Capítulo 2. IP

Redes de Ordenadores

2º Grado en Ingeniería en Tecnologías de Telecomunicación

Índice

Índice hora 1

Objetivos

- Conocer las funcionalidades del protocolo de nivel de red de Internet: IP
- Entender la función de cada campo de la cabecera IP junto con sus campos opcionales

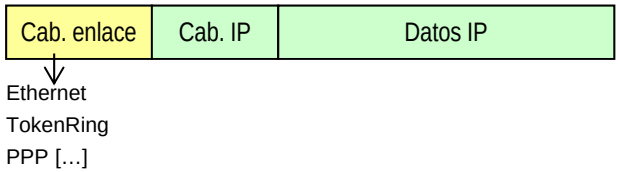
1 Características IP

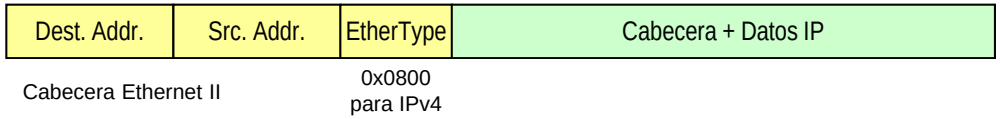
RFC791(STD5), RFC1349

- Internet Protocol (IP) es un protocolo de nivel de red.
- Servicio de datagramas, no orientado a conexión: cada datagrama se maneja independientemente de los demás.
  - Desorden (distintas rutas para cada datagrama).
- Servicio no fiable: no hay garantías (Best Effort). Los datagramas:
  - Se pueden corromper.
  - Pueden llegar duplicados.
  - Pueden no llegar.
- IP versiones:
  - IPv4, usada desde los años 70.
  - IPv6, en fase de implantación (… desde 2002!).

Características IP

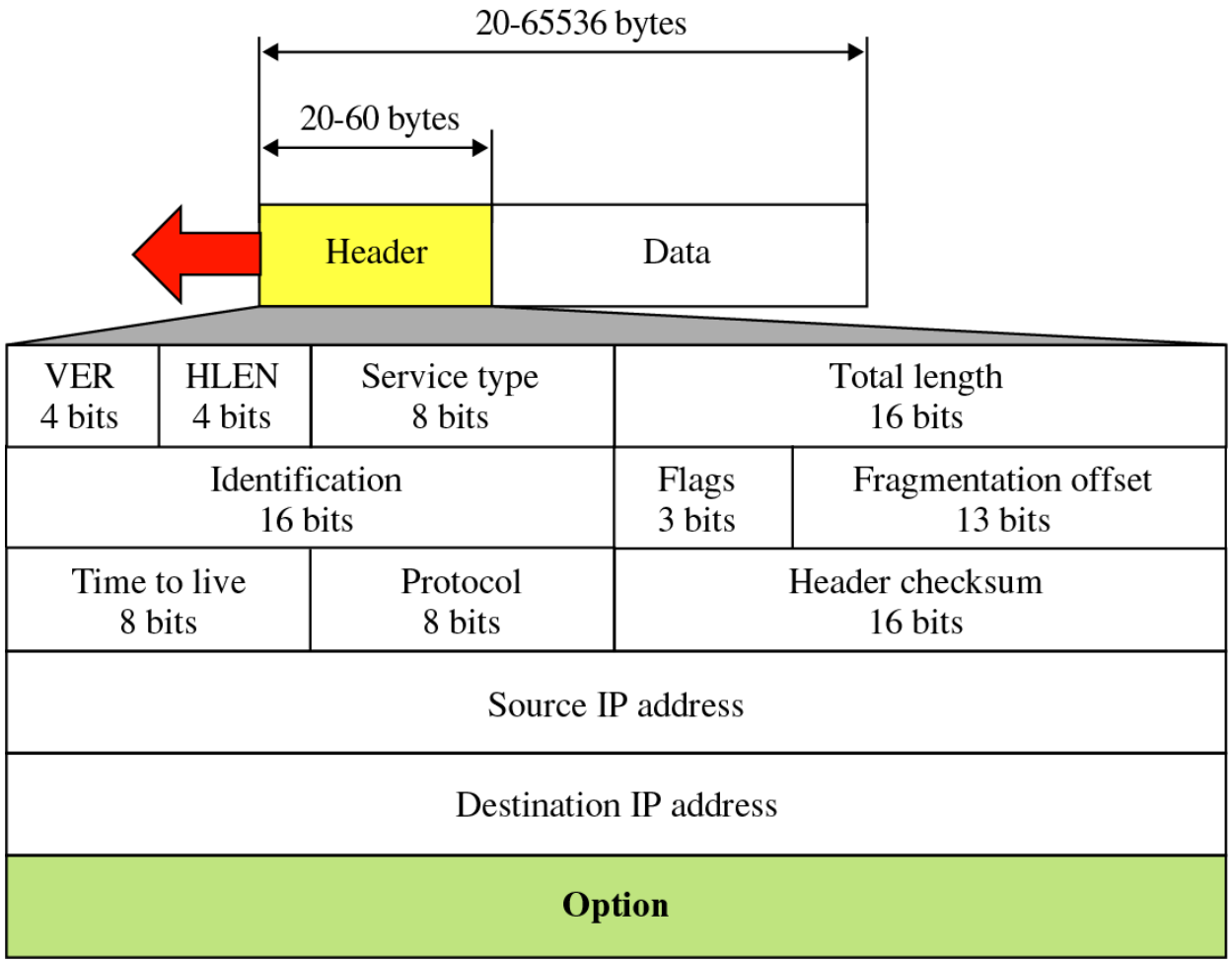
- Diferentes tecnologías de nivel de enlace.
- Diferentes cabeceras de nivel de enlace.





- Protocolo IP trabaja sobre cualquier nivel de enlace (encapsulación)
  - Permite conectividad entre sistemas en diferentes redes con distinta tecnología.
- IP provee:
  - Direccionamiento lógico: permite identificar unívocamente un sistema a través de su dirección IP.
  - Encaminamiento: provee conectividad extremo a extremo.
    - Dispositivo de interconexión: router
  - Fragmentación y reensamblado: atravesar cualquier red independientemente de su MTU.
  - Posibilidad de QoS (Quality of Service): priorización del tráfico. No se usa en Internet pero si dentro de redes empresariales u operadoras.

2 Cabecera IPv4



Campos de la cabecera IPv4

- Cabecera IP, tamaño:
  - mínimo de 20 bytes: sin opciones.
  - máximo de 60 bytes: 40 bytes de opciones. Limitado por HLEN.
- VER (4bits)
  - Versión del protocolo IP. IPv4 ⇒ 0x4.
  - Determina el formato de los campos que siguen a continuación.
- HLEN (4bits)
  - Header Length, longitud de la cabecera IP en palabras de 4 bytes.
  - Máximo valor: 1111=0xF=15 palabras ⇒ 60 bytes
- TOS o DS (8bits)
  - Type of Service (TOS), denominación anterior. RFC1349 (1992).
  - Differentiated Services (DS), denominación actual. RFC2474 (1998).

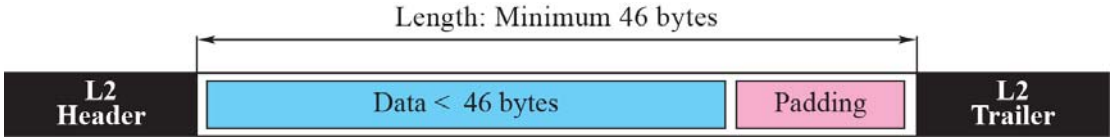
Campos de la cabecera IPv4

- Type of Service
  - Precedence (3 bits), prioridad: 0=baja, 7=alta
  - Sólo un bit puede estar a 1 para indicar el tipo de servicio deseado
    - D: minimizar retardo
    - T: maximizar throughput
    - R: maximizar fiabilidad
    - C: minimizar coste

  - Este campo ha sido tradicionalmente ignorado en implementaciones IP de hosts o routers, en particular los bits de precedencia.
- Differentiated Services
  - Si DEF=000 $\Rightarrow$ ABC se interpretan como los bits de prioridad compatible con la interpretación TOS.
  - Si DEF$\neq$000 $\Rightarrow$ ABCDEF definen 56 (2^6-2^3) tipos de servicio asignados por diferentes autoridades según los últimos bits del *codepoint*:
    - XXXXX0: Internet
    - XXXX11: Local
    - XXXX01: Temporal o experimental

Campos de la cabecera IPv4

- Total Length (16bits)
  - Longitud total cabecera+datos del paquete/fragmento IP en bytes.
  - Longitud datos (bytes) = TotalLength – (HLEN*4)
  - Datagrama IP:
    - Tamaño máximo: 2^{16}-1 = 65.535 bytes
    - Tamaño mínimo que ha de procesar toda máquina en Internet: 576 bytes [RFC1032,STD43]
  - Necesario conocerlo para identificar los datos que no sean padding:



- Identification (16bits)
  - Identificador común a todos los fragmentos que proceden del mismo datagrama IP.
    - En el destino, todos los fragmentos con la misma dirección IP origen y mismo identificador, se tomarán para su reensamblado.
  - Dependiendo de la implementación IP, el identificador se genera para cada datagrama por ejemplo a base de un contador secuencial.

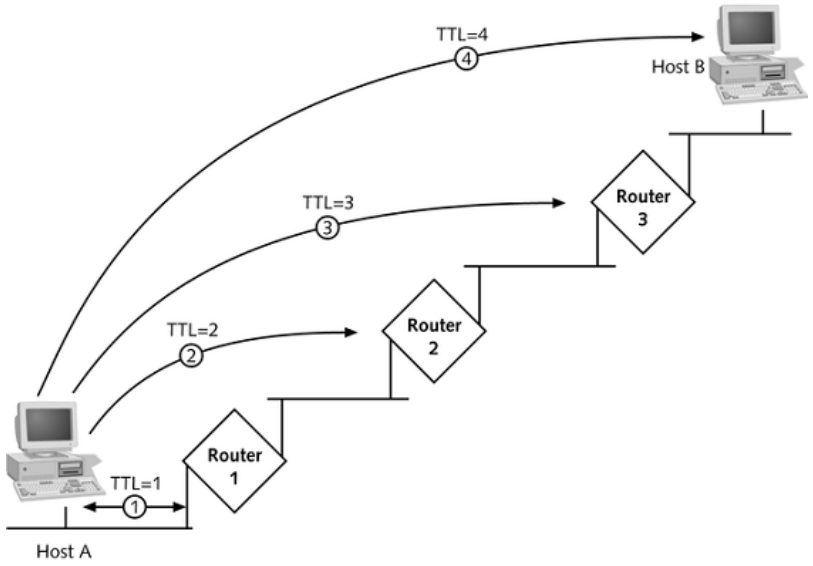
Campos de la cabecera IPv4

- Flags (3bits) 

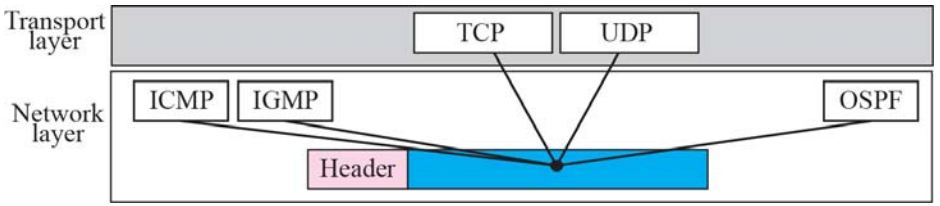
  - Usados en la fragmentación.
  - DF (Don't Fragment), solicitud para que este datagrama no se fragmente en los diversos saltos.
  - MF (More Fragments), vale 0 en el último fragmento o en un datagrama no fragmentado.
- Fragmentation Offset (13bits)
  - Determina la posición del presente fragmento dentro del datagrama original, en palabras de 8 bytes.
    - Vale 0 en el primer fragmento o datagrama no fragmentado.
    - Obligará a que los fragmentos se realicen siempre en múltiplos de 8 bytes de datos IP.
- Time to Live, TTL (8bits)
  - Controla el máximo número de saltos (enlaces entre routers) que un datagrama IP puede realizar.
  - El nodo origen establece un TTL inicial elegido de alguno de los valores típicos de 64, 128 o 256 dependiendo de la implementación.

Campos de la cabecera IPv4

- Cada router que lo procesa decrementa el TTL en una unidad, y si tras ello el valor es 0 el paquete se descarta.
- TTL se utiliza para evitar que haya paquetes circulando continuamente por la red, por ejemplo debido a tablas de rutas corruptas que creen ciclos.
- En teoría, en su concepción original se medía en segundos, restando 1sg al menos cada router, por lo que en la práctica ha equivalido tradicionalmente a la cuenta de saltos.
- También se utiliza para limitar el alcance del paquete (p.e. traceroute).



Campos de la cabecera IPv4



- Protocol (8bits)
  - Determina el protocolo que se encapsula dentro de la parte de datos del datagrama.
  - Valores asignados por el ICANN [RFC3232, actualmente base de datos online]. Típicos:

Valor	Protocolo
0	IP
1	ICMP
2	IGMP
6	TCP
17	UDP
89	OSPF

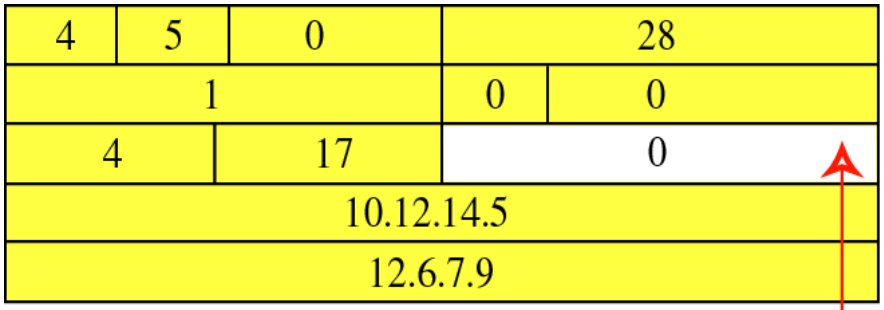
  - En Linux, fichero /etc/protocols contiene el listado de protocolos.

Campos de la cabecera IPv4

- Header Checksum (16bits)
  - Se aplica sólo sobre la cabecera IP.
  - Se calcula en el emisor:
    - Poniendo a 0's el CRC.
    - Suma de la cabecera en palabras de 16 bits (X).
    - El resultado se complementa a 1 y ese será el nuevo CRC (-X) (suma en complemento a 1).
  - En destino, la suma en complemento a 1 de la cabecera en palabras de 16 bits deberá dar 1's (es decir, X+(-X)=0 en complemento a 1).
  - Se verifica en todos los equipos IP que atraviesa (routers y máquina final)
    - comprueban el CRC en cada salto y tiran el paquete si es erróneo.
    - modifican siempre el TTL por lo que necesitan recalcular el CRC. Para ello usan una manera rápida de calcular el CRC de manera incremental:
      - Localizar la palabra de 16bits modificada (B) y restarla de la original (A), el valor resultante se sumará al CRC original para obtener el nuevo CRC = -X+A-B.

Campos de la cabecera IPv4

- Ejemplo de cálculo del CRC:

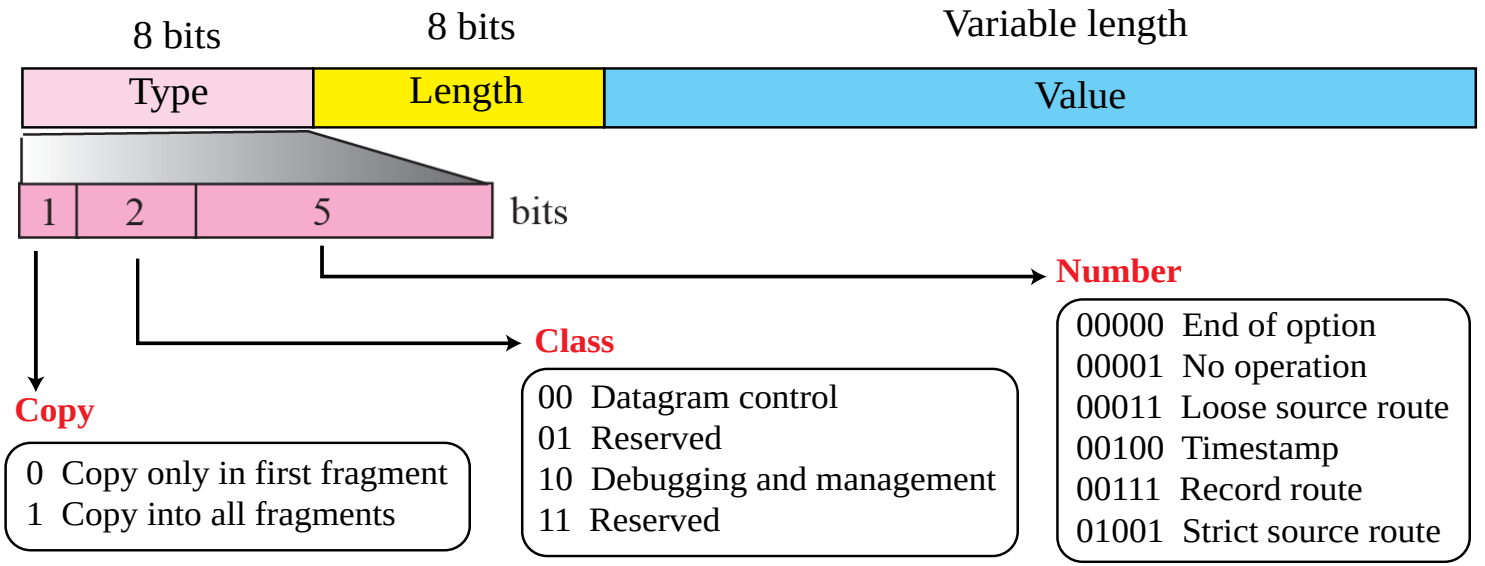


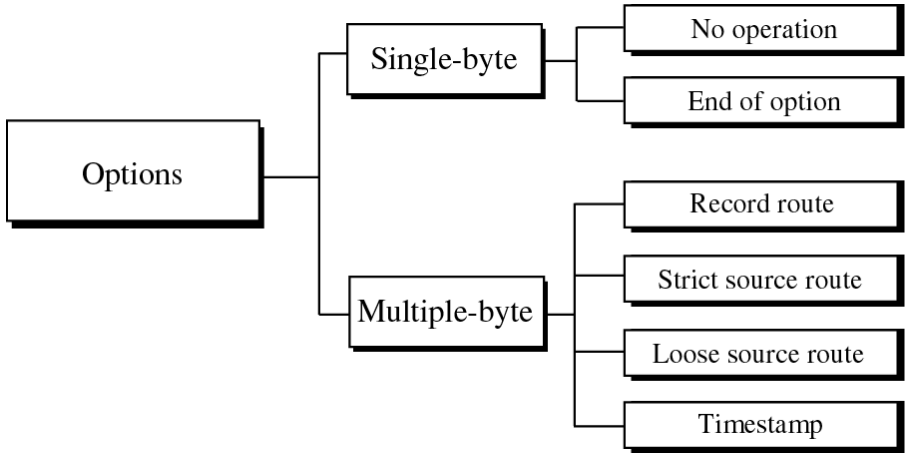
4, 5, and 0	→	01000101 00000000
28	→	00000000 00011100
1	→	00000000 00000001
0 and 0	→	00000000 00000000
4 and 17	→	00000100 00010001
0	→	00000000 00000000
10.12	→	00001010 00001100
14.5	→	00001110 00000101
12.6	→	00001100 00000110
7.9	→	00000111 00001001
Sum	→	01110100 01001110
Checksum	→	10001011 10110001

Campos de la cabecera IPv4

- Source/Destination IP address (32bits cada uno)
  - Direcciones IP origen y destino, identifican unívocamente al origen y destino del paquete.
  - Permanecen intactas por todo el recorrido del paquete en la red.
  - Típicamente se representan como 4 números decimales 0-255 separados por puntos que hacen referencia a cada byte. Ej: 130.206.160.215
- Options (0-40bytes)
  - Proveen funcionalidades de testeo de la red.
  - Se organizan en una estructura *Code/Type+Length+Data*. Los datos son de longitud variable.
  - Siempre se realiza padding (relleno) de las opciones a múltiplos de 32 bits para que pueda representarse su tamaño en palabras de 4 bytes que necesita el campo HLEN.

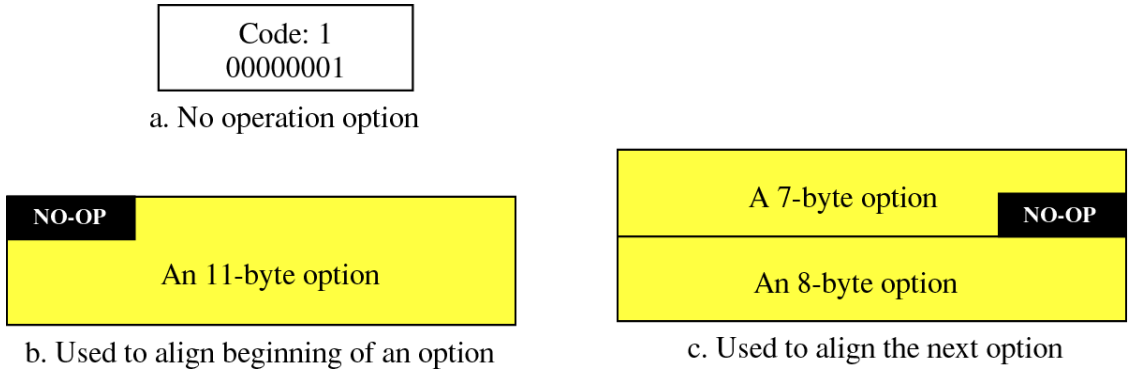
2.1 Opciones en cabecera IPv4





Opción: No operación

- Se usa como relleno entre opciones para alinear la siguiente opción a fronteras de 16 o 32 bits (tamaño de palabras de procesador típico)



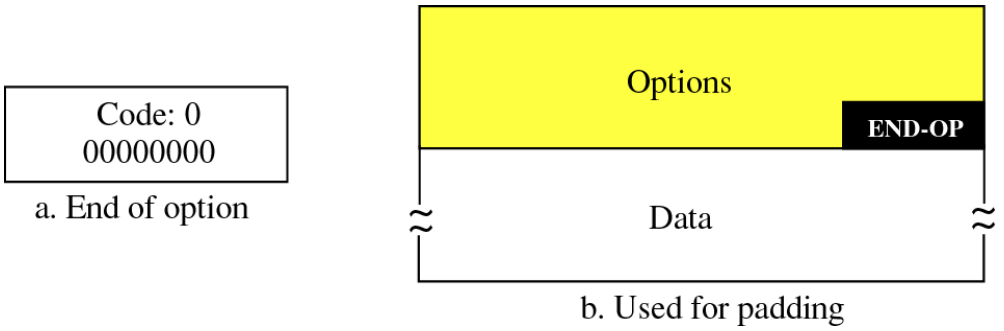
a. No operation option

b. Used to align beginning of an option

c. Used to align the next option

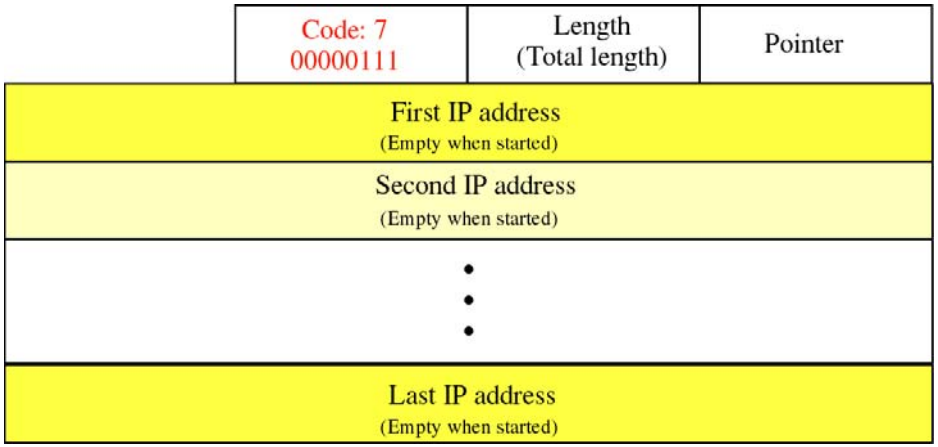
Opción: Fin de opciones

- Se usa como relleno al final de la parte de opciones.
- Si existe, sólo se puede usar como última opción una sola vez, ya que lo que viene a continuación se suponen datos.
- Si se necesitan varios bytes de relleno al final de las opciones, tendran que usarse varios de NO_OP y sólo uno final de END-OP.



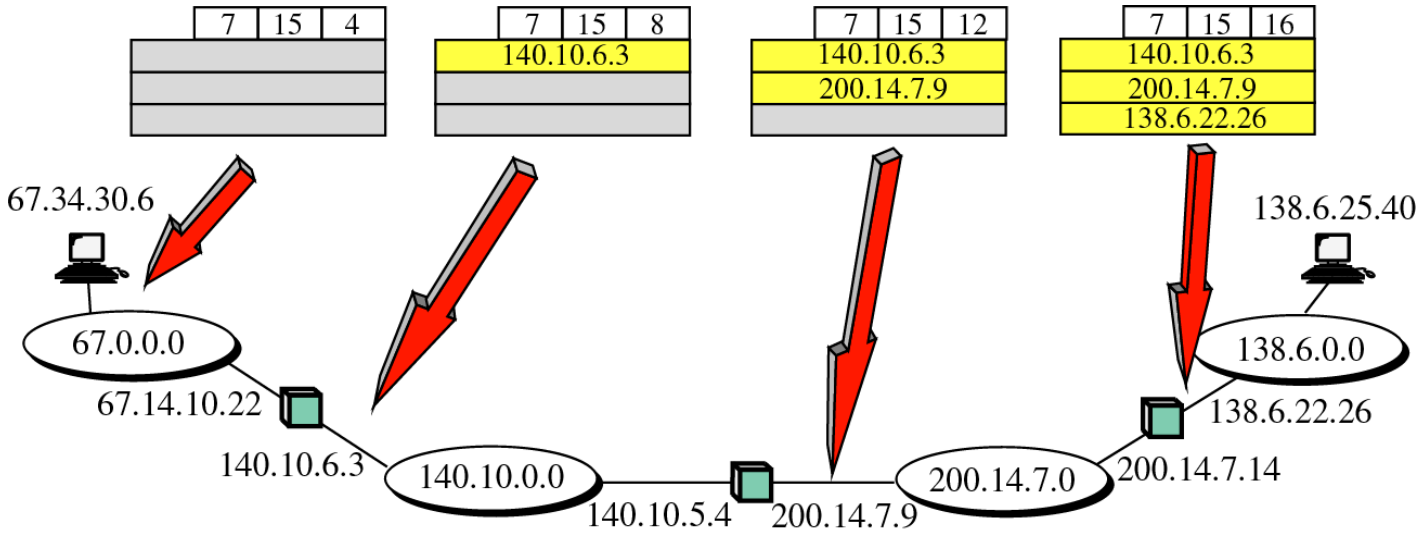
Opción: Registro de ruta

- Permite que hasta 9 routers intermedios almacenen su dirección IP en la opción para llegar al destino (limitado por los 40 bytes de opciones).
- El campo *pointer* es un número entero que contiene la posición del primer byte libre con respecto a la primer byte de la opción.
- Se almacena la dirección IP del interfaz por el que sale el paquete.



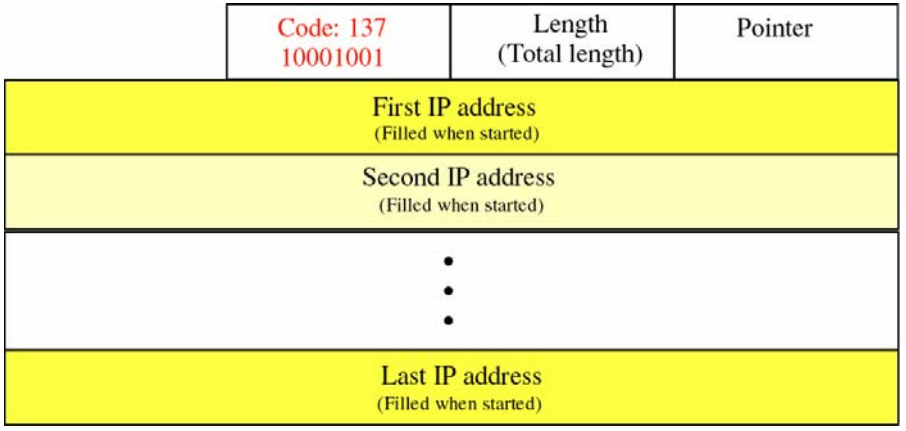
Opción: Registro de ruta

- Ejemplo de opción registro de ruta (record route)



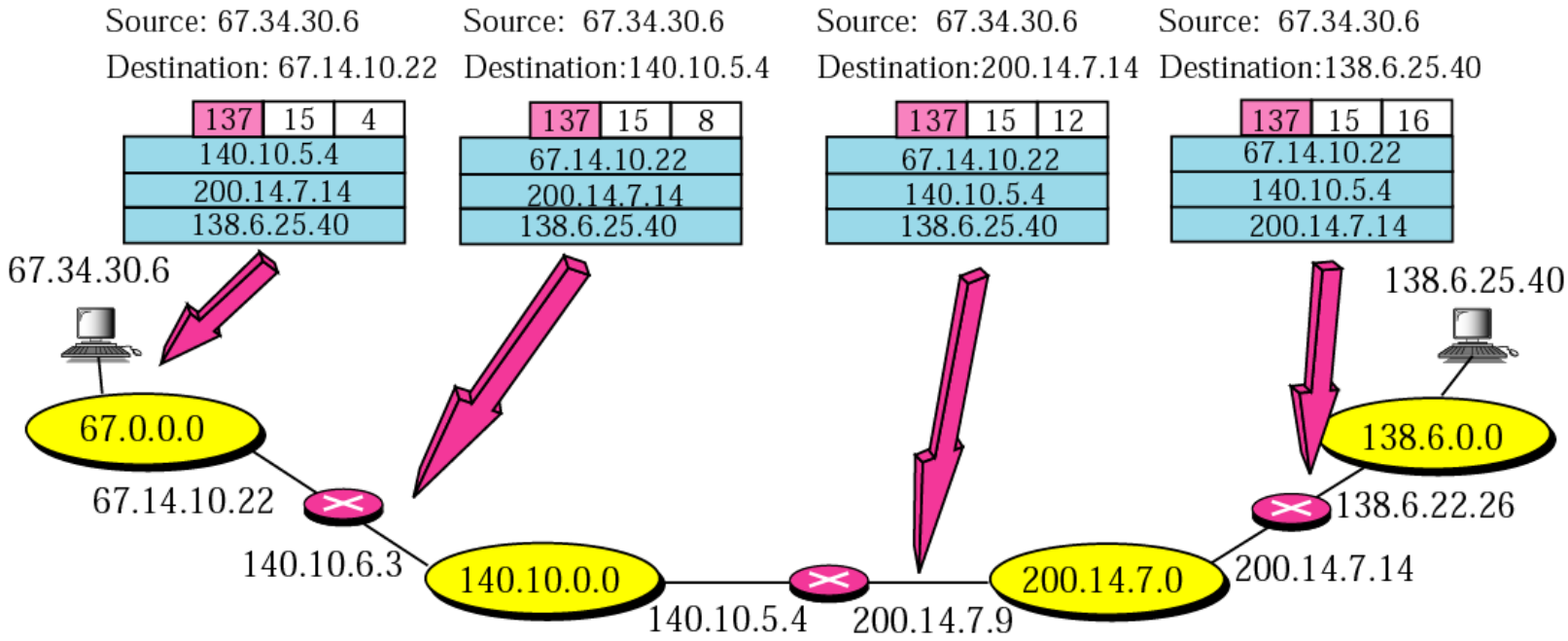
Opción: Enrutamiento fuente estricto

- El origen especifica el camino que ha de seguir el paquete con las IPs de los routers a atravesar. Máximo 9 saltos.
- Si no se puede seguir el camino fijado se tira el paquete.
- El primer salto (router) se coloca como IP destino del paquete
- El segundo salto está en pointer=4.
- Cuando el paquete llega a un router, comprueba que el puntero sea menor que la longitud y reemplaza la IP destino del paquete con la apuntada por el pointer y reemplaza la dirección apuntada por el pointer con la dirección IP de su interfaz de entrada.



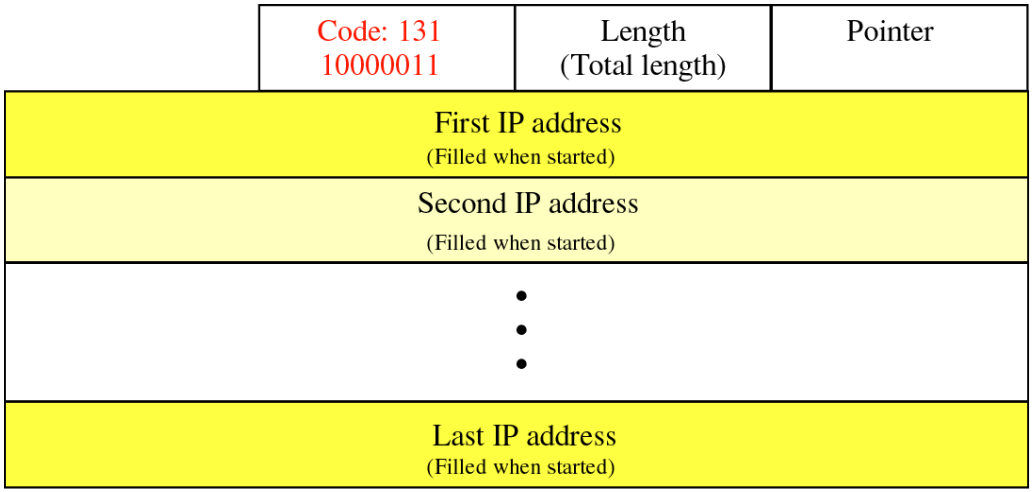
Opción: Enrutamiento fuente estricto

- Ejemplo de opción de enrutamiento fuente estricto (strict-source-route)



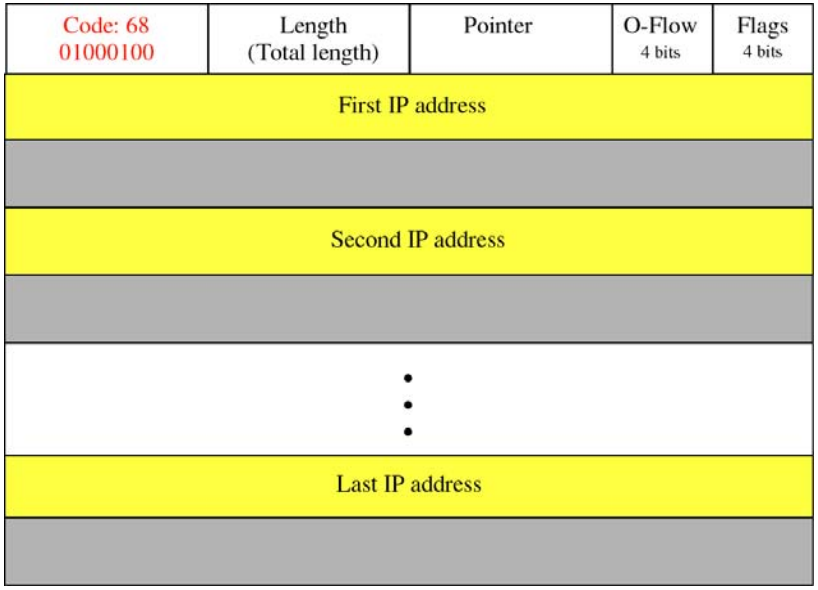
Opción: Enrutamiento fuente débil

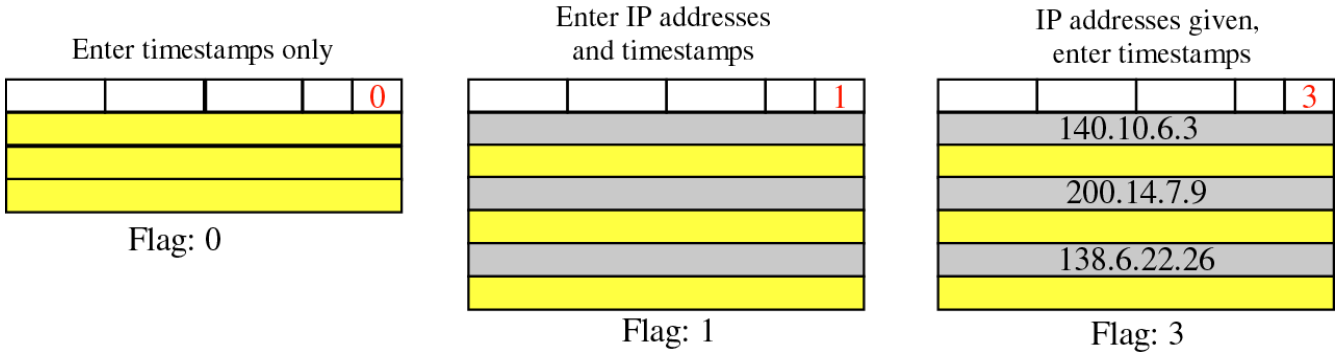
- Fija algunas direcciones IPs de routers a visitar, pero se pueden atravesar otros routers también.
  - Si la dirección apuntada por el pointer se puede usar como siguiente salto se usa. En caso contrario se usa como siguiente salto la que marque la tabla de rutas para llegar a esa dirección.
- Se sigue el mismo procedimiento de reemplazo de direcciones que con el enrutamiento fuente estricto.



Opción: Timestamp

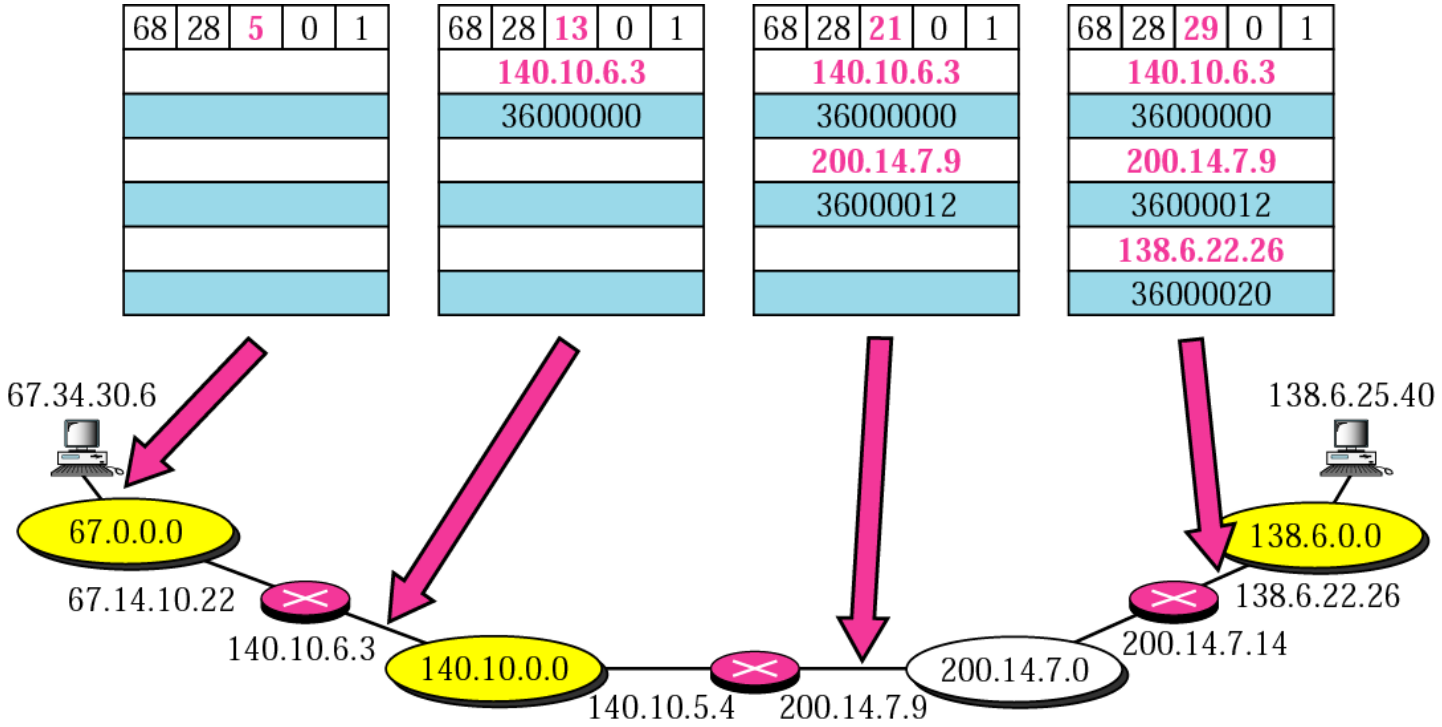
- Almacena los timestamps de cada router junto con sus direcciones IP.
- Los timestamps son en milisegundos desde medianoche UTC.
- Campo overflow: lo incrementa cada router que por falta de espacio no ha podido meter su información.
- 3 posibilidades según los flags:





Opción: Timestamp

- Ejemplo de opción timestamp



Resumen

- Protocolo IP
  - Nivel de red, servicio de datagramas no fiable.
  - Provee:
    - Direccionamiento.
    - Encaminamiento.
    - Fragmentación y reensamblado.
- Cabecera IP
  - Multiplexación de protocolos de nivel de transporte.
  - Incluye campos específicos para el tratamiento de la fragmentación.
  - TTL, limitación en el tiempo de vida.
  - Campos opcionales para enrutamiento fuente y registro de ruta.

Referencias

- [Forouzan]
  - Capítulo 7, secciones 7.1-7.2 “Introduction”, “Datragrams”, secciones 7.4-7.5 “Options”, “Checksum”
- [Stevens]
  - Capítulo 3, secciones 3.1-3.2 “Introduction”, “IP header”