieżność** i częściowo zapobiega **pętlom routowania**.
- **Zegary hold-down (hold-down timers)**
  - Router po otrzymaniu od sąsiada informacji o dezaktualizacji trasy włącza **specjalny zegar** (hold-down timer).
  - Jeśli przed upływem czasu progowego nastąpi:
    - **aktualizacja od tego samego sąsiada** na trasę aktywną, to **trasa** jest zaznaczana jako **aktywna**.
    - router dostanie **od innego routera informację** o trasie do rozważanego miejsca docelowego z **metryką mniejszą bądź równą** tej zdezaktualizowanej, wówczas następuje **wpis zgłoszonej trasy**.
    - router dostanie **od innego routera informację** o trasie do rozważanego miejsca docelowego z **metryką większą** od tej zdezaktualizowanej, taka trasa **nie jest brana pod uwagę**.

5.3 Protokół RIP

- Protokół typu wektor odległości.
- Metryką w RIP jest liczba skoków (hops) do celu. Można skonfigurować inne wartości dla połączeń, więc np. preferencję tras szybszych.
- Metryka 16 oznacza umownie nieskończoność (miejsce niedostępne), zatem RIP nie jest dobrym protokołem w przypadku dużych sieci.
- Można ustawić trasę domyślną (adres 0.0.0.0).
- W wersji RIP na routerach Cisco można przechowywać więcej niż jedną trasę o takiej samej metryce. Można włączyć równoważenie obciążeń (load balancing) na dwa sposoby:
  - **Process switching** (packet-by-packet load balancing), kosztowny i dlatego nie polecany, każdy pakiet jest kierowany osobno, dla każdego jest przeglądana tablica routowania.

  - **Fast switching** (destination-by-destination), tylko dla pierwszego pakietu z pewnego miejsca źródłowego do pewnego miejsca docelowego przeszukiwana jest tablica routowania. Wyznaczona trasa jest zapisywana w pamięci podręcznej (cache) i kolejne pakiety wędrują tą samą ścieżką.

- Wykorzystywane są następujące **mechanizmy** typowe dla protokołów wektor odległości:
  - Split horizon (+ with poison reverse)
  - Holddown counters (timers)
  - Triggered updates
- **Cztery zegary, liczniki** (timers, counters):
  - **Update timer** (standardowo 30 sekund) – po przesłaniu wektora odległości (routing update) zegar jest zerowany. Po osiągnięciu 30 s. wysyłany jest następny wektor.
  - **Invalid timer** (standardowo 180 sekund) – za każdym razem jak router dostaje uaktualnienie pewnej trasy zegar ten dla trasy jest zerowany. Po osiągnięciu wartości progowej trasa jest zaznaczana jako niepoprawna, ale pakiety jeszcze są kierowane tą trasą.
  - **Hold-down timer** (standardowo 180s.) – po przekroczeniu wartości progowej przez invalid timer trasa jest ustawiana w stan hold-down. Trasa jest ustawiana w stan holddown również gdy router dostanie informację o tym, że sieć jest nieosiągalna (i nie ma innej, osiągalnej trasy).
  - **Flush-timer** (standardowo 240s.) – zegar dla trasy jest zerowany po otrzymaniu informacji o trasie. Po osiągnięciu czasu progowego trasa jest usuwana nawet, jeśli trasa jest jeszcze w stanie hold-down.
- Przewidziano możliwość **odpytywania routera o cały wektor odległości** lub o **trasy** do pewnych miejsc docelowych – takie możliwości są wykorzystywane prze starcie oraz na ogół w celach diagnostycznych.

- **Zalety RIP**
  - prostota - procesor nie jest nadmiernie obciążony aktualizacją tablicy routowania i innymi działaniami,
  - łatwość konfiguracji.
- **Wady RIP**
  - wolne rozprzestrzenianie się informacji o zmianach w topologii sieci (wolna zbieżność),
  - stosunkowo częste (co 30s.) przesyłanie dużych porcji informacji w komunikatach RIP, co obciąża sieć.
  - Wadą RIPv1 jest to, że nie daje możliwości przesyłania masek. RIP w wersji 1 jest protokołem routowania klasowego. Przyjmowana jest maska taka, jaka jest ustawiona na interfejsie, do którego dotarł wektor odległości z tą informacją. Na granicach klas jednak routery RIP wykonują automatyczną sumaryzację, co przy niepoprawnych konfiguracjach może prowadzić do błędów w routowaniu.
- RIPv2 przekazuje maski podsieci, można stosować sieci bezklasowe i podsieci o zmiennym rozmiarze. Umożliwia prostą autentykację (przez hasła). Przekazuje adresy następnego skoku w komunikatach. Część wad RIP pozostała: 16 jako metryka oznaczająca nieskończoność, brak alternatywnych tras.

5.4 Wiele protokołów routowania. Odległości administracyjne.

W środowisku współdziałania wielu protokołów routowania dla tras, w zależności od tego jakie jest ich źródło, ustawiana jest tzw. **odległość administracyjna**. Odległość jest używana tylko **wewnętrznie**

przez router, wybierane są trasy o **najmniejszej odległości**.

Standardowe odległości dla tras:

Źródło trasy	Odległość administracyjna
Connected interface	0
Static route	1
Summary EIGRP	5
External BGP	20
Internal EIGRP	90
IGRP	100
OSPF	110
IS-IS	115
RIP	120
EGP	140
Internal BGP	200
Unknown	255

Na routerach można również włączyć redystrybucję tras między protokołami routowania według różnych zasad, z odpowiednim przeliczaniem metryk.

6 Protokoły UDP i TCP (warstwa transportowa)

- Informacje o **docelowym i źródłowym procesie** zawarte są w nagłówkach protokołów warstwy transportu.
- Protokoły UDP i TCP umożliwiają dostarczenie danych do procesu działającego na komputerze, przy czym wykorzystywane są tzw. **porty**. Porty są ponumerowane, numer portu jest liczbą dwubajtową.
- Aplikacja rezerwuje na swoje potrzeby pewne zasoby (komunikacyjne bufory w pamięci operacyjnej), ma do dyspozycji tzw. **gniazda**.
- Każde gniazdo jest identyfikowane przez numer IP oraz numer portu. **Interfejs komunikacyjny** umożliwiający komunikowanie się programów z wykorzystaniem TCP/UDP nazywa się **interfejsem gniazd**.

6.1 UDP – User Datagram Protocol

- Prosty protokół bezpołączeniowy warstwy transportu.
- Umożliwia przesyłanie danych między procesami dzięki określeniu adresów IP komputerów oraz 16 bitowych numerów portów.
- Porcja danych zgodna z protokołem UDP nazywana jest datagramem/pakietem UDP.
- Nie zapewnia niezawodności. Ewentualne zapewnienie niezawodności musi być realizowane przez protokoły warstwy aplikacji.
- Niewielki nagłówek (8 bajtów), nie zawiera mechanizmów ustanawiania połączenia ani sterowania przepływem datagramów, zatem jest szybszy od TCP.
- Datagramy UDP mogą być przesyłane w pakietach IP z adresem docelowym przesyłania grupowego.
- Przykłady zastosowań: strumieniowanie audio/wideo, wideokonferencje, transmisje głosu; RIP (port 520).

Aplikacja jest odpowiedzialna za rozmiar wysyłanego datagramu. Jeśli wielkość przekroczy MTU sieci, wówczas datagram IP (zawierający w sobie datagram UDP) jest dzielony (następuje fragmentacja IP).

6.1.1 Porty

Aktualne przyporządkowanie numerów portów można znaleźć na stronie IANA.

- Poprawne numery portów: $1 \ldots 65535$.
- Numer 0 może być używany jako numer portu źródłowego, jeśli nadawca nie oczekuje odpowiedzi.

- IANA dzieli porty na trzy grupy:
  - $1 \ldots 1023$ – porty ogólnie znane, mogą być przypisywane przez procesy systemowe lub działające z uprawnieniami użytkownika uprzywilejowanego.
  - $1024 \ldots 49151$ – zarejestrowane, do użytku przez różne aplikacje.
  - $49152 \ldots 65535$ – dynamiczne lub prywatne, np. dla testowanych aplikacji klient-serwer. Mogą być przydzielane dynamicznie np. dla przeglądarki WWW.

6.1.2 Enkapsulacja datagramu UDP

nagłówek IP 20 bajtów	nagłówek UDP 8 bajtów	dane UDP ...

Nagłówek UDP

- Numer portu źródłowego (16 bitów)
- Numer portu docelowego (16 bitów)
- Długość UDP (nagłówek + dane) – wypełniana opcjonalnie (16 bitów)
- Suma kontrolna UDP (16 bitów)
- Dane, jeśli są

Suma kontrolna

- Jedyny mechanizm sprawdzenia poprawności datagramu w UDP.
- Opcjonalna, jeśli datagram UDP jest przesyłany w pakiecie IPv4.
- Obowiązkowa, jeśli datagram UDP jest przesyłany w pakiecie IPv6.
- Dodawane są liczby 16 bitowe, stąd możliwa konieczność dodania do obliczeń dodatkowego bajtu z samymi zerami (jeśli długość datagramu liczona w bajtach jest liczbą nieparzystą).
- Do obliczenia sumy kontrolnej używany jest tzw. pseudonagłówek. Pseudonagłówek nie jest przesyłany.

Pseudonagłówek (12 bajtów) w pakiecie IPv4:

- Adres IP źródła (32 bity)
- Adres IP celu (32 bity)
- 8 zer
- Typ protokołu (8 bitów, UDP = 17)
- Długość UDP (16 bitów)

Algorytm jest taki sam jak dla sumy kontrolnej nagłówka IPv4 (jednak w IPv4 suma kontrolna obejmowała sam nagłówek, w UDP obejmuje również przesyłane za nagłówkiem dane).

6.2 TCP – Transmission Control Protocol

Oprogramowanie TCP tworzy połączenia między dwoma procesami z jednoczesną dwukierunkową transmisją. Punkty końcowe są identyfikowane przez parę: numer IP, numer portu. Połączenie identyfikowane jest przez cztery liczby: dwa numery IP oraz dwa numery portów.
Pomiędzy procesami przesyłane są dwa strumienie 8-bitowych oktetów, po jednym w każdą stronę (**strumień oktetów**). Bajty wysyłane są w segmentach, ale proces docelowy nie jest w stanie z góry określić wielkości nadchodzących porcji. Ilość bajtów danych przesyłanych w jednym segmencie nie powinna być większa niż ustalony MSS (**Maximum Segment Size**).

Cechy TCP

- Partnerzy (procesy) tworzą połączenie z wykorzystaniem mechanizmu (trójfazowego) uzgodnienia.
- Zamknięcie połączenia odbywa się z wykorzystaniem mechanizmu uzgodnienia (zgoda na zamknięcie).
- TCP zapewnia sterowanie przepływem. Informuje partnera o tym ile bajtów danych ze strumienia danych może od niego przyjąć (okno oferowane). Rozmiar okna zmienia się dynamicznie i jest równy rozmiarowi wolnego miejsca w buforze odbiorcy. Zero oznacza, że nadawca musi zaczekać, aż program użytkowy odbierze dane z bufora.
- Dane ze strumienia danych dzielone są na fragmenty, które według TCP mają najlepszy do przesłania rozmiar. Jednostka przesyłania danych nazywa się **segmentem**.
- TCP zapewnia **niezawodność** połączenia.

Mechanizmy niezawodności

- **Potwierdzanie otrzymania segmentów z mechanizmem zegara.**
  Odebrany segment musi być potwierdzony przez odbiorcę przez wysłanie segmentu potwierdzającego. Jeśli potwierdzenie nie nadejdzie w odpowiednim czasie, segment zostanie przesłany powtórnie.
- **Sumy kontrolne.**
  Jeśli segment zostanie nadesłany z niepoprawna sumą kontrolną, to jest odrzucany. Nadawca po odczekaniu odpowiedniego czasu prześle segment jeszcze raz.
- **Przywracanie kolejności nadchodzących segmentów.**
  Segmenty mogą nadchodzić w kolejności innej niż zostały wysłane, oprogramowanie TCP przywraca prawidłową kolejność przed przekazaniem do aplikacji.
- **Odrzucanie zdublowanych danych.**

6.2.1 Nagłówek TCP

- **Numer sekwencji.**
  Dla segmentu z ustawionym tylko znacznikiem SYN w to pole wpisywany jest (losowy) numer sekwencji początkowej (Initial Sequence Number). Taki segment jest wysyłany w celu rozpoczęcia nawiązywania połączenia. Pierwszy oktet przesyłanych danych ze strumienia w rzeczywistości będzie miał numer ISN+1. W kolejnych segmentach w połączeniu TCP w polu numer sekwencji jest numer pierwszego oktetu danych w segmencie. Numer potwierdzenia jest ważny tylko przy włączonym znaczniku ACK. Znacznik ACK jest włączany tylko wówczas, jeśli segment zawiera potwierdzenie odebrania jakiegoś segmentu. Numer potwierdzenia jest to kolejny numer bajta (w strumieniu danych), którego spodziewa się wysyłający potwierdzenie.
- **Długość nagłówka** (przesunięcie danych).
  Wielkość nagłówka wyrażona w liczbie bloków 4-bajtowych.
- **Jednobitowe znaczniki** (flagi):
  - NS, CWR, ECE – związane z przeciwdziałaniem przeciążeniom na routerach.

  - NS – jednobitowa suma kontrolna wartości flag związanych z mechanizmem ECN weryfikująca ich integralność;
  - ECE – Jeśli flaga SYN=0, to flaga ECE jest ustawiana na 1 przez odbiorcę segmentu, jeśli segment ten dotarł w pakiecie IP z ustawionym kodem CE w bitach ECN nagłówka IP; Jeśli SYN=1, wówczas ECE=1 oznacza, że mechanizm ECN będzie stosowany (czyli jest to element nawiązania połączenia, w którym druga strona połączenia jest informowana o tym, że można stosować ECN),
  - CWR – flaga potwierdzająca odebranie ECE i zredukowanie wielkości okna przeciążeniowego.
  - URG – wskaźnik ponaglenia
  - ACK – segment potwierdzenia,
  - PSH – segment „push" – wypchnięcie danych,
  - RST – zresetowanie połączenia,
  - SYN – synchronizacja,
  - FIN – nadawca zakończył przesyłanie danych.

- **Rozmiar okna.**
  Oznacza liczbę bajtów, które odbiorca może zaakceptować.
- **Suma kontrolna.**
  Liczona dla nagłówka i danych, z użyciem pseudonagłówka (algorytm analogiczny jak w UDP oraz IP).
- **Wskaźnik ważności.**
  Dodatnie przesunięcie, które musi być dodane do numeru przesunięcia sekwencyjnego pierwszego oktetu danych aby uzyskać numer ostatniego bajta szczególnie ważnych danych w segmencie (dane te są na początku segmentu). Pole to jest brane pod uwagę tylko, jeśli bit URG jest ustawiony na 1.
- **Opcje.**
  Rodzaj opcji (bajt), długość opcji (bajt), opcja. Najważniejsza opcja to **MSS**. Może być uzyskana jako MTU (Maximum Transmission Unit) minus rozmiar nagłówka IP oraz TCP.

Specyfika stanu TIME WAIT
Spóźnione segmenty są w czasie 2 MSL odrzucane. Para punktów końcowych definiujących połączenie nie może być powtórnie użyta przed upływem 2MSL. Eliminuje to ewentualne kłopoty związane z odbieraniem z sieci segmentów jeszcze ze starego połączenia.

Półzamknięcie TCP
Strona, która zakończyła połączenie i nie nadaje danych, może dane odbierać od partnera TCP. Takie połączenie nazywane jest połączeniem półzamkniętym (half-closed).

Segmenty RST
Segment RST wysyłany jest przez oprogramowanie implementujące TCP, kiedy nadchodzi segment niepoprawny z punktu widzenia dowolnego połączenia. Segment RST nie jest potwierdzany. W protokole UDP generowany jest komunikat ICMP o tym, że port jest nieosiągalny. Segment RST jest wysyłany również wtedy, gdy przekroczona jest maksymalna dopuszczalna liczba połączeń TCP.

Połączenia półotwarte (połowicznie otwarte)
Jest to połączenie nie poprawnie nawiązane. Występuje, jeśli jedna ze stron przerwała połączenie bez informowania drugiej. Segment z ustawioną na 1 flagą SYN został przesłany od klienta do serwera, serwer odpowiedział segmentem z ustawionymi na 1 flagami SYN i ACK, ale klient nie odpowiedział segmentem z ustawioną na 1 flagą ACK. Jeden ze sposobów atakowania serwisów (np. WWW) polegał na otwieraniu bardzo dużej liczby połączeń półotwartych. Obecnie implementacje TCP są odporne na tego typu ataki. Dopuszczalne jest, by oprogramowanie realizujące TCP mogło sprawdzać stan połączenia przez okresowe przesyłanie segmentów sprawdzających aktywność. Segment taki to zawiera ustawioną na 1 flagę ACK i nie zawiera żadnych danych. Dodatkowo ma on ustawiony numer sekwencyjny na o 1 mniejszy od tego,

którego normalnie spodziewa się strona wysyłająca ACK. Partner odpowiada też segmentem z ustawioną na 1 flagą ACK ze standardowo ustawionymi prawidłowymi wartościami numerów sekwencyjnych.

6.2.2 Opcje TCP

- **Koniec listy opcji**: 1 bajt - 0.
- **Brak operacji**: 1 bajt - 1. Opcja ta jest stosowana do dopełnienia pola do wielokrotności 4 bajtów.
- **MSS**: typ = 2, długość = 4, dane – 2 bajty ustawione na mniejszą wartość z wartości MSS podanych przez strony połączenia. MSS podawany jest w segmentach SYN.
- **Skala okna**: typ = 3, długość = 3, dane – 1 bajt = współczynnik skali (licnzik przesunięć), określa liczbę mnożeń przez 2 wielkości rozmiar okna, max. 14.
- **Pozwolenie na selektywne potwierdzanie**: typ opcji = 4, długość = 2.
- **Selektywne potwierdzanie**: typ = 5, długość = 10, 18, 26 lub 34 (potwierdzenie jednego, dwóch, trzech lub czterech nieciągłych bloków danych).
- **Sygnatury czasowe**: typ = 8, długość = 10, timestamp – 4 bajty, echo timestamp – 4 bajty. Stosowana jest do określania RTO (retransmission time-out).

6.2.3 Przepływ danych w TCP

Potwierdzenia

- **Skumulowane potwierdzanie**
  Segment TCP z ustawionym znacznikiem ACK jest segmentem potwierdzającym. Numer potwierdzenia to numer następnego bajta, który nadawca ACK spodziewa się otrzymać od nadawcy potwierdzanych danych.Taki sposób potwierdzania nie jest korzystny w środowisku z dużą liczbą gubionych segmentów.
- **Opóźnione potwierdzenia**
  Potwierdzenie otrzymania segmentu nie jest wysyłane natychmiast. Zalety takiego podejścia są następujące:
  - Podczas trwania opóźnienia mogą zostać odebrane następne segmenty i potwierdzenie może je obejmować.
  - Można dołączyć ACK do segmentu przesyłanych danych (piggybacking).
  - Oprogramowanie TCP realizuje utrzymanie połączenia.
- **Selektywne potwierdzenia**
  Realizowane przez jedną z opcji TCP. Przydaje się w łączach które są szerokopasmowe i mają duże opóźnienie. Rozmiar okna może tu być duży, nadawca może na raz transmitować dużą liczbę segmentów. Jeśli pierwszy segment zaginie, to nadawca niepotrzebnie retransmituje wszystkie. Selektywne potwierdzanie temu zapobiega.

Ruchome okna TCP (sliding windows)
Połączenie TCP obejmuje dwa strumienie danych. W każdym strumieniu określony jest nadawca i odbiorca. Kontrolę przesyłania oktetów w strumieniu umożliwiają mechanizmy tzw. przesuwnych (ruchomych) okien, które można sobie wyobrazić jako nałożone na strumień. Dla strumienia określone jest okno nadawcy oraz okno odbiorcy. Nadawca może wysyłać tylko te dane, które są w tej chwili w jego oknie nadawczym, przy czym może to zrobić tylko za zgodą odbiorcy. Okno nadawcze jest przesuwane nad wyjściowym strumieniem bajtów, okno odbiorcze nad strumieniem wejściowym.

Okno nadawcze Nadawca określa, które oktety w jego strumieniu wyjściowym zostały:

- wysłane i potwierdzone,
- wysłane, ale jeszcze nie potwierdzone,
- jeszcze nie wysłane, ale już znajdujące się w oknie nadawczym

- jeszcze nie wysłane i znajdujące się poza oknem nadawczym

Dane w oknie nadawczym mogą być wysłane przez nadawcę, gdyż odbiorca na to zezwolił, lub jeszcze raz wysyłane wskutek realizacji strategii powolnego startu lub zapobiegania zatorom. Okno nadawcze rozciąga się od oktetu, którego spodziewa się partner w ostatnim potwierdzeniu ACK.
Okno nadawcze ma lewą i prawą krawędź. W trakcie potwierdzania kolejnych segmentów lewa krawędź okna nadawczego przesuwa się w prawo powodując tzw. zamykanie okna. Jeśli numer potwierdzenia + rozmiar okna wskazują na konieczność przesunięcia prawej krawędzi, to jest ona przesuwana powodując tzw. otwieranie okna.
Jeśli bufor odbiorczy się wypełni to odbiorca przesyła z potwierdzeniem ostatniego segmentu proponowany rozmiar okna równy zero. Kiedy bufor odbiorczy zostane całkowicie opróżniony odbiorca wysyła „zbędny" segment ACK bez danych i z numerem potwierdzenia takim jak poprzedni ACK. Ten segment nie jest potwierdzany ani retransmitowany.

Okno odbiorcze Odbiorca określa, które oktety w jego strumieniu wejściowym zostały:

- odebrane, potwierdzone i pobrane do warstwy aplikacji
- odebrane, potwierdzone, ale jeszcze nie pobrane do warstwy aplikacji
- odebrane, ale jeszcze nie potwierdzone
- nie odebrane, ale znajdujące się w tzw. bieżącym oknie odbiorczym (wolna przestrzeń buforu odbiorczego)
- nie odebrane i znajdujące się poza oknem odbiorczym (nie zostaną odebrane)

Maksymalne okno odbiorcze obejmuje wszystkie oktety odebrane. Ma ono stałą wielkość równą buforowi do odbierania danych w połączeniu TCP. Bieżące okno odbiorcze obejmuje odebrane niepotwierdzone i będące w bieżącym oknie odbiorczym.
Ze względu na to, że oktety są ponumerowane łatwo można określić, w którym miejscu strumienia powinny się znaleźć. W każdym segmencie jest przekazywany numer pierwszego oktetu danych. Bieżące okno odbiorcze ma lewą i prawą krawędź, analogicznie jak dla okna nadawczego. Prawa krawędź odbiorczego okna bieżącego pokrywa się z prawą krawędzią maksymalnego okna odbiorczego. Jeśli aplikacja odbiera dane z bufora, to krawędź ta przesuwa się w prawo (podobnie jak lewa krawędź maksymalnego okna odbiorczego). Potwierdzanie ACK przesuwa lewą krawędź okna bieżącego w prawo.

6.2.4 Przesyłanie małych segmentów

Tak określa się segmenty o rozmiarze mniejszym od MSS. Przesyłanie małych segmentów zmniejsza efektywność sieci. Aby temu zapobiec stosowane są takie mechanizmy, jak algorytm Nagle'a i unikanie „syndromu głupiego okna".

- **Algorytm Nagle'a**
  „Dopasowuje się" do sieci, w której przesyłane są segmenty.
  - TCP powinno przesyłać tylko pojedyncze małe niepotwierdzone segmenty.
  - W czasie oczekiwania na potwierdzenie, dane są gromadzone w buforze.
  - W sieci o szerokim paśmie i małym opóźnieniu akumulacja jest mała, efektywność mniejsza, ale kompensowana szybkością sieci. W sieciach o małym paśmie i dużych opóźnieniach akumulacja zwiększa efektywność.

  Algorytm Nagle'a może być wyłączany przez oprogramowanie TCP.
- **Syndrom głupiego okna** (SWS)
  - Jeśli odbiorca ma zerowy rozmiar okna (i nadawca też) oraz warstwa aplikacji pobierze 1 bajt, to okno odbiorcze otwiera się o jeden bajt.

– Odbiorca może wysłać ACK z proponowaną wielkością okna równą 1. Gdyby tak było, to druga strona połączenia też powiększy okno nadawcze o jeden bajt i prześle segment zawierający 1 bajt danych itd.

– Aby uniknąć SWS odbiorca ogłasza nowy rozmiar okna dopiero, gdy rozmiar ten wynosi co najmniej MSS lub połowę maksymalnego rozmiaru okna odbiorczego.

– Nadawca unika SWS wstrzymując się z wysyłaniem danych dopóki rozmiar okna proponowanego przez odbiorcę nie jest równy co najmniej MSS. „Interaktywne" dane mogą być wysyłane z flagą PSH wg algorytmu Nagle'a.

Dodatkowa kontrola przepływu po stronie nadawcy
Nadawca może przesłać wszystkie segmenty, które znajdują się w oknie nadawczym. Takie działanie może jednak doprowadzić do zatorów. Poniższe algorytmy bazują na pojęciu okna przeciążeniowego (okna zatoru, congestion window) i zapobiegają zatorom oraz powodują unikanie powtórnej zapaści.

- **Algorytm powolnego startu**
  Po otwarciu połączenia lub dłuższym czasie nie przesyłania danych wielkość okna przeciążeniowego ustawiana jest na 2*MSS. Każde przychodzące potwierdzenie (ACK) powoduje zwiększenie okna przeciążeniowego o jeden MSS. Może to prowadzić do wykładniczego wzrostu wielkości tego okna Rozmiar okna nadawczego ustalany jest jako minimum z wielkości okna przeciążeniowego oraz ogłoszonego przez odbiorcę bieżącego okna przeciążeniowego.
- **Algortym unikania zatoru**
  Tu stosuje się wolniejszy wzrost wielkości okna przeciążeniowego, np. o jeden segment na kilka przychodzących ACK. Algorytm ten działa zwykle od pewnego progu (najpierw działa powolny start).

6.2.5 Retransmisje segmentów w TCP

W każdym połączeniu definiowana jest zmienna RTO (Retransmission Time-out). Jeśli TCP nie odbierze ACK w czasie RTO dla pewnego nadanego segmentu, to segment musi być retransmitowany. RTO powinien być większy od stale obliczanego RTT (Round Trip Time). Segmenty ACK (bez danych) nie są potwierdzane. Wyznaczenie prawidłowej wartości RTO jest ważne dla uniknięcia zapaści spowodowanej przeciążeniem (np. RTT rośnie szybciej niż wyliczany RTO, segmenty będą retransmitowane co jeszcze zwiększy ruch w sieci).

Zasady retransmisji Jeśli nie określono innych: dla początkowego segmentu przyjmuje się bieżące znane RTO dla połączenia. Po upłynięciu RTO wartość RTO jest podwajana, a segment wysyłany ponownie.

Potwierdzenie dla retransmitowanego segmentu jest niejednoznaczne, nie wiadomo czy jest to opóźnione potwierdzenie pierwszej kopii, czy potwierdzenie drugiej kopii. Rodzi to problemy z szacowanym RTT. **Niejednoznaczność potwierdzenia – Algorytm Karna** Pomiary RTT dla retransmitowanych segmentów są pomijane. Może to rodzić problemy, jeśli RTT gwałtownie wzrośnie. Dlatego tymczasowo stosowane jest dublowanie RTO dla kolejnych retransmitowanych segmentów. Dopiero przyjęcie ACK segmentu nie retransmitowanego powoduje obliczenie RTT i RTO dla tego nowego czasu RTT.

7 Informacje uzupełniające

7.1 Szerokość pasma

W sieciach komputerowych termin ten oznacza na ogół liczbę bitów, które mogłyby być przesłane w danej technologii w ciągu sekundy. Może oznaczać również częstotliwość zegara taktującego, wykorzystywanego w danej technologii sieciowej.

7.2 Przepustowość

Przepustowość jest miarą ilości użytecznej informacji dostarczonej z sukcesem przez ścieżkę komunikacyjną. Przepustowość odnosi się do mierzonej efektywności systemu, np. łącze o szerokości pasma 100

Mb/s może osiągnąć przepustowość np. 70 Mb/s, ze względu na implementację, wykorzystane protokoły, szyfrowanie itd.

W zależności od tego czy uwzględnia się narzut związany z technologią, narzut związany z protokołami komunikacyjnymi definiuje się różne odmiany przepustowości.

- **Przepustowość maksymalna**
  - maximum theoretical throughput - największa możliwa do przesłania liczba bitów danych w jednostce czasu; do tych bitów NIE wlicza się narzutu warstwy pierwszej i drugiej,
  - peak measured throughput -wartość mierzona w rzeczywistym systemie lub na symulatorze w krótkim odcinku czasu,
  - maximum sustained throughput - średnia wartość dla długotrwałych obciążeń.
- **Efektywna przepustowość** (Goodput, przepustowość warstwy aplikacji)
  - Mierzy liczbę bitów danych efektywnie przesłanych w warstwie aplikacji w jednostce czasu.
  - Iloraz liczby bitów dostarczonych w warstwie aplikacji do czasu mierzonego od wysłania pierwszego do dostarczenia ostatniego przesłanego bitu.
  - Nie zalicza się narzutu związanego z technologią warstwy drugiej i pierwszej, protokołami z warstw wyższych, niezawodnością.

7.3 Pozostałe

- **Opóźnienie** - w sieciach z przełączaniem pakietów oznacza czas, jaki mija od wysłania pakietu do odebrania go przez adresata. Może być mierzony w jedną stronę (one way) lub w dwie (round-trip delay time).
- **Zmienność opóźnienia** - miara krótkotrwałych zmian w opóźnieniu. Duża zmienność ma bardzo niekorzystny wpływ np. na jakość transmitowanego dźwięku.
- **Czas propagacji** - czas w jakim sygnał pokona pewną odległość w medium transmisyjnym.
- **Czas transmisji** - czas jaki zajmuje umieszczenie pakietu w medium transmisyjnym.
- **Opóźnienie przekazania** - czas jaki mija od odebrania pakietu przez urządzenie (przekazujące pakiet) do momentu, gdy pakiet może być wysłany.
- **Czas przetwarzania** - czas w jakim pakiet jest przetwarzany w urządzeniu, obejmuje np. wykonanie zmian w nagłówkach, wyznaczenie routera następnego skoku itd.
- **Niezawodność sieci**
- **Współczynnik gubienia pakietów**, Packet Loss Ratio (PLR) - iloraz liczby straconych pakietów do całkowitej liczby pakietów przesłanych w pewnym czasie.

8 DNS

Oprócz adresu IP komputer ma przyporządkowaną **nazwę**. Konwencje nazywania komputerów:

- **nazwy hosta**
  W czasach gdy istniała sieć ARPAnet każdy komputer miał przydzieloną własną unikalną nazwę. Nazwy wszystkich komputerów były przechowywane w pliku HOSTS.TXT. Plik ten musiał być ręcznie aktualizowany i centralnie zarządzany oraz rozsyłany z centrum do lokalnych komputerów.

- **nazwy DNS**
  Domain Name System – system nazw domenowych, który jest rozproszonym systemem przechowującym informacje o nazwach komputerów i ich numerach IP. System ten zawiera mechanizmy tłumaczenia nazw. Dane DNS przechowywane są na serwerach nazw. Serwer DNS jest odpowiedzialny za swój fragment sieci i udostępnia swoje dane innym serwerom. DNS jest systemem hierarchicznym i jego strukturę można przedstawić w postaci drzewa. Termin domena DNS jest często utożsamiany z poddrzewem drzewa DNS. Dostęp do serwera DNS jest realizowany przez mechanizm określany czasem jako resolver.
- **nazwy NetBIOS**.

Istnieją mechanizmy tłumaczące nazwy na numery IP i odwrotnie. Ciałem odpowiedzialnym za koordynację nazw domen górnego poziomu a także odpowiedzialnym za przypisywanie adresów IP jest IANA Internet Assigned Numbers Authority. Ciałem nadzorującym od strony technicznej różne działania związane z uzyskiwaniem (rejestrowaniem) nazw domen, numerów Ip, numerów portów jest ICANN - Internet Corporation for Assigned Names and Numbers.

Domeny górnego poziomu

- arpa - specjalna, wykorzystywana do odwzorowania adresów IP w nazwy.
- Domeny podstawowe (generic, gTLD), np: com, edu, gov.
- Domeny geograficzne (krajowe, country-code ccTLD), np: pl, uk, de.

Domeny drugiego poziomu - w wielu krajach domeny drugiego poziomu odzwierciedlają domeny organizacyjne pierwszego poziomu, ale ujmowane na swoim terytorium. Przykłady: edu.pl, com.pl, co.uk, ac.uk.

W DNS (np. w plikach konfiguracyjnych) występują często tzw. **absolutne nazwy domeny**, inaczej w pełni określone nazwy domeny (FQDN). FQDN jest to nazwa domeny zakończona kropką (np. ii.uj.edu.pl.). Jeśli nazwa nie jest zakończona kropką, to może być jakoś uzupełniana.

Obszar, inaczej **strefa** (zone) jest częścią systemu DNS, która jest oddzielnie administrowana. Domeny drugiego poziomu dzielone są na mniejsze strefy. Z kolei te strefy mogą być dalej dzielone. Występuje tu delegowanie zarządzania w dół struktury drzewa. Jednostka odpowiedzialna za zarządzanie daną strefą decyduje ile będzie serwerów DNS w strefie, rejestruje i udostępnia nazwy i numery IP nowych komputerów zainstalowanych w strefie. W tej chwili jest na świecie 13 (typów) serwerów głównych (najwyższego poziomu) zwanych po angielsku root-servers, posiadającymi nazwy od a.root-servers.net do m.root-servers.net.

Poszukiwania w DNS

- Proste, „do przodu”– klient zna nazwę domenową, a chce uzyskać numer IP.
- Odwrotne (reverse) – klient zna adres IP i chce uzyskać nazwę domenową. Przeszukiwanie odwrotne wykorzystuje domenę arpa.in-addr. Jeśli chcemy poznać nazwę domenową komputera, to w systemie DNS adres ten jest reprezentowany jako specyficzna nazwa w domenie arpa.in-addr.

8.1 Typy serwerów DNS

W każdej strefie musi być uruchomiony podstawowy serwer DNS oraz pewna liczba serwerów drugoplanowych, zapewniających usługi w razie awarii serwera podstawowego. Serwer podstawowy pobiera dane z pliku konfiguracyjnego, natomiast serwery drugoplanowe uzyskują dane od serwera podstawowego na drodze tzw. transferu strefy (zone transfer). Serwery drugoplanowe odpytują serwer podstawowy o dane w sposób regularny, zwykle co kilka godzin. Oprócz dwóch wymienionych rodzajów serwerów są jeszcze serwery podręczne (lokalne), których zadaniem jest zapamiętanie na pewien czas w pamięci podręcznej danych uzyskanych od innych serwerów tak, aby kolejne zapytania klientów mogły być obsłużone lokalnie. Serwery DNS działają na portach 53 UDP oraz 53 TCP. Na ogół w warstwie transportu używany jest UDP. Wyjątkiem jest m.in. transmisja danych z serwera podstawowego do drugoplanowego (większe porcje danych) oraz komunikaty w sieciach WAN. Również kiedy w odpowiedzi od serwera (przez UDP) ustawiony jest bit TC (patrz niżej) ponawiane jest zapytanie z wykorzystaniem TCP.

Podział ze względu na sposób uzyskania odpowiedzi poszukiwania

- Przeszukiwanie rekurencyjne – klient oczekuje od serwera żądanej informacji. W przypadku, gdy serwer nie przechowuje żądanej informacji, sam znajduje ją na drodze wymiany komunikatów z innymi serwerami.
- Przeszukiwanie iteracyjne – występuje między lokalnym serwerem DNS a innymi serwerami DNS. Jeśli odpytywany serwer nie zna szukanego adresu IP, odsyła pytającego do innych serwerów (odpowiedzialnych za daną domenę).

Komunikacja klienta z serwerem DNS
Przy odwołaniu do nazwy domenowej system zwykle najpierw sprawdza, czy nie jest to nazwa hosta lokalnego, następnie sprawdza plik hosts - o ile istnieje. Jeśli nie znajdzie odpowiedniego wpisu, to wysyłane jest zapytanie do pierwszego serwera DNS (adres w pliku konfiguracyjnym).

Standardowy sposób poszukiwania
Klient pyta swój domyślny serwer DNS wysyłając zapytanie rekurencyjne. Odpytany serwer realizuje zapytania iteracyjne, zaczynając od serwerów głównych, które odsyłają do serwerów niższego poziomu. Mechanizm ten może się wydawać nieefektywny, ale w rzeczywistości dzięki temu, że serwery DNS zapamiętują na pewien czas informacje uzyskane z innych serwerów DNS (cache), często odpowiedź na zapytanie programu-klienta zostaje znaleziona bardzo szybko.

Dynamiczny DNS (DDNS)
Chyba najważniejsze wpisy w DNS dotyczą serwisów, np. www. Standardowo DNS obsługuje odwzorowanie nazw do statycznych adresów IP. Można jednak skonfigurować odwzorowanie dla adresów zmieniających się dynamicznie. W tym celu należy skorzystać z odpowiednich usługodawców w Internecie, którzy przypisują nazwę do swojego IP i pewnego numeru portu, następnie zapytanie przekierowują do komputera ze zmiennym IP z ewentualną zmianą portu. Na komputerze ze zmiennym IP należy zainstalować odpowiedni program (klient DDNS), który będzie powiadamiał serwer DDNS o zmianach adresu IP. Oddzielnym problemem, który należy rozwiązać, jest wykorzystanie serwera NAT i przypisywanie adresów prywatnych do serwisu w sieci. Na ogół wystarczy odpowiednie działanie klienta DDNS oraz odpowiednie skonfigurowanie serwera NAT.

8.2 Przykładowe konfiguracje serwerów DNS

Przykładowy plik /etc/resolv.conf (Unix) nameserver 149.156.78.3 nameserver 149.156.78.95 domain xx.yy.edu.pl Podstawowe wpisy to – po słowie nameserver – numery IP kolejnych serwerów DNS, które mają być odpytywane w przypadku braku odpowiedzi od poprzedniego. Linia ze słowem domain oznacza domenę domyślną (tzn. co ma być dołączone do nazwy hosta w przypadku, gdy nie określono domeny, np. ftp gandalf). Może się pojawić linia podobna do domain, ze słowem search, po którym jest (maksymalnie sześć) nazw domen. Taka linia oznacza, że poszukiwania mają być prowadzone dla nazw z dołączonymi kolejno nazwami podanych domen.

Plik konfiguracyjny serwera named (bind): /etc/named.boot lub /etc/named.conf. Główną częścią BIND jest proces o nazwie „named". Skonfigurowanie bind może polegać na utworzeniu m.in. pliku /etc/named.conf. Pliki te zawierają opcje działania programu i informacje o plikach stref. W zone lub options może się pojawić dyrektywa allow-query, która ogranicza adresy IP, z których mogą pochodzić zapytania. W katalogu /var/named należy utworzyć pliki stref, np. xx.yy.edu.pl Po każdorazowej zmianie w plikach konfiguracyjnych należy serwis restartować. Proces named powinien być startowany nie z prawami roota, tzn. należy utworzyć konto named, zamiast domyślnego shella.

8.3 Rekordy zasobów

Każdy serwer DNS przechowuje informacje o tej części obszaru nazw DNS, dla której jest autorytatywny (administratorzy są odpowiedzialni za poprawność informacji). Informacje zapisywane są w postaci tzw. rekordów zasobów. Dla zwiększenia wydajności serwer DNS może przechowywać również rekordy zasobów domen z innej części drzewa domen. **Istnieje szereg typów rekordów zasobów:**
SOA (Start of Authority) Rekord uwierzytelnienia – pierwszy rekord w pliku strefy, określa podmiot odpowiedzialny od tego punktu hierarchii „w dół".

- Serial – pole zawierające numer wersji pliku strefy, zwykle w polu tym odzwierciedlona jest data oraz numer wersji pliku w danym dniu.
- Refresh – określa jak często serwer pomocniczy ma sprawdzać na serwerze podstawowym, czy nie zachodzi potrzeba uaktualnienia plików.
- Retry – czas, po którym serwer pomocniczy będzie ponownie próbował odtworzyć dane po nieudanej próbie odświeżenia.
- Expire – maksymalny limit czasu, przez który serwer pomocniczy może utrzymywać dane w pamięci cache bez ich uaktualnienia. Minimum (Default TTL) – domyślny czas, jaki ma być użyty dla rekordów, które nie mają określonego TTL.

8.4 DHCP - Dynamic Host Configuration Protocol

Wadą BOOTP jest statyczny sposób przydzielania numerów IP. Przydział dynamiczny umożliwia pracę (ale nie jednoczesną) wielu komputerów z przydzielonym jednym numerem IP. Serwer DHCP przydziela adresy IP dynamicznie. Obecnie w bardzo wielu sieciach lokalnych komputery nie mają na stałe wpisanych IP, ale pobierają IP od serwera DHCP w momencie startu systemu. Serwer DHCP może wykorzystywać różne sposoby przypisywania adresów:

- przydział statyczny IP do danego komputera (ustawienie „ręczne", danemu adresowi MAC jest przypisywany stale jeden na stałe wybrany IP),
- automatyczny przydział statyczny przy pierwszym starcie komputera i kontakcie z serwerem,
- przydział dynamiczny, w którym serwer wynajmuje adres IP na określony czas. DHCP umożliwia budowanie systemów konfigurujących się automatycznie. Oprócz przydzielenia adresu IP serwer DHCP przesyła do komputera klienta również

9 EIGRP

9.1 System autonomiczny (AS)

- Grupa złożona z jednego lub większej liczby prefiksów sieci należących do jednego lub więcej operatorów, która to grupa ma jedną jasno zdefiniowaną politykę routowania.
- Numery AS 2-bajtowe, lub 4-bajtowe.
- W EIGRP należy określić identyfikator procesu - AS number. Nie musi być unikalny, nie jest przekazywany do BG4.

9.2 Protokół IGRP

- protokół wektora odległości
- wymaga podania numeru AS przy konfiguracji - numeru procesu IGRP. Musi być taki sam we wszystkich routerach na danym obszarze z komunikacją IGRP
- metryka 24-bitowa w IGRP jest tworzona na podstawie wartości metryk cząstkowych oraz zmiennych określających wagę każdej użytej metryki.
  - Szerokość pasma (bandwidth); oznacza liczbę bitów, jakie może transmitować w jednostce czasu dana technologia (patrz też objaśnienia w oddzielnym pliku).
  - Opóźnienie (delay) – czas wędrówki pakietu od źródła do celu; wartości od 1 do 224, przy czym 1 oznacza 10 mikrosekund.
  - Obciążenie (load); wartość od 1 do 255. 1 oznacza sieć najmniej obciążoną, 255 najbardziej obciążoną.
  - Niezawodność (reliability); wartość od 1 do 255. Wartość liczona jest jako swoisty „procent" pakietów, które dotarły do następnego routera, przy czym liczba 255 oznacza 100%.

$metric = (K_1 * bandwidth + \frac{(K_2 * bandwidth)}{(256 - load)} + K_3 * delay) * \frac{K_5}{(reliability + K_4)}$ Standardowo $K_1 == K_3 == 1, K_2 == K_4 == K_5 == 0$.

- przesyłane są również wartości MTU (Maximum Transfer Unit) – najmniejsze MTU na trasie do sieci oraz liczba skoków
- można definiować największą dopuszczalną liczbę skoków (standardowo=100) powyżej której trasa jest uznawana za nieosiągalną
- przechowywanych jest kilka optymalnych tras do pewnego miejsca docelowego, mogą być przechowywane informacje o trasach nieoptymalnych
- przeprowadzane równoważenie obciążenia (load balancing). Przez wszystkie trasy wiodące do pewnego celu są przesyłane datagramy, przy czym liczba datagramów przesyłanych przez pewną trasę jest odwrotnie proporcjonalna do metryki końcowej tej trasy)
- trzy typy tras:
  - **wewnętrzne** - do podsieci dołączonych bezpośrednio do routera
  - **systemowe** - do sieci w ramach tego samego systemu autonomicznego
  - **zewnętrzne** - do innych systemów autonomicznych

  NIE ma trasy domyślnej 0.0.0.0. Są trasy zewnętrzne, przez tzw. 'router of last resort' wybierane jeśli nie znaleziono żadnej innej.
- możliwia równoważenie obciążeń – przesyłanie pakietów do tego samego miejsca docelowego rożnymi trasami o tym samym lub nawet większym koszcie. Wymaga to zdefiniowania parametru nazywanego wariancją (variance), który określa ile razy gorsze trasy (pod względem metryki) mają być użyte.
- nie obsługuje routowania bezklasowego ani VLMS.

Zastosowane mechanizmy zapobiegania niekorzystnym zjawiskom

- holddown-timers
  Wektory odległości są rozgłaszane co 90 sekund (update timer). Trasa jest uważana za niepoprawną, jeśli nie nadeszły z niej trzy kolejne rozgłoszenia (invalid timer - 270 sekund). Hold-down timer – 280s. Flush timer – 630 s.
- dzielony horyzont (split horizon),
- zatruwanie tras (poison reverse),
- natychmiastowe aktualizacje (triggered updates).

9.3 Protokół EIGRP

- protokół wektora odległości
- nazywany protokołem hybrydowym, łączący zalety protokołów typu wektora odległości i typu stanu łącza
- obsługuje adresowanie bezklasowe Classless Inter-Domain Routing oraz maski podsieci Variable Length Subnet Mask
- konfiguracja EIGRP wymaga określenia numeru AS - numeru procesu EIGRP; taki sam w komunikujących się routerach
- IGRP i EIGRP mogą ze sobą współpracować, jeśli mają ten sam numer; nastąpi przeliczenie metryki; trasa z IGRP jest traktowana jak trasa zewnętrzna
- metryka 32 bitowa; aktualizacje zawierają liczbę skoków dla trasy, jednak liczba skoków nie jest brana pod uwagę przy wyliczaniu metryki

Kluczowe technologie i idee wykorzystane w EIGRP

- Wykrywanie sąsiadów (neighbors Discovery).
- Reliable Transport Protocol (RTP) – niezawodny protokół warstwy transportu.
- Diffusing Update Algorithm DUAL, maszyna skończenie stanowa DUAL (DUAL finie-state machine).
- Wysyłanie aktualizacji tylko po wykryciu nowego sąsiada i w przypadku wystąpienia zmiany.
- Sprawdzanie łącza do sąsiada na podstawie krótkich komunikatów HELLO wysyłanych okresowo (standardowo co 5 sekund, dla łączy szeregowych co 60 sekund).
- Budowa modularna, praca z różnymi protokołami routowalnymi (AppleTalk, IPX, możliwość obsługi nowych protokołów).

Wybrane zalety EIGRP

- Minimalne zużycie szerokości pasma gdy sieć jest stabilna. W czasie normalnego stabilnego działania sieci jedynymi wymienianymi pakietami pomiędzy węzłami EIGRP są pakiety HELLO (handshake).
- Wydajne wykorzystanie szerokości pasma w czasie uzyskiwania zbieżności. Po zmianie propagowane są jedynie zmiany, nie całe wektory odległości. Po wykryciu sąsiada uaktualnienie wysyłane jest tylko do niego (unicast).
- Szybka zbieżność po wykryciu zmiany w sieci. Routery EIGRP zapamiętują wszystkie trasy przesłane przez sąsiadów. Ponadto wśród tych tras są od razu wyznaczane trasy zastępcze, nie zawierające pętli, o ile takie są (według podanych niżej reguł).
- Niezależność od protokołów routowalnych.
- Obsługa CIDR, VLSM.

Charakterystyka tablic EIGRP

- **Tablica sąsiadów** - zawiera dane o sąsiadach, z którymi są wymieniane informacje o sieciach; zawiera adresy IP i interfejsy, kiedy nastąpił jakiś kontakt z sąsiadem. Czas hold time określa jak długo można uznawać trasę wiodącą przez pewnego sąsiada za poprawną, jeśli router nie dostał od tego sąsiada kilku kolejnych pakietów HELLO. Standardowo hold time jest równy 3 * okres wysyłania pakietów HELLO.
- **Tablica topologii** - zawiera wszystkie trasy zgłoszone przez sąsiadów. Zawiera metrykę całkowitą trasy, reported distance i feasible distance.
- **Tablica routowania** - przechowuje trasy o najniższym koszcie (do 6 tras alternatywnych); można stosować mechanizm równoważenia obciążeń z wykorzystaniem wariancji.

EIGRP wykorzystuje specjalny niezawodny protokół w warstwie transportu – **Reliable Transport Protocol**. RTP umożliwia wykorzystanie transmisji grupowej (multicast) lub jednostkowej (unicast).

- Aktualizacje są przesyłane niezawodnie (z wykorzystaniem numeru sekwencji i mechanizmu potwierdzania) na adres grupowy 224.0.0.10. Potwierdzenia są przesyłane na adres jednostkowy (unicast). Jeśli potwierdzenie z określonym numerem sekwencji nie nadejdzie w czasie RTO (Retransmission TimeOut), pakiet z aktualizacją jest retransmitowany, tym razem na adres jednostkowy.
- Zwykłe pakiety HELLO oraz potwierdzenia nie są potwierdzane.
- DUAL jest używany do wyznaczenia sukcesorów i tzw. wykonalnych sukcesorów określających trasy zapasowe. W przypadku utraty pewnej trasy (uszkodzenia) router może natychmiast wyznaczyć niezapętloną trasę zastępczą (jeśli jest wyznaczony FS). Gdyby się zdarzyło, że nie ma informacji o trasie zastępczej, to router prosi sąsiadów o odnalezienie takiej trasy, jeśli sąsiedzi nie znajdują, to odpytują dalej. Zapytanie rozchodzi się (dyfunduje) coraz dalej, stąd nazwa DUAL (Diffusion Algorithm).
- Mechanizm wyznaczania tras zapasowych zapewnia, że nie ma w nich pętli routowania.

10 Bezpieczeństwo sieci komputerowych

10.1 Szyfrowanie, podpis elektroniczny

10.1.1 Szyfrowanie z kluczem

- liczba lub kilka liczb, składająca się z kilkudziesięciu do kilku tysięcy bitów
- służy do szyfrowania i odszyfrowywania rzeczy
- teoretycznie możliwy do złamania brute forcem (w praktyce niezbyt)
- różne algorytmy szyfrowania
  - Szyfrowanie z kluczem symetrycznym
    Szyfrowanie dużych porcji danych przy użyciu jednego klucza ułatwia złamanie szyfru. Dlatego klucz symetryczny powinien być zmieniany. Może być przesłany zaszyfrowany przy pomocy techniki z kluczem publicznym i prywatnym. Można generować oddzielne klucze sesji i szyfrować je wcześniej uzgodnionym tajnym kluczem symetrycznym. Klucze symetryczne mogą być też zmieniane co określony czas lub co określoną liczbę bajtów, z użyciem specjalnych protokołów.
    * Data Encryption Standard DES, 3DES
    * RC - szyfr strumieniowy wykorzystywany w szyfrowaniu ramek w sieciach bezprzewodowych WiFi/WPA
    * Advanced Encryption Standard AES - szyfr blokowy, np WPA2
  - Szyfrowanie z kluczem asymetrycznym
    * Szyfrowanie i odszyfrowanie jest tu realizowane przy pomocy pary kluczy - prywatnym (tajnym) i publiczny (znany). Jeden szyfruje, drugi odszyfrowywuje.
    * Odgadnięcię jednego z kluczy praktycznie niemożliwe nawet przy znajomości drugiego
    * Szyfrujemy coś czyimś kluczem publicznym, by tylko ten ktoś mógł to odszyfrować (swoim kluczem prywatnym)
    * wielokrotnie kosztowniejsze czasowo od szyfrowania z kluczem symetrycznym
    * używane do uzgodnienia kluczy symetrycznych
    * algorytm RSA

10.1.2 Skrót (hash)

- skrót wiadomości w podpisach cyfrowych, tworzony za pomocą funkcji haszujacej
- 128 bitów (MD5), 160 bitów(SHA-1), 224-512 bitów (rodzina SHA-2)
- jeśli w oryginalnej wiadomości (pliku) zmieniony zostanie chociaż jeden bit, to skrót będzie zupełnie inny niż ten, który został utworzony przed zmianą.
- Algorytmy haszujące są deterministyczne,
- odtworzenie oryginalnej wiadomości ze skrótu jest prawie niemożliwe

10.1.3 Podpis cyfrowy

- Zaszyfrowanie kluczem prywatnym daje gwarancję, że zaszyfrowana wiadomość pochodzi z odpowiedniego źródła
- Samej podpisywanej wiadomości nie musi się szyfrować. Generowany jest jej skrót i ten skrót szyfrowany jest z wykorzystaniem klucza prywatnego osoby podpisującej. Zaszyfrowany skrót stanowi podpis cyfrowy. Niezaszyfrowana wiadomość może być przesłana jawnie razem z zaszyfrowanym skrótem (czyli podpisem cyfrowym).

- Odbiorca odszyfrowuje skrót używając klucza publicznego nadawcy. Potem tworzy skrót wiadomości używając tej samej funkcji haszującej. Jeśli wyniki obu operacji są identyczne, to znaczy, że wiadomość na pewno podpisał określony nadawca, a ponadto nikt po tej wiadomości nie zmienił już po podpisaniu.
- Po podpisaniu dodatkowo możemy wiadomość zaszyfrować, ale to nie należy już do samego podpisu.

10.1.4 Klucze publiczne i prywatne, infrastruktura kluczy publicznych

- Klucze mogą być generowane na komputerze lokalnym przy pomocy odpowiedniego oprogramowania i powinny być podpisane przez jakieś centrum certyfikacyjne.
- Centrum certyfikacyjne (CA) wydaje tzw. certyfikaty cyfrowe zawierające m.in:
  - Identyfikator osoby/firmy/obiektu
  - Identyfikator CA, który wydał certyfikat
  - Numer identyfikacyjny certyfikatu
  - Cel stosowania (np. podpisywanie bezpiecznych stron WWW albo podpisywanie listów elektronicznych)
  - Wartość klucza publicznego
  - Okres ważności
  - Podpis cyfrowy wydawcy
- Jeśli ufamy danemu CA, to ufamy, że zawarty w certyfikacie klucz publiczny jest rzeczywiście prawdziwy. W systemach operacyjnych oraz różnych programach jest wpisana lista zaufanych CA. Zarządzanie centrum certyfikacyjnym jest realizowane na przez konsolę MMC.
- Niezależnym standardem opisującym tworzenie kluczy, rejestrowanie i wykorzystywanie certyfikatów jest PGP (Pretty Good Privacy). Powstał standard Open PGP.

10.1.5 Bezpieczne protokoły: IPSec, SSL, TLS

Bezpieczne protokoły powinny zapewniać:

- Poufność przesyłanych danych (osoby niepowołane nie powinny móc odczytać danych).
- Autentyczność (dane pochodzą rzeczywiście od określonego źródła).
- Integralność (nikt danych nie zmienił).

Bezpieczne protokoły mogą być wykorzystywane:

- w warstwie aplikacji- szyfrowanie komunikatów HTTPS, protokoły SSL, TLS,
- między warstwą sieci a transportu- szyfrowanie pakietów IP – protokół IPSec,
- w warstwie łącza danych - szyfrowanie ramek, np. WEP, WPA, WPA2 w sieciach bezprzewodowych.

Protokoły szyfrujące przesyłane dane

- SSL (warstwa aplikacji) – Używany do zabezpieczania innych protokołów, wykorzystuje połączenie szyfrowania asymetrycznego z kluczem publicznym i symetrycznego. Często wykorzystywany z HTTP w sieci WWW (HTTPS).
- TLS (warstwa aplikacji) – Podobny do SSL.
- SMB - Server Message Block Signing, znany też jako Common Internet File System CIFS) – do transferu plików, umieszcza cyfrowe podpisy w każdym bloku danych.
- S/MIME – Secure Multpurpose Internet Mail Extensions – szyfruje i umieszcza podpisy cyfrowe w wiadomościach pocztowych e-mail. Jest rozszerzeniem MIME, standardu włączania danych binarnych do listów elektronicznych.

- IPSec (warstwa IP)

10.1.6 Protokół IPSec

- warstwa IP
- może szyfrować dane pochodzące z dowolnej aplikacji, proces szyfrowania i deszyfrowania jest niewidoczny dla użytkownika
- framework umożliwiający wykorzystanie pewnych protokołów (Authentication Headers AH i Encapsulating Security Payloads ESP)i metod według określonych zasad.

Cechy IPSec:

- Autentyczność i integralność danych.
  AH umożliwia sprawdzenie autentyczności komputerów uczestniczących w transmisji, umożliwia też sprawdzenie integralności danych. Nagłówek IP oraz dane są zabezpieczone przed modyfikacją.
- Szyfrowanie danych.
  ESP zapewnia szyfrowanie danych oraz autentyczność i integralność danych. ESP może być używany samodzielnie lub z AH.

Przed przesyłaniem danych strony komunikujące się uzgadniają szczegóły takie jak sposób uwierzytelniania, wymiana kluczy, algorytmy szyfrowania. Polityki stosowania IPSec – w systemach Microsoft Windows ustala się politykę (zasadę, policy) kiedy IPSec ma być automatycznie zastosowany. W wersji Windows XP były trzy predefiniowane polityki:

- Client (respond only) - transmisje bez IPSec, chyba że druga strona zażąda IPSec
- Server (request security) - żądanie transmisji IPSec, ale jeśli druga strona nie implementuje IPSec, to komunikacja bez IPSec
- Secure server (require security) - żądanie transmisji IPSec, jeśli druga strona nie implementuje IPSec, to komunikacja nie jest kontynuowana.

Tryby działania IPSec (zarówno AH jak i ESP):

- Tryb transportu (w sieci lokalnej) między dwoma punktami końcowymi transmisji.
- Tryb tunelowania – szyfrowanie w niezabezpieczonej części sieci (np. dane między biurami przesyłane przez Internet).

Metody uwierzytelniania w IPSec:

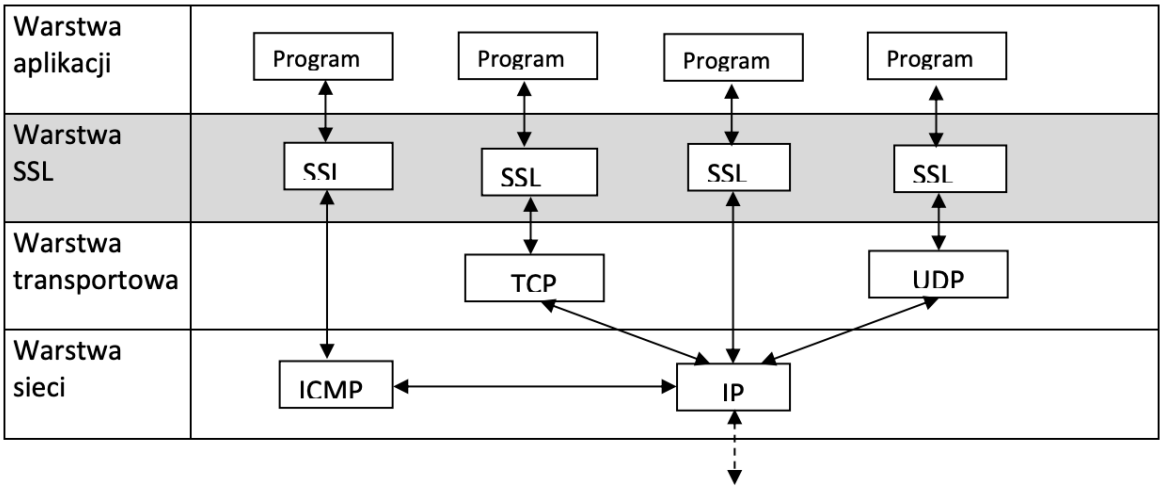
- Kerberos,
- Oparty o certyfikaty cyfrowe,
- Klucz dzielony (przechowywany we właściwościach napis jednakowy dla obu komunikujących się stron).

Filtry IPSec
Filtr IPSec pozwala na automatyczne przepuszczenie datagramów IP, blokowanie lub użycie negocjacji (i w konsekwencji użycie IPSec) w zależności od źródła i miejsca docelowego IP, protokołu transportowego, portów źródłowych i docelowych.

10.1.7 SSL - Secure Socket Layer

- jego zadaniem jest zabezpieczanie informacji przesyłanych siecią.
- wykorzystywany przy przesyłaniu np. danych osobistych, numerów kart kredytowych.
- często prezentowany jako protokół, który leży powyżej warstwy transportu (TCP, UDP) i sieci (IP) a poniżej warstwy aplikacji (np. HTTP, FTP, SMTP, TELNET)

- W modelu ISO OSI jest przypisany do warstwy prezentacji (zatem do warstwy aplikacji w modelu TCP/IP)
- jest protokołem otwartym
- wykorzystuje szyfrowanie symetryczne z kluczem publicznym
- protokoły zabezpieczone SSL oznaczane są jako HTTPS (dla HTTP), FTPS (dla FTP) itd.



Podstawowe cechy protokołu SSL:

- Zapewnia autoryzację serwerów internetowych i (opcjonalnie) klientów (utrudnia podszywanie pod autoryzowanych usługodawców i użytkowników)
- Zapewnia szyfrowanie - poufność przesyłanych informacji.
- Stosuje sumy kontrolne dla zapewnienia integralności danych.

Po nawiązaniu połączenia następuje wymiana informacji (certyfikatów CA i kluczy publicznych) uwierzytelniających serwera i (opcjonalnie) klienta. Serwer i klient uzgadniają również algorytmy szyfrowania – najsilniejsze dostępne jednocześnie obu stronom. Następnie serwer i klient generują klucze sesji (symetryczne), które są szyfrowane kluczem publicznym drugiej strony. Klucze sesji są odszyfrowywane przy pomocy klucza prywatnego i następnie służą do szyfrowania danych.

Numery portów przy włączeniu SSL:

Protokół	Port standardowy	Port SSL
HTTP	80	443
IMAP4	143	993
POP3	110	995

11 Multicast

Multicast – transmisja grupowa, multiemisja.

- Wysłanie jednego pakietu ze źródła do wielu miejsc docelowych. Pakiety są kopiowane w routerach i przełącznikach warstwy drugiej.
- mniejsze obciążenie sieci, większa skalowalność w stosunku do unicastu
- Wykorzystanie: programy radiowe i telewizyjne, wideokonferencje, zdalne nauczanie, dystrybucja plików, ogłoszenia, monitoring, gry itd.

- schematy jeden-do-wielu, wiele-do-wielu.
- Komunikaty w większości protokołów routowania mają zarezerwowane adresy multiemisji.
  - 224.0.0.1 – wszystkie komputery uczestniczące w transmisji grupowej (również routery) w segmencie sieci lokalnej.
  - 224.0.0.2 – wszystkie routery uczestniczące w transmisji grupowej (multicast routers) w segmencie sieci lokalnej.
  - 224.0.0.4 – routery DVMRP.
  - 224.0.0.5 – wszystkie routery OSPF.
  - 224.0.0.6 – routery DR OSPF.
  - 224.0.0.9 – routery RIPv2 (RIPv1 wykorzystuje rozgłoszenie – broadcast, nie multicast).
  - 224.0.0.0 – 239.255.255.255 - klasa D adresów IPv4
- Aby uczestniczyć w transmisji grupowej, komputer musi sprawdzać określone adresy w przychodzących pakietach (IP) i generalnie w ramkach (MAC).
- Transmisja grupowa odbywa się z wykorzystaniem różnych mechanizmów i protokołów.
  - Do komunikacji router – host wykorzystywany jest specjalny protokół IGMP.
  - Ponadto routery wykorzystuj
    - DVMRP – Distance Vector Multicast Routing Protocol,
    - MOSPF – Multicast OSPF,
    - PIM DM – Protocol Independent Multicast Dense Mode,
    - PIM SM Sparse Mode, PIM Sparse-Dense Mode.

11.1 IGMP - Internet Group Management Protocol

- wykorzystywany do dynamicznego rejestrowania/wyrejestrowania odbiornika w routerze
- komunikaty IGMP są przesyłane w pakietach IP z adresem docelowym typu multicast i ustawioną wartością TTL na 1.

11.1.1 IGMPv1

Są dwa typy komunikatów:

- Membership query (general membership query), wysyłany jest okresowo (co kilkadziesiąt sekund) przez routery na adres 224.0.0.1 (adres ten oznacza wszystkie komputery wykorzystujące multicast); służy do sprawdzenia, czy w sieci (na łączu) są odbiorcy dla emisji grupowej.
- Membership report, wysyłany jest na pewien adres grupy (na przykład 232.32.32.32), służy do zgłoszenia się jako odbiorca pakietów wysyłanych na ten adres; membership report wysyłany jest też w odpowiedzi na membership query.

Host (nie router) po otrzymaniu membership query czeka pewien pseudolosowy czas (z zakresu od 0 do 10 sekund) i wysyła membership report. Jeśli w tym pseudolosowym czasie host usłyszy membership report od innego hosta, to nie wysyła swojego raportu. W IGMPv1 host „po cichu” opuszcza grupę. Jeśli router nie dostanie raportu w odpowiedzi na trzy kolejne membership query (lub według innej reguły opisanej w odpowiednim RFC), router usuwa grupę z tablicy multicastu i przestaje przesyłać pakiety kierowane do tej grupy. W IGMPv1 nie ma mechanizmu wyboru jednego routera odpytującego (tzw. querier) w jednym segmencie sieci wykorzystującej technologię wielodostępu z wieloma routerami (multiple access, np. Ethernet albo Frame Relay). Mechanizm ten wprowadzono w IGRP v2. Podobny mechanizm jest też wykorzystywany w protokole routowania multicastu o nazwie PIM, routerem tym zostaje tzw. PIM Designated Router, czyli ten, którego adres IPv4 jest największą liczbą (32 bity).

11.1.2 IGMPv2

W IGMPv2 są cztery typy komunikatów:

- Membership query
- Version 1 membership report
- Version 2 membership report
- Leave group

Ważne zmiany w porównaniu do wersji pierwszej:

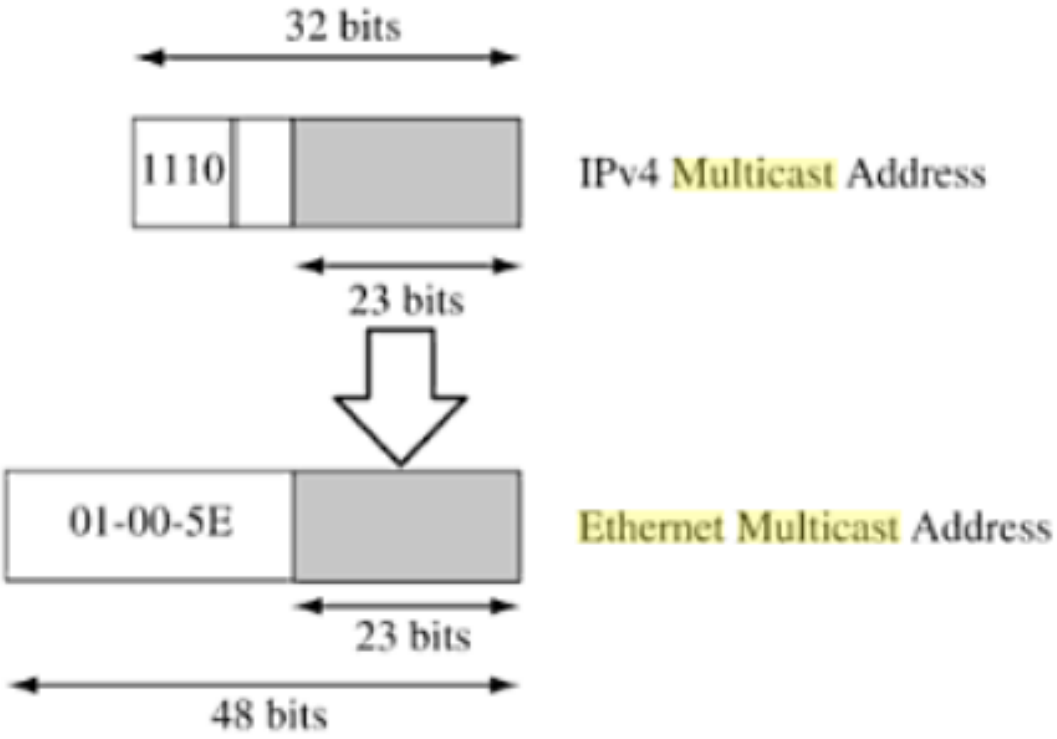
- Membership query może być typu group-specific query – zapytanie o członkostwo jest wysyłane na adres grupy zamiast na 224.0.0.1. W ten sposób router może sprawdzić, czy jest uczestnik w konkretnej grupie, bez proszenia uczestników wszystkich grup o raporty.
- Leave group message – komunikat o opuszczeniu grupy, wysyłany jest na adres 224.0.0.2 (wszystkie routery multicast na łączu). Powoduje szybsze usunięcie grupy z tablicy multicastu, jeśli nie ma w niej odbiorców. Standardowo router po otrzymaniu tego komunikatu, wysyła group-specific query, żeby upewnić się, czy jest jeszcze jakiś uczestnik tej grupy na łączu. Cały proces opuszczenia i usunięcia grupy trwa typowo 1-3 sekundy.
- Dodano do zapytań IGMP określenie czasu query-interval response time (max. resp. time), jaki mają uczestnicy na wysłanie raportu, czas ten jest określany przez wysyłającego zapytanie. Host po otrzymaniu membership query ustawia liczniki opóźnień dla każdej grupy (z wyjątkiem 224.0.0.1), do której należy na tym łączu. Liczniki są ustawiane na wartość pseudolosową z zakresu od zera do query interval response time. Jeśli licznik był już włączony dla danej grupy multicastowej, to jest on tylko wtedy resetowany do wartości losowej, jeśli query interval response time jest mniejszy niż pozostała wartość licznika. Jeśli wygaśnie licznik dla grupy, to host musi wysłać wiadomość multicast version 2 membership report. Jeśli host odbierze inną wiadomość Report od innych hostów, to zatrzymuje licznik i nie wysyła już wiadomości Report, w ten sposób unika się powielania raportów dla grupy.
- Dodano mechanizm wyboru routera odpytującego (querier) w segmencie sieci wykorzystującej wielodostęp. Zostaje nim router, którego adres IP jest najmniejszą liczbą. Domyślnie router zakłada, że jest routerem odpytującym, ale jak dostanie query od routera z „niższym" adresem IP (na tym samym łączu), to przestanie być routerem odpytującym (staje się non-querier). Jeśli router non-querier nie słyszy komunikatów query od routera odpytującego przez pewien czas (other querier present interval), to staje się routerem odpytującym (ale znowu tylko do chwili, gdy dostanie query od routera z niższym adresem IP).

11.1.3 IGMPv3

Dodano możliwość zgłaszania się do grup z wyspecyfikowaniem adresu jednostkowego IPv4 pewnego nadawcy. Można więc zgłosić się do grupy na przykład 235.32.32.35, ale z wskazaniem, że interesują nas tylko pakiety od konkretnego źródła.

11.2 Transmisje grupowe a technologie sieci lokalnych

Ethernet daje możliwość adresowania MAC typu multicast. Wykorzystywane są adresy z zakresu 01:00:5e:00:00:00 do 01:00:5e:7f:ff:ff. 23 bity adresu IPv4 są wprost wykorzystane w adresie MAC. Dla IPv4:



Zatem każdy adres Ethernet multicast jest związany z 32 adresami IPv4 z klasy D (różniącymi się na 5 bitach). Trzeba to uwzględnić przy projektowaniu multiemisji. Może się zdarzyć, że pewien host będzie otrzymywał ramki zawierające pakiety IPv4 z grupy, której nie jest odbiorcą. Jednak pakiet taki zostanie odrzucony po odczytaniu adresu IPv4.

Przykłady 239.20.20.20 odpowiada adresowi MAC: $01-00-5e-14-14-14$.
239.10.10.10 odpowiada adresowi MAC: $01-00-5e-0a-0a-0a$.
Przykład adresów IP multiemisji, które odwzorowane są w ten sam adres MAC: Adresy, które różnią się w zapisie bitowym na pozycjach oznaczonych _ są odwzorowane w ten sam adres MAC
1110_ _ _ _ . _ xxxxxxx. xxxxxxxx.xxxxxxxx
224.7.7.7
225.7.7.7
226.7.7.7
227.7.7.7
...
239.7.7.7
224.135.7.7
225.135.7.7
226.135.7.7
227.135.7.7
...
239.135.7.7

Standardowo przełącznik Ethernet traktuje ramkę z adresem MAC multiemisji jak ramkę z adresem jednostkowym MAC, którego nie zna, czyli po otrzymaniu takiej ramki na pewnym porcie, przesyła ją do wszystkich pozostałych portów (realizuje broadcast w warstwie drugiej). W celu wyeliminowania tego rozgłoszenia stosowany jest mechanizm nazywany IGMP snooping lub specjalny protokół o nazwie

CGMP.

IGMP Snooping
IGMP snooping polega na tym, że przełącznik warstwy drugiej „słucha" konwersacji między hostami a routerami i analizuje pakiety z komunikatami IGMP (raporty członkostwa w grupie membership reports oraz zgłoszenia opuszczenia grupy – membership leaves). Na podstawie śledzonych komunikatów IGMP przełącznik aktualizuje swoją tablicę przypisania adresów MAC do portów (CAM – Content Addressable Memory) i uwzględnia adresy Ethernet multicast. To rozwiązanie wymaga jednak odpowiednio wydajnych przełączników, najlepiej z dołączonym specjalnym sprzętowym modułem (ASIC) do analizy komunikatów IGMP.

Protokół CGMP
Cisco Group Management Protocol (CGMP) jest oparty o model klientserver, gdzie router jest serwerem CGMP a przełącznik jest klientem. Na routerze i przełączniku działa oprogramowanie realizujące CGMP. Router tłumaczy komunikaty IGMP (membership report i leave wędrujący od hosta do routera) na komendy CGMP, które są przesyłane do przełącznika i tam wykorzystane do modyfikowania tablicy adresów MAC. Routery wykorzystują ogólnie znany adres multicast MAC (01:00:0c:dd:dd:dd) do przesyłania komend do przełączników.

Protokół PIM
Protokół routowania multiemisji (Protocol Independent Multicast). W odróżnieniu od protokołów routowania jednostkowego opartych na grafach, protokoły dla multicastu oparte są o drzewa dystrybucji. Drzewa te określają ścieżki od źródła do odbiorników (odbiorców). Wykorzystywane są dwa rodzaje drzew:

- Source trees (drzewa źródłowe)
  - oddzielne drzewo jest budowane od każdego źródła do odbiorników
  - Source tree określa najkrótszą ścieżkę od źródła do odbiorcy, drzewo takie jest też nazywane Shortest Path Tree (SPT)
  - Routery zapamiętują informacje o parach (Source IP address, Group IP address). W przypadku, gdy na pewnym obszarze (z wieloma odbiorcami) takich par jest dużo, czyli gdy grupy zawierają wiele źródeł i jest tych grup dużo, obsługa multiemisji może zajmować sporo zasobów pamięciowych routera.
- Shared trees (drzewa współdzielone).
  - ścieżki od różnych źródeł zawierają wspólną część – drzewo współdzielone, którego korzeń jest routerem służącym jako punkt spotkań – Randezvous Point (RP)
  - Źródła wysyłają pakiety do RP, skąd przesyłane są dalej do odbiorców przez drzewo współdzielone.
  - Ze względu na wykorzystanie wspólnego punktu spotkań, ścieżki od źródła do odbiorcy mogą być nieoptymalne.
  - Zaletą jest jednak znacznie mniejsze wykorzystanie zasobów routerów.

Typy PIM:

- dense mode (DM)
  Routery kierują ruch grupowy (multicast) w sposób zalewowy (flooding) do wszystkich sieci na pewnym obszarze, a następnie obcinają te przepływy (krawędzie grafu), dla których nie ma odbiorników wykorzystując okresowy działający mechanizm nazywany flood-and-prune. Generalnie założenie jest tutaj takie, że odbiorcy są prawie wszędzie w rozpatrywanym obszarze.
  - Faza Flood
    multicast jest kierowany do wszystkich interfejsów (w wielu routerach) z wyjątkiem tych, które prowadzą najkrótszą ścieżką do źródła. Nazwijmy te interfejsy non-RPF. Wyznaczenie interfejsów prowadzących najkrótszą ścieżką do źródła (nazwijmy je RPF) następuje dzięki pracy zwykłego protokołu routowania unicastowego (np. EIGRP, OSPF)

  - Faza Prune
    routery, które nie mają odbiorców wysyłają do interfejsów RPF i non-RPF komunikaty Prune, które powodują zablokowanie przesyłania ruchu grupowego do fragmentów sieci, w których przesyłanie grupowe nie powinno być realizowane. Router, który ma odbiorców ruchu grupowego wysyła komunikaty Prune do tych interfejsów nonRPF, z których nie powinien nadchodzić ruch grupowy (bo nie są na najkrótszej ścieżce do źródła).
  - Po kilku minutach (w PIM DM standardowo 3 min.) fazy Flood oraz Prune są realizowane ponownie. W przypadku, jeśli w pewnym miejscu, do którego nie dociera ruch grupowy (bo zadziałała faza Prune) pojawia się odbiorca, może być przesłany odpowiedni komunikat (Graft), który szybko przywraca ruch grupowy w odpowiednim fragmencie sieci (nie trzeba czekać 3 min.).

- sparse mode (SM)
  drzewa dystrybucji są budowane z wykorzystaniem jawnych mechanizmów połączenia (explicit join tree) kierowanych od routerów, do których podłączeni są bezpośrednio odbiorcy do (w kierunku) źródła.

Protokoły routowania multicast wykorzystują mechanizm Reverse Path Forwarding do utworzenia najkrótszych ścieżek od źródła do odbiorcy i do zapobiegania pętlom. Można powiedzieć, że jednostkowe protokoły routowania skupiają się na tym, gdzie jest odbiorca, natomiast protokoły multicast skupiają się na tym, gdzie jest źródło .

- wykorzystuje shared distribution trees, chociaż może również wykorzystywać drzewa SPT (przełącza się na SPT).
- zwykle wykorzystuje RP (Randezvous Point). Źródła rejestrują się w RP (muszą go znać) i wysyłają ruch multicastowy do RP przy pomocy pakietów unicastowych.
- Odbiorcy przyłączają się do grupy wykorzystując swój DR (designated router) na swoim łączu. Router ten musi znać adres RP i wysyła komunikat dołączenia grupy w kierunku RP, wykorzystując informację z normalnego routowania unicastowego.
- Komunikat wędruje metodą hop-by-hop aż dotrze do RP, budując tym samym gałąź drzewa shared tree. W przypadku, jeśli węzeł wykryje, że zna lepszą ścieżkę do źródła niż przez shared tree, przełącza się na SPT.

Są różne usprawnienia/modyfikacje, np. Bidirectional PIM dla ruchu typu many-to-many. Istnieje możliwość skonfigurowania mechanizmu automatycznego wyboru RP. Jest też wersja PIM Sparse-Dense-Mode. W tej wersji PIM, jeśli nie zostanie wykryty RP (można skonfigurować automatyczny wybór RP) ani nie zostanie skonfigurowany ręcznie, PIM przechodzi do trybu PIM DM. Zalecaną wersją PIM jest właśnie PIM Sparse-DenseMode.

12 IPv6