Interligação de Redes

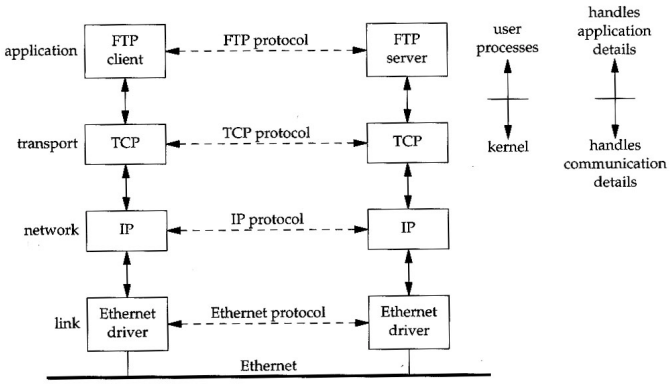
Protocolos TCP/IP

FEUP/DEEC/RCD – 2002/03

MPR/JAR

Pilha Protocolar TCP/IP

- Acesso à rede (subrede)
  - » Interface ao meio físico
  - » Carta de rede, *device driver*
- Rede (*internetworking*)
  - » Transferência de pacotes na rede (entre subredes)
  - » IP - Internet Protocol
  - » ICMP- Internet Control Message Protocol
  - » IGMP – Internet Group Management Protocol
- Transporte
  - » Multiplexagem de fluxos de dados entre duas máquinas
    - – TCP- Transmission Control Protocol
    - – UDP – User Datagram Protocol
- Aplicação
  - » Aplicações de rede
    - – Telnet, FTP, SMTP, SNMP, etc.
  - » Modelo cliente-servidor

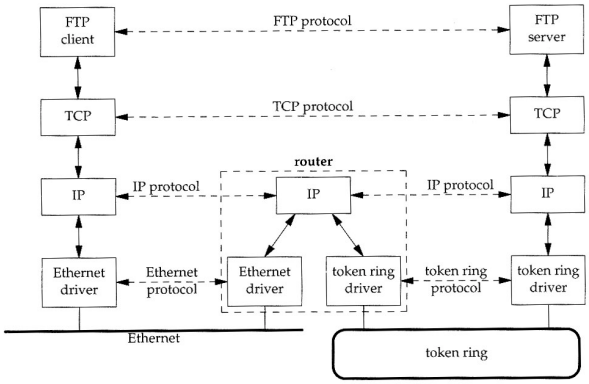


Interligação de Redes

- Redes de diferentes organizações e usando variadas tecnologias de acesso devem poder comunicar

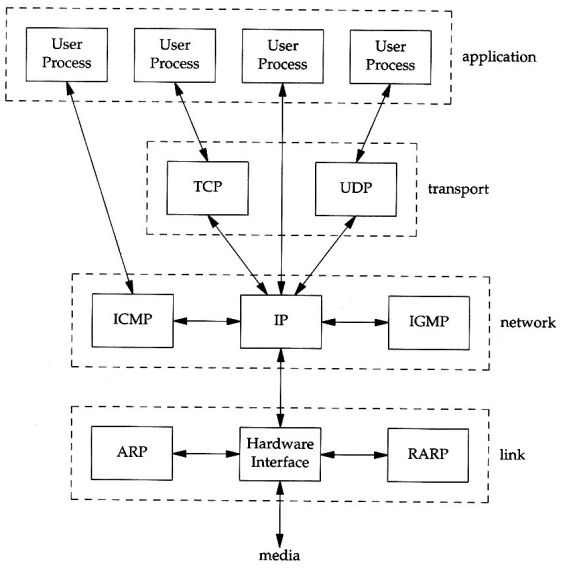
- Internet → rede única, virtual
  - » *End-Systems* → computadores (*hosts*)
  - » *Intermediate-Systems* → *routers*
  - » Comunicação global
  - » Interligação de redes com *routers*
    - – Um *router* tem uma interface por cada rede que interliga

- Comunicação protocolar
  - » Camadas de Aplicação e Transporte
    - – Extremo-a-extremo (entre *hosts*)
  - » Camada de Rede
    - – entre máquinas adjacentes (*routers* e *hosts*)

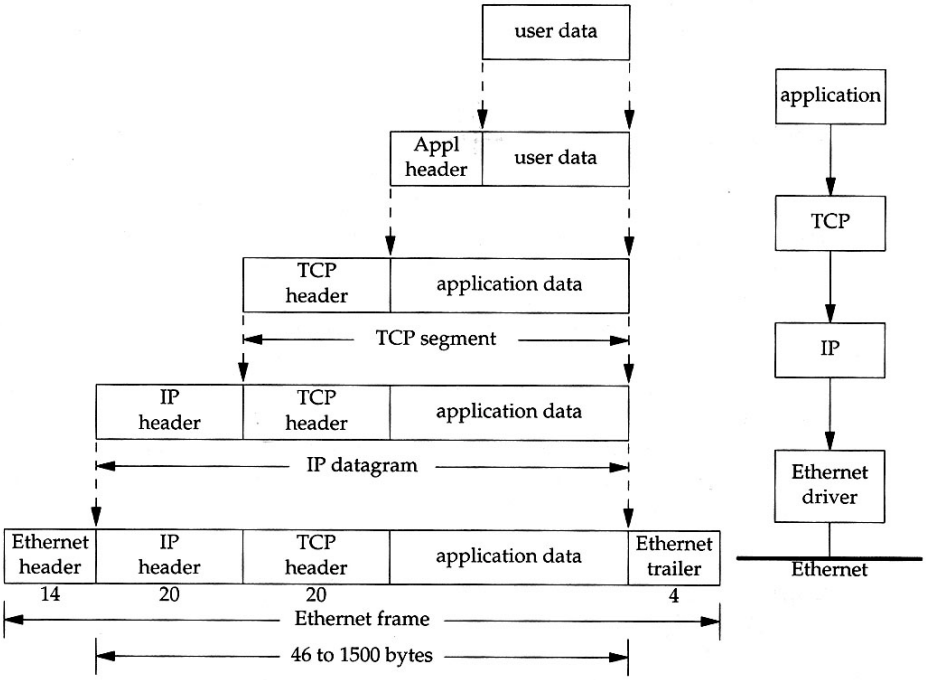


Arquitectura TCP/IP

- TCP
  - » Orientado às ligações
  - » Transporte fiável entre máquinas
- UDP
  - » Envia / recebe datagramas das aplicações
  - » Transporte não fiável
- IP
  - » Protocolo central da pilha
  - » Encaminha datagramas
- ICMP
  - » Auxiliar do IP
  - » Envia mensagens de erro
- IGMP
  - » Gere grupos de *multicasting*
- ARP, RARP
  - » Resolução de endereços IP em endereços físicos



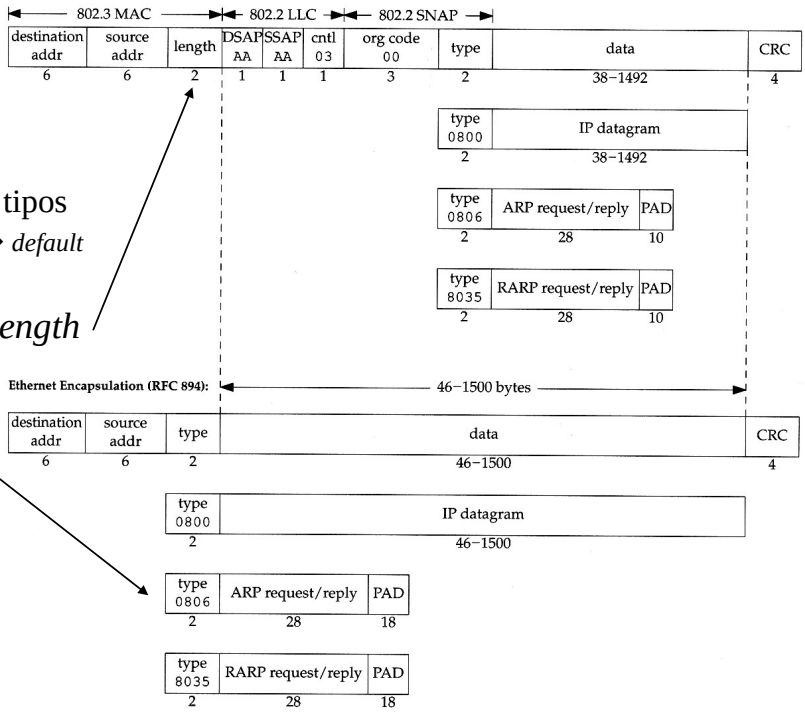
Encapsulamento



Encapsulamento Ethernet

Cartas Ethernet
- » Devem receber
  - – encapsulamento IEEE 802
  - – encapsulamento Ethernet
- » Se conseguem enviar os 2 tipos
  - – encapsulamento Ethernet → *default*

Valores válidos IEEE 802 *length*
- » Diferentes de *type* válidos
  - – Ex. 0x0800 = 2048

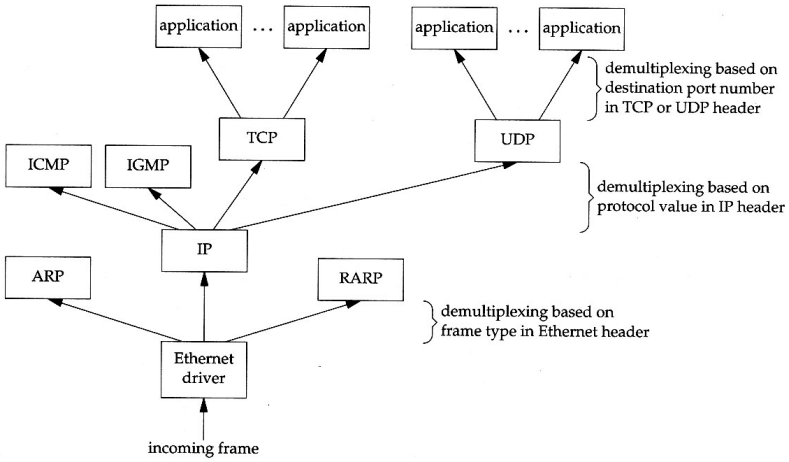


Desmultiplexagem

» Cabeçalho TCP/UDP (porta)
- FTP → 21
- Telnet → 23
- ...

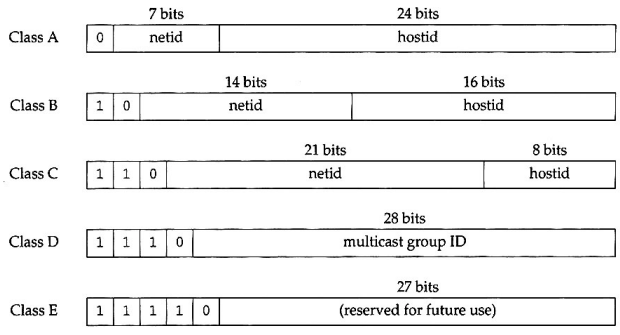
» Cabeçalho IP (protocolo)
- ICMP → 1
- IGMP → 2
- TCP → 6
- UDP → 17

» Cabeçalho Ethernet (tipo)
- IP → 0x0800
- ARP → 0x0806
- RARP → 0x8035



Endereçamento IP

- Endereços IP
  - » Um por interface, 32 bits (IPv4)
  - » Exemplo: 142.252.13.33
- Atribuição de endereços
  - » InterNic → atribui *netid*
  - » Administrador de rede → atribui *hostid*
    - All 0 → representa a subrede <*netid*>
    - All 1 → endereço de *broadcast* na subrede
- 5 classes de rede
  - » Classe A
    - 126 redes: 1.x.x.x até 126.x.x.x → ocupadas
      - All 0 → reservada
      - 01111111 (127) → loopback
  - » Classe B
    - $2^{14} - 2 = 16{,}382$ redes
    - 128.x.x.x até 191.x.x.x → todas ocupadas
  - » Classe C
    - $2^{21} - 2 = 2{,}097{,}150$ redes
    - 192.x.x.x até 223.x.x.x → quase todas ocupadas
- Tipos de endereço
  - » *Unicast, multicast, broadcast*

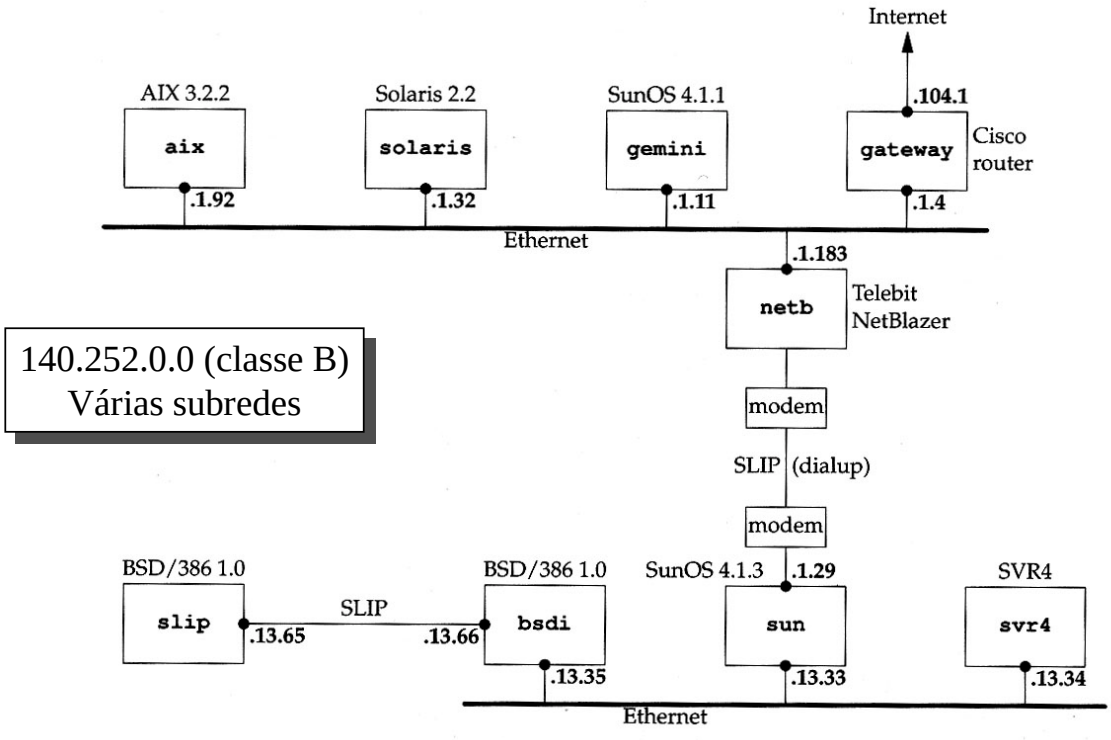


Classe	Valores
A	0.0.0.0 → 127.255.255.255
B	128.0.0.0 → 191.255.255.255
C	192.0.0.0 → 223.255.255.255
D	224.0.0.0 → 239.255.255.255
E	240.0.0.0 → 247.255.255.255

Interface de Loopback

- Interface de teste, num computador
  - » curto-circuito à rede
  - » *netid* → 127.0.0.0
  - » *hostid* → 127.0.0.1 (convenção)
  - » nome → *localhost*
- Datagrama enviado para *localhost* não é visto na rede
- Permite que um cliente e um servidor na mesma máquina comuniquem usando TCP/IP

Rede Exemplo



140.252.0.0 (classe B)
Várias subredes

MTU – Maximum Transmission Unit

- Cada rede limita o tamanho do campo de dados nas respectivas tramas – este limite designa-se *Maximum Transmission Unit* (MTU)
- Se o tamanho de um datagrama IP for superior ao MTU de uma rede é necessário fragmentá-lo em datagramas mais pequenos, podendo ser necessário re-fragmentar
- Se um datagrama atravessar várias redes, o menor MTU condiciona o tamanho dos datagramas IP (fragmentos) entregues no destino

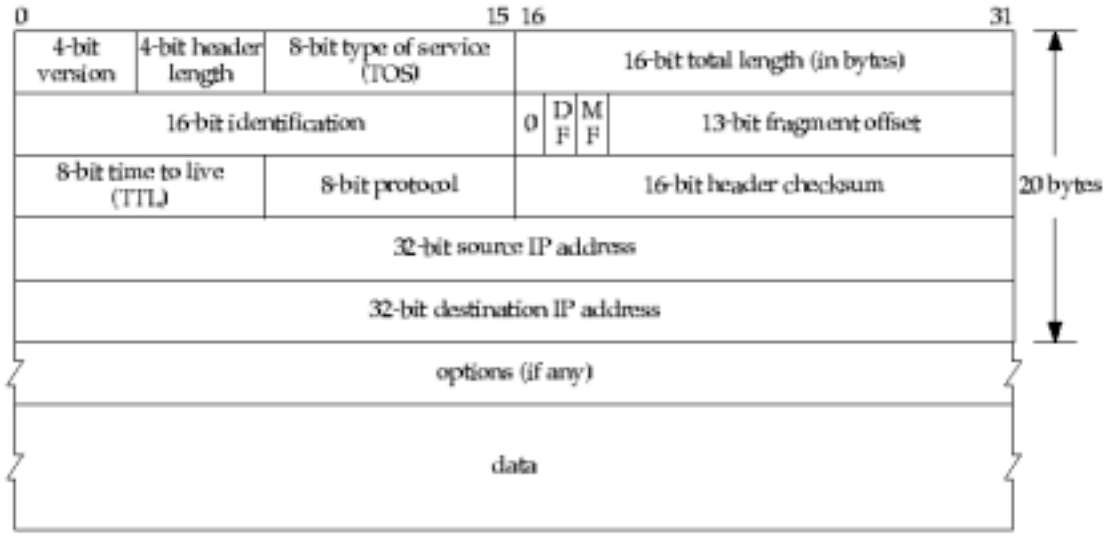
Network	MTU (bytes)
16 Mbits/sec token ring (IBM)	17914
4 Mbits/sec token ring (802.5)	4464
FDDI	4352
Ethernet	1500
IEEE 802.3/802.2	1492
X.25	576
Point-to-Point (low delay)	296

Internet Protocol

- IP
  - » Comutação de datagramas
  - » Serviço não fiável
    - – Não há garantia de entrega no destino
    - – Serviço *best effort*
  - » Datagramas para um mesmo destino podem
    - – Seguir caminhos diferentes
    - – Ser entregues fora de ordem
- Cada router
  - » Analisa o endereço de destino
  - » Encaminha o datagrama recebido para uma das suas interfaces
  - » Em situações de erro
    - – Elimina datagrama
    - – Envia mensagem de erro ICMP para a origem

Cabeçalho IP

IP Header



Cabeçalho IP

- Versão – IPv4
- Comprimento do cabeçalho
  - Número de palavras (de 32 bits) do cabeçalho
  - Limite do cabeçalho → 60 octetos
- TOS (*type of service*)
  - 3 bits de precedência
  - 4 bits TOS
  - 1 bit não usado
  - Usado em novas redes (QoS, DiffServ)
- Comprimento total
  - Comprimento total do datagrama
  - Máximo: 65535 octetos
- Identificação
  - Identifica unicamente um datagrama
  - Incrementado de uma unidade por cada datagrama enviado
- Flags
  - DF – *Don't Fragment*
  - MF – *More Fragments*
- Tempo de vida
  - Número máximo de *routers* visitáveis por um datagrama
  - Inicializado pelo *host* (32 ou 64)
  - Decrementado de um quando visita *router*
- Protocolo
  - Usado para desmultiplexagem
- *Checksum*
  - Calculado sobre o cabeçalho
- Endereço de origem (32 bits)
- Endereço de destino (32 bits)
  - endereço do *host* final
- Opções
  - Registo de rota
  - Registo de tempos
  - Encaminhamento definido pela origem
    - *Loose source routing*
    - *Strict source routing*

Type Of Service

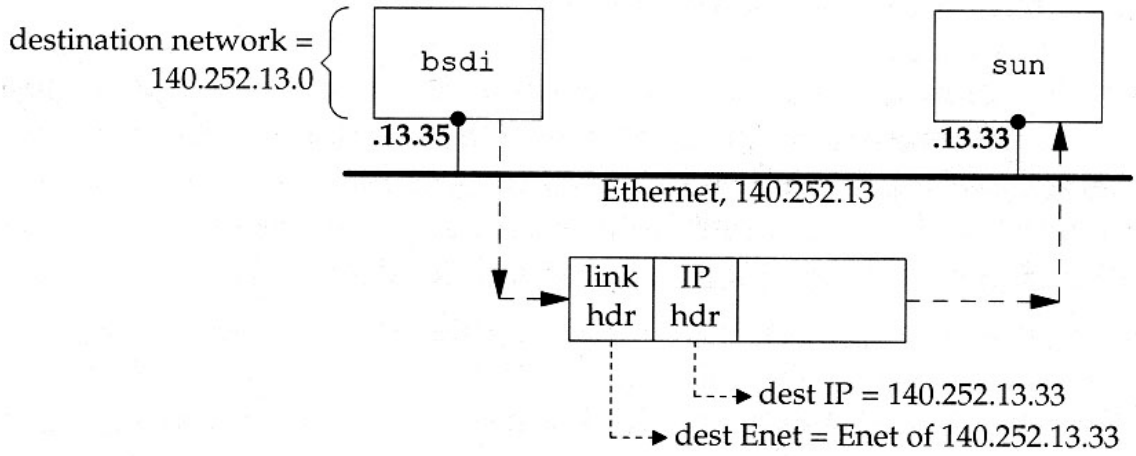
Application	Minimize delay	Maximize throughput	Maximize reliability	Minimize monetary cost	Hex value
Telnet/Rlogin	1	0	0	0	0x10
FTP					
control	1	0	0	0	0x10
data	0	1	0	0	0x08
any bulk data	0	1	0	0	0x08
TFTP	1	0	0	0	0x10
SMTP					
command phase	1	0	0	0	0x10
data phase	0	1	0	0	0x08
DNS					
UDP query	1	0	0	0	0x10
TCP query	0	0	0	0	0x00
zone transfer	0	1	0	0	0x08
ICMP					
error	0	0	0	0	0x00
query	0	0	0	0	0x00
any IGP	0	0	1	0	0x04
SNMP	0	0	1	0	0x04
BOOTP	0	0	0	0	0x00
NNTP	0	0	0	1	0x02

Encaminhamento IP

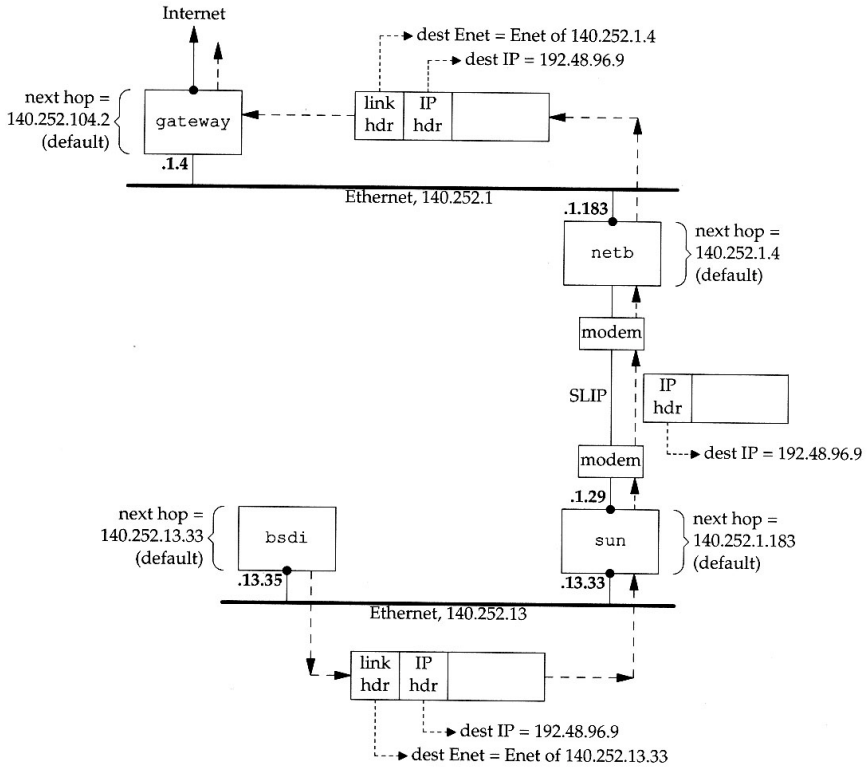
- Cada entrada da *tabela de encaminhamento* de um *router* contém
  - » Um endereço IP de destino (*hostid* ou *netid*)
  - » Endereço IP do *next-hop router*
  - » Interface de rede à qual o datagrama deve ser passado

- Quando o datagrama chega ao nível IP este
  - » Procura entrada na tabela que seja igual ao *hostid* de destino
    - – Se consegue → envia pacote
  - » Procura entrada na tabela que seja igual ao *netid* de destino
    - – Se consegue → envia pacote
  - » Procura entrada por omissão (*default*) na tabela
    - – envia pacote

Exemplo 1

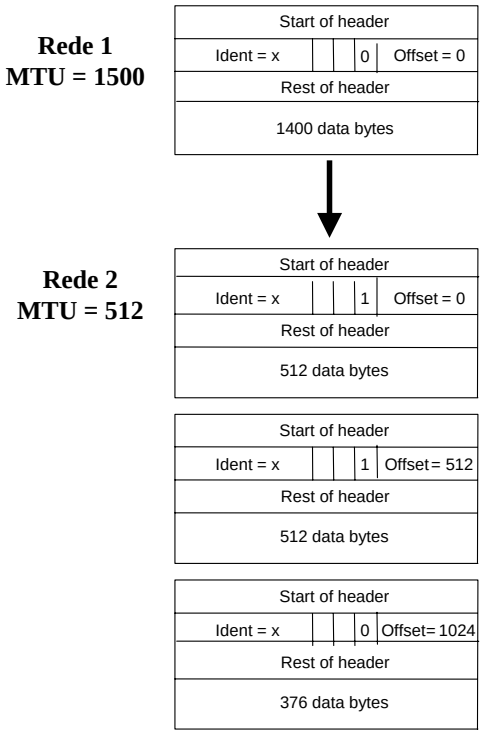


Exemplo 2



Fragmentação IP

- A fragmentação é realizada quando necessário em *routers* (a fragmentação na origem é evitada)
- A reconstrução de datagramas é feita no destino
- Informação usada na fragmentação (cabeçalho IP)
  - » *Identification*
    - Valor único atribuído a cada datagrama pelo emissor
    - Copiado em cada fragmento do datagrama original
  - » *Data length*
    - Comprimento dos dados (do fragmento) em octetos
  - » *Offset*
    - Posição do fragmento no datagrama (n * 64 bits)
  - » *More Fragments* (MF *flag*)
    - Indica que o fragmento não é o último
- Problema
  - » Perda de fragmentos
- Solução → tempo máximo de
  - » Reconstrução
  - » Vida de um datagrama



IP - Subredes

- Divisão de uma rede em subredes
  - » Endereço de um *host* → identificador de subrede + identificador de *host*
  - » Exemplo: 1 LAN → 1 subrede
  - » Todos os computadores de uma subrede têm o mesmo endereço de subrede
- Construção de um número arbitrário de redes numa empresa
  - » Esconde as redes da empresa do resto da Internet
  - » Do exterior as redes da empresa são vistas como uma rede única
- *Routers* da empresa encaminham usando informação da subrede
- Máscara de subrede
  - » Identifica bits que devem ser interpretados como bits de (sub)rede

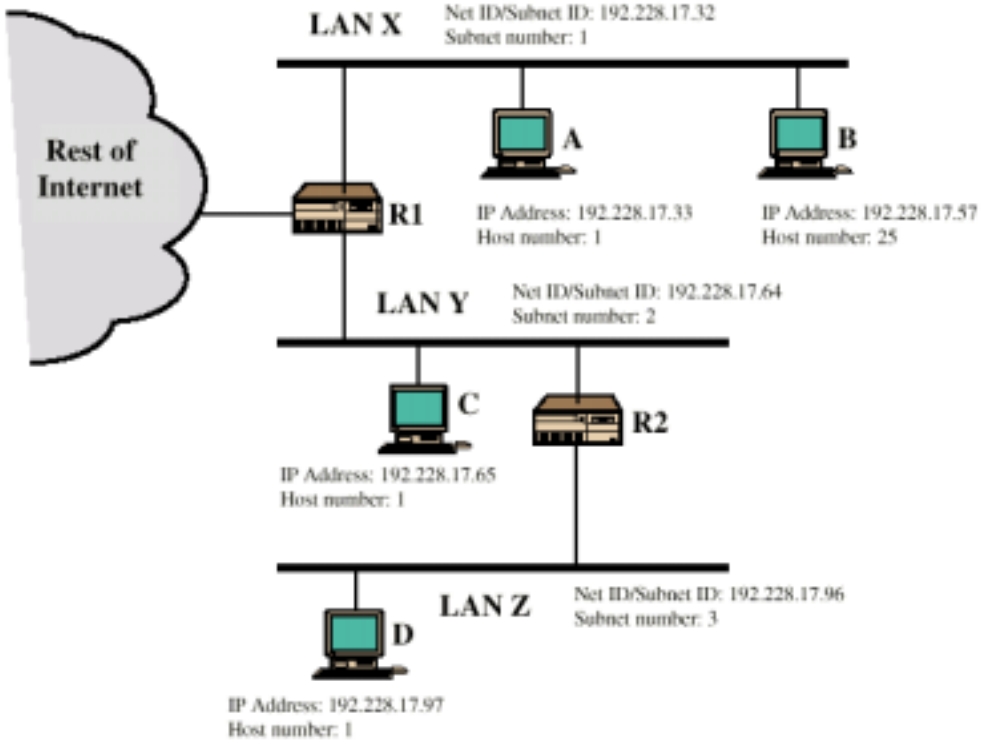
IP - Máscaras

	Binary Representation	Dotted Decimal
IP address	11000000.11100100.00010001.00111001	192.228.17.57
Subnet mask	11111111.11111111.11111111.11100000	255.255.255.224
Bitwise AND of address and mask (resultant network/subnet number)	11000000.11100100.00010001.00100000	192.228.17.32
Subnet number	11000000.11100100.00010001.001	1
Host number	00000000.00000000.00000000.00011001	25

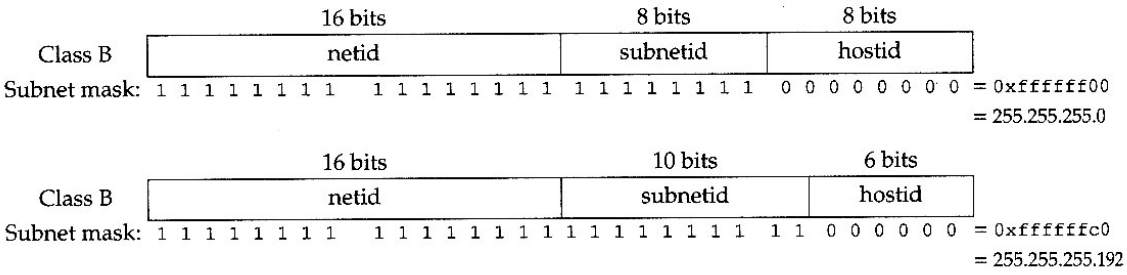
Default subnet masks

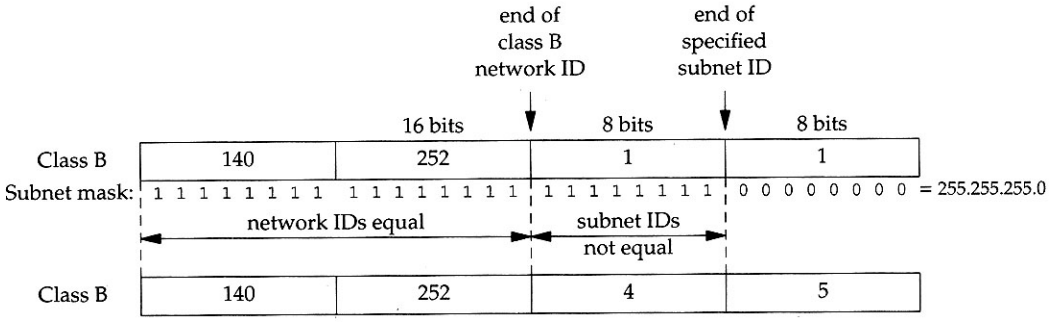
	Binary Representation	Dotted Decimal
Class A default mask	11111111.00000000.00000000.00000000	255.0.0.0
Example Class A mask	11111111.11000000.00000000.00000000	255.192.0.0
Class B default mask	11111111.11111111.00000000.00000000	255.255.0.0
Example Class B mask	11111111.11111111.11111000.00000000	255.255.248.0

Encaminhamento com subredes

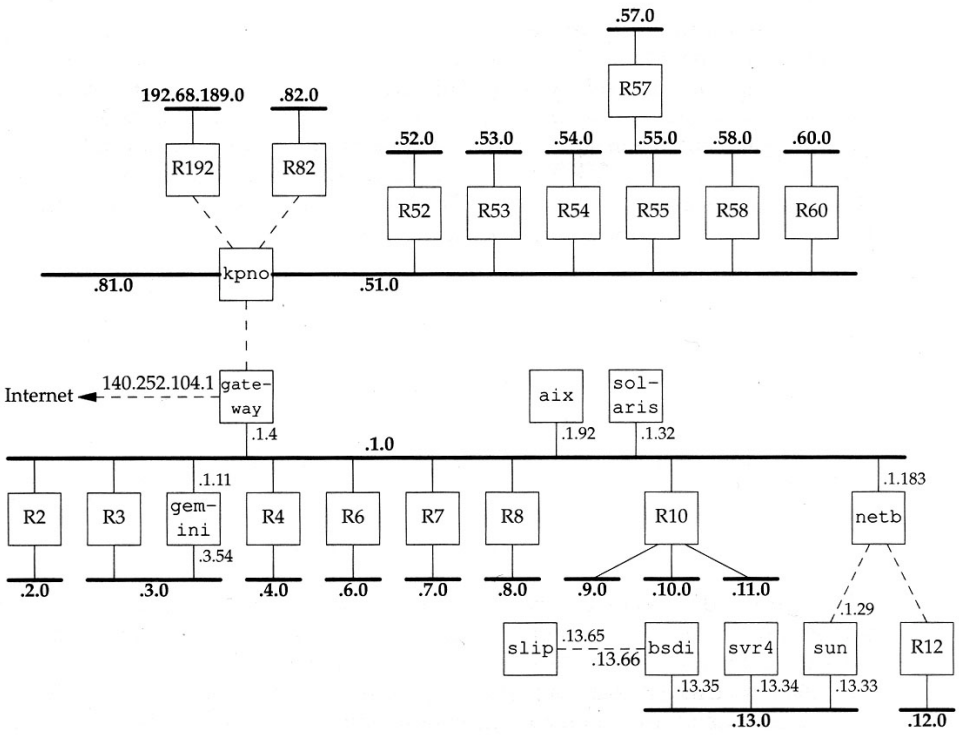


Máscaras





Exemplo de Subredes



ifconfig

```
sun% /usr/etc/ifconfig -a

leO : flags=63<UP, BROADCAST, NOTRAILERS, RUNNING>
inet 140.252.13.33 netmask ffffffe0 broadcast 140.252.13.63

slO : flags=105KUP, POINTOPOINT, RUNNING, LINKO>
inet 140.252.1.29 -> 140.252.1.183 netmask ffffff00

loO: flags=49<UP,LOOPBACK,RUNNING>
inet 127.0.0.1 netmask ff000000
```

```
bsdi% /sbin/ifconfig weO
we0: flags=863<UP, BROADCAST, NOTRAILERS, RUNNING, SIMPLEX>
inet 140.252.13.35 netmask ffffffe0 broadcast 140.252.13.63

bsdi% /sbin/ifconfig slO
sl0 : flags=1011<UP, POINTOPOINT, LINKO
inet 140.252.13.66 -> 140.252.13.65 netmask ffffffe0
```

```
slip% /sbin/ifconfig slO

sl0 : flags=1011<UP, POINTOPOINT, LINK0
inet 140.252.13.65 --> 140.252.13.66 netmask ffffffe0
```

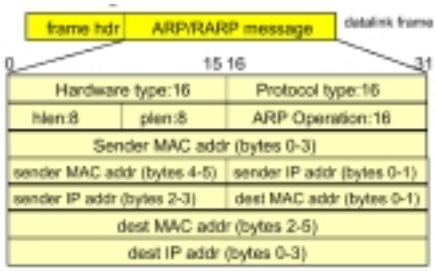
```
svr4% /usr/sbin/ifconfig emdO

emdO: flags=23<UP, BROADCAST, NOTRAILERS>
inet 140.252.13.34 netmask ffffffe0 broadcast 140.252.13.63
```

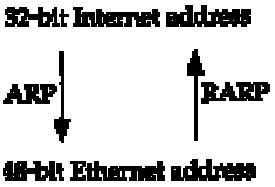

netstat

```
sun% netstat -in
Name   Mtu    Net/Dest        Address         lpkts   lerrs   Opkts   Oerrs   Collis   Queue

leO    1500   140.252.13.32   140.252.13.33   67719   0       92133   0       1        0

slO    552    140.252.1.183   140.252.1.29    48035   0       54963   0       0        0

loO    1536   127.0.0.0       127.0.0.1       15548   0       15548   0       0        0
```

ARP – Address Resolution Protocol

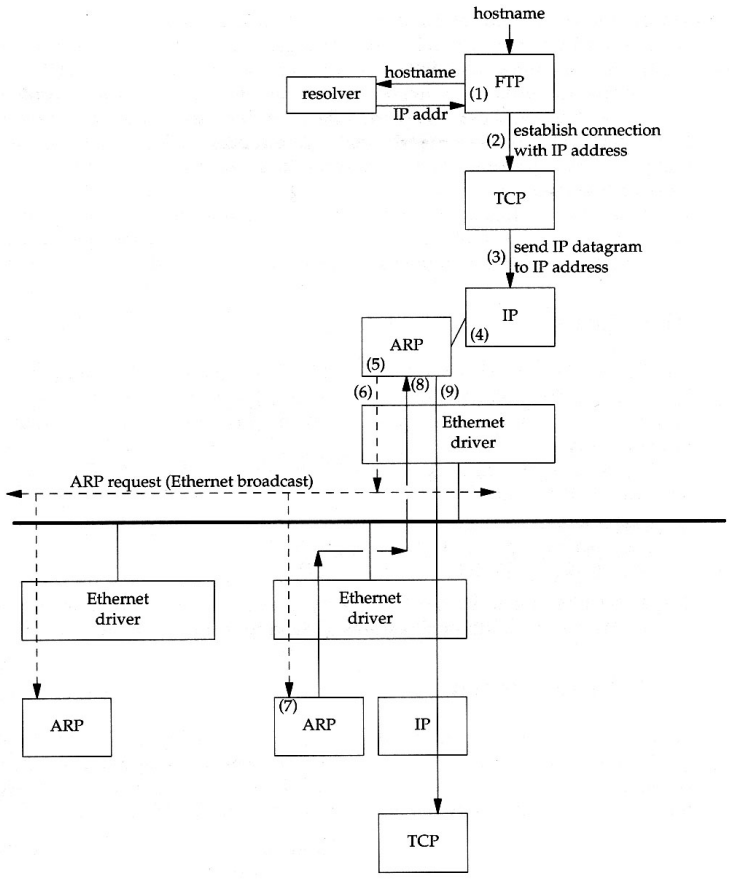
- Host TCP/IP → endereço IP
- Carta de rede → endereço físico (*hardware*)
  - » Em LANs – endereço MAC
- ARP →
  - » Mapeamento dinâmico
  - » Endereço IP ← → endereço de hardware



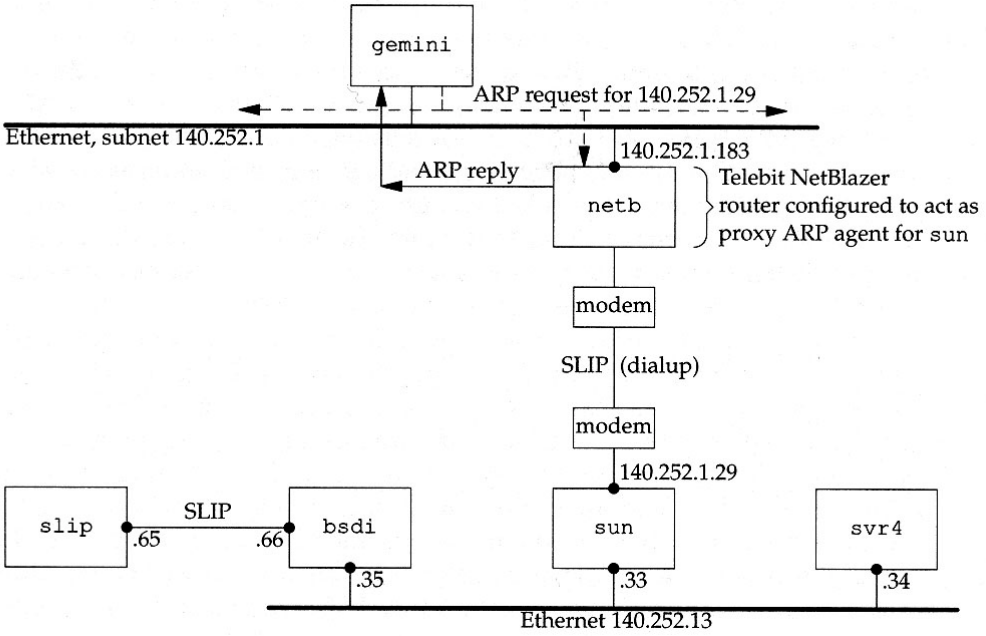


- hardware type : Ethernet=1 ARCNET=7, localtalk=11
- protocol type : IP=0x800
- hlen : length of hardware address, Ethernet=6 bytes
- plen : length of protocol address, IP=4 bytes
- ARP operation : ARP request = 1, ARP reply = 2
  RARP request = 3, RARP reply = 4

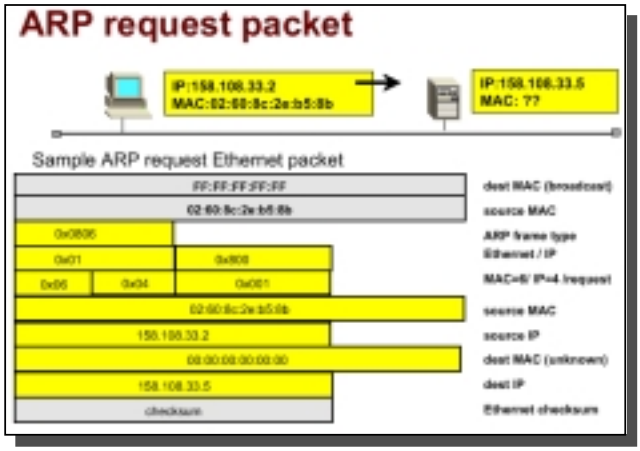
Exemplo

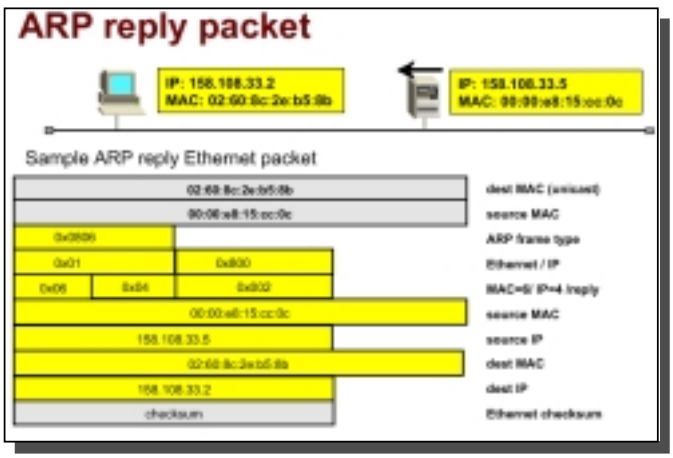


Proxy ARP



ARP Request - Reply

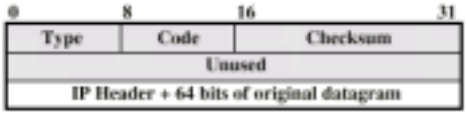




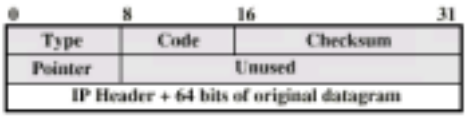
ICMP

- ICMP → Internet Control Message Protocol (RFC 792)
- Transferência de mensagens de controlo
  - » Routers / host ←→ host
  - » Indicam problemas
- Mensagens ICMP são encapsuladas em datagramas IP (não fiável)

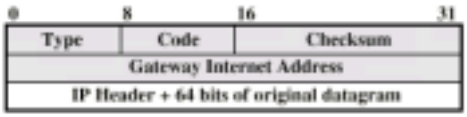
ICMP – Tipos de Mensagem



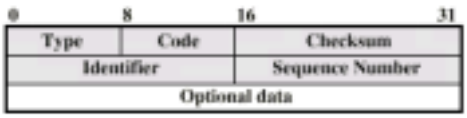
(a) Destination Unreachable; Time Exceeded; Source Quench



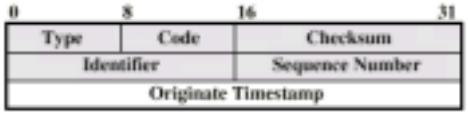
(b) Parameter Problem



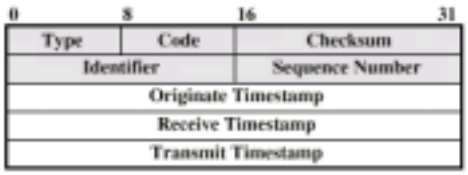
(c) Redirect



(d) Echo, Echo Reply

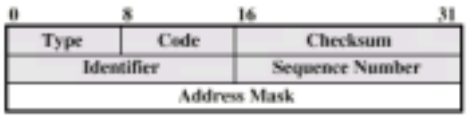


(e) Timestamp



(f) Timestamp Reply

(g) Address Mask Request



(h) Address Mask Reply

Ping

- ICMP Echo / Echo Reply
- Echo
  - » Identificador
    - – Pid do cliente
  - » Sequência
    - – começa em 0
  - » Dados
    - – tempo de envio
- Echo Reply
  - » Enviado por servidor *ping* (*kernel*)
  - » Ecoa tudo

```
sun% ping gemini

PING gemini: 56 data bytes
64 bytes from gemini (140.252.1.11): icmp_seq=0. time=373. ms
64 bytes from gemini (140.252.1.11): icmp_seq=l. time=360. ms
64 bytes from gemini (140.252.1.11): icmp_seq=2. time=340. ms
64 bytes from gemini (140.252.1.11): icmp_seq=3. time-320. ms
64 bytes from gemini (140.252.1.11): icmp_seq=4. time=330. ms
64 bytes from gemini (140.252.1.11): icmp seq=5. time=310. ms
64 bytes from gemini (140.252.1.11): icmp seq=6. time==290. ms
64 bytes from gemini (140.252.1.11): icmp_seq-7. time=300. ms
64 bytes from gemini (140.252.1.11): icmp_seq=8. time=280. ms
64 bytes from gemini (140.252.1.11): icmp_seq=9. time=290. ms
64 bytes from gemini (140.252.1.11): icmp_seq=10. time=300. ms
64 bytes from gemini (140.252.1.11): icmp_seq=ll. time=280. ms
--gemini PING Statistics--
12 packets transmitted, 12 packets received, 0% packet loss
round-trip (ms) min/avg/max = 280/314/373
```


TraceRoute

- Permite detectar rotas entre máquinas
- Usa datagramas IP e mensagens de erro ICMP
  - » *Traceroute* começa por enviar datagrama para destino com
    - – TTL = 1 e porta UDP inexistente
  - » O primeiro *router*
    - – decrementa valor de TTL → elimina datagrama
    - – envia mensagem de erro ICMP (*time exceed*) para origem
    - – *Traceroute* obtém a sua identificação
  - » *Traceroute* envia novo datagrama para destino
    - – com TTL = 2 e porta UDP inexistente
  - » O segundo *router* repete o processo e assim sucessivamente
  - » *Traceroute* envia datagrama com TTL até à máquina de destino
  - » A máquina de destino envia
    - – mensagem de erro ICMP – *port unreachable*
    - – *Traceroute* obtém a sua identificação

TraceRoute - Exemplo

```
svr4% traceroute slip

traceroute to slip (140.252.13.65), 30 hops max. 40 byte packets
1 bsdi (140.252.13.35) 20 ms 10 ms 10 ms
2 slip (140.252.13.65) 120 ms 120 ms 120 ms
```

```
slip% traceroute svr4

traceroute to svr4 (140.252.13.34), 30 hops max, 40 byte packets
1 bsdi (140.252.13.66) 110 ms 110 ms 110 ms
2 svr4 (140.252.13.34) 110 ms 120 ms 110 ms
```

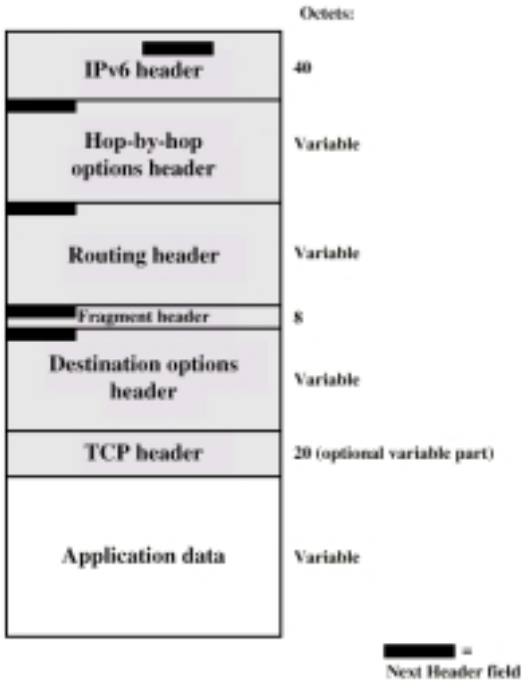

Versões IP – (IPv4 e IPv6)

- Versões
  - » IP v1-v3 → fora de uso
  - » IP v4 → versão em uso
  - » IP v5 → orientado às ligações
  - » IP v6 → substituto do IP v4
- Limitações do IPv4
  - » Endereçamento
    - – Dois níveis de endereçamento (rede, *host*) desperdiça endereços
    - – Endereços usados mesmo quando rede não ligada à Internet
    - – Crescimento do número de redes e da Internet
    - – Endereço único por computador
  - » Requisitos de novos tipos de serviços
- Melhorias do IPv6
  - » Flexibilidade de endereçamento
    - – Espaço de endereçamento aumenta (128 bits)
    - – *Multicast* - mais versátil e escalável
  - » Reserva de recursos
    - – Substituição do *Type of Service*
    - – Introdução do conceito de fluxo de pacotes
    - – Fluxos com tratamento especial (QoS), e.g., Vídeo em tempo real

IPv6 - Protocolo

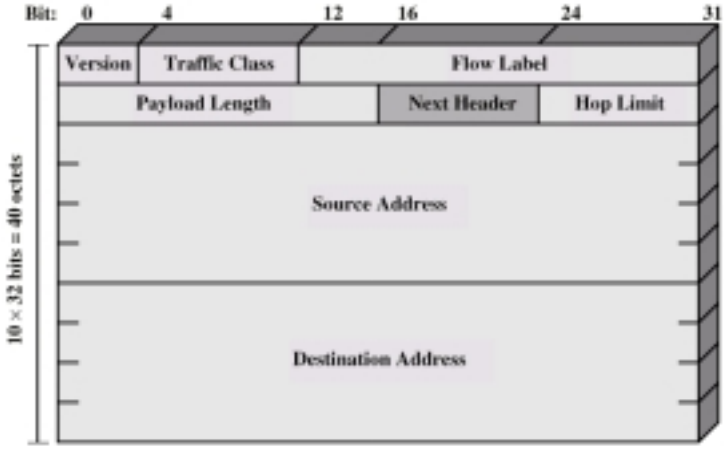
- Cabeçalho IPv6

- Cabeçalhos secundários (de extensão)
  - » *Hop-by-Hop Options*
    - – Processado e alterado nos *routers*
  - » *Routing*
    - – Semelhante ao *Source Routing* do IPv4
  - » *Fragment*
  - » *Destination options*
    - – Para nó de destino
  - » TCP



Cabeçalho IPv6

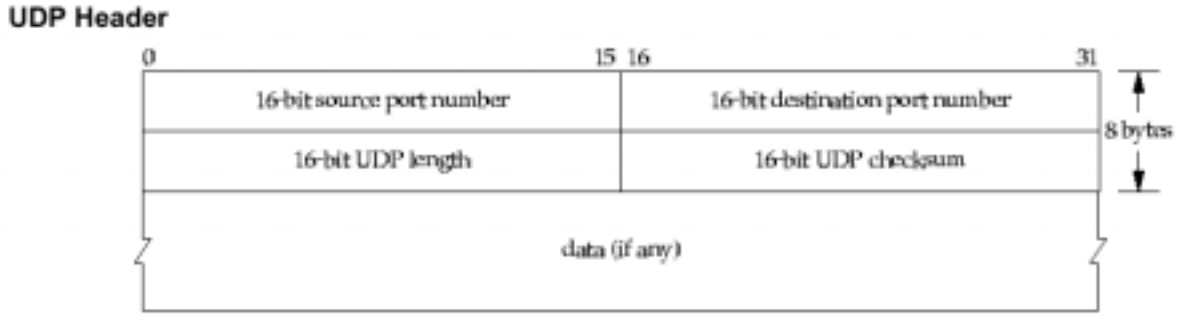
- *Version*
  - » 6
- *Traffic Class*
  - » Classes / prioridades de pacote
  - » Em desenvolvimento
- *Flow Label*
  - » Suporte de QoS
- *Payload length*
  - » Cabeçalhos secundários + dados
- *Next Header*
  - » Tipo do póximo cabeçalho
    (Extensão ou nível superior)
- *Source Address*
- *Destination Address*



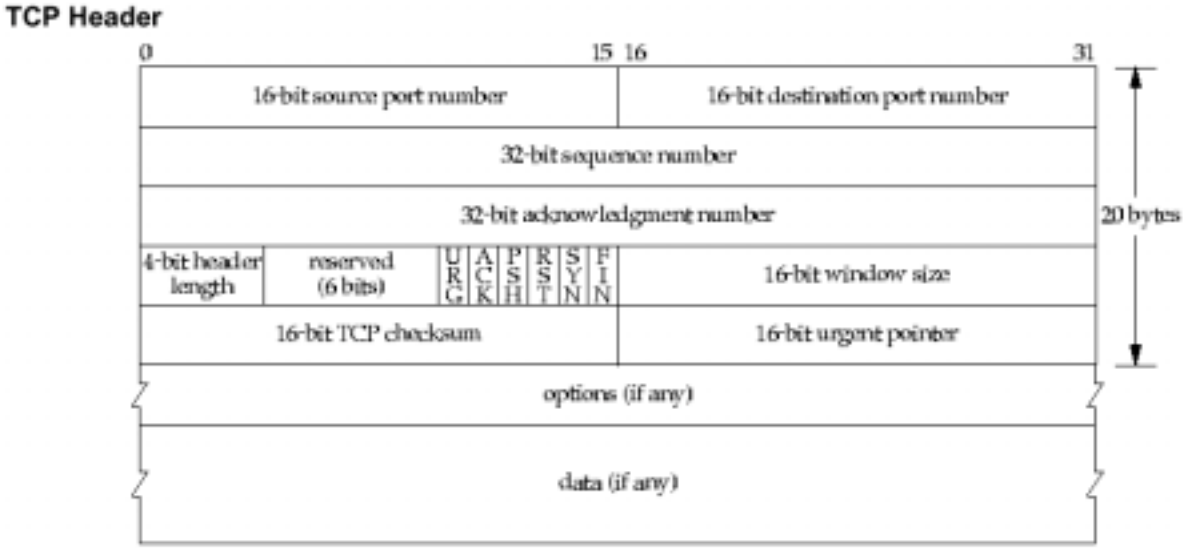
IPv6 - Endereços

- 128 bits
- Atribuídos a interfaces
- Uma interface pode ter múltiplos endereços
- Tipos de endereços
  - » *Unicast*
    - uma interface
  - » *Anycast*
    - Conjunto de interfaces
    - Pacote entregue a qualquer interface (a mais próxima)
  - » *Multicast*
    - Conjunto de interfaces
    - Pacote entregue a todas as interfaces

Cabeçalho UDP



Cabeçalho TCP



Bibliografia

» "***TCP/IP Illustrated – The Protocols***", Richard W. Stevens

– Capítulos: 1, 2, 3, 4, 6, 7, 8