

# Routing: Protocolos *Link State*

Area de Ingeniería Telemática  
<http://www.tlm.unavarra.es>

Grado en Ingeniería en Tecnologías de  
Telecomunicación, 3º

# Temas de teoría

1. Introducción
2. QoS
3. Encaminamiento dinámico en redes IP
4. Tecnologías móviles
5. Otros temas

# Objetivos

- Conocer los principios de diseño de los protocolos Link State
- Comprender los problemas y soluciones asociados a la distribución de los mensajes por inundación

# Contenido

- Introducción
- Tareas del proceso de enrutamiento
  - *Meeting neighbors*
  - Construir LSP
  - Diseminar LSPs
    - Técnicas básicas de *flooding*
    - Esquema actual
  - Calcular las rutas
- Problemas

# Routing en ARPANET

## 1969-1978

- Distance Vector
- El coste es la longitud de cola
- Bellman-Ford
- Problemas
  - Elevados tiempos de convergencia (cuentas a infinito)
  - No tiene en cuenta el BW (había enlaces de 56Kbps y de 1.5Mbps)

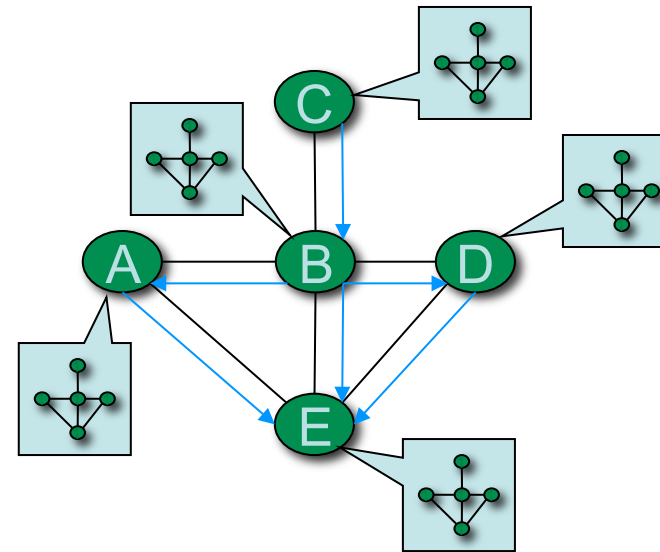
## 1979-1986

- Link State
- El coste es el retardo medido en un intervalo de 10s
- Algoritmo de Dijkstra
- Problemas
  - Oscilaciones
  - Mayor variación en el retardo
  - Updates más frecuentes



# Características globales LS

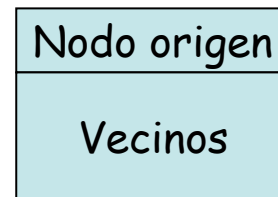
- B.D. distribuida replicada
- Cada router posee información global sobre la red: nodos y enlaces existentes
- ¿Cómo?
  - Informan de sus enlaces a redes activas y con routers vecinos
  - “Inundan” la red con esta información
  - “**Cómo**” hacer esta inundación es uno de los principales problemas de estos protocolos
- Todos los routers tienen una imagen (grafo) de la red
- A partir de ella eligen los caminos
- Menor tiempo de convergencia que DV ante cambios en la red
- Permiten calcular caminos con diferentes requisitos de métrica
- Ejemplos: OSPF, IS-IS, PNNI, DEC’s DNA Phase V, Novell’s NLSP



# Tareas principales del proceso

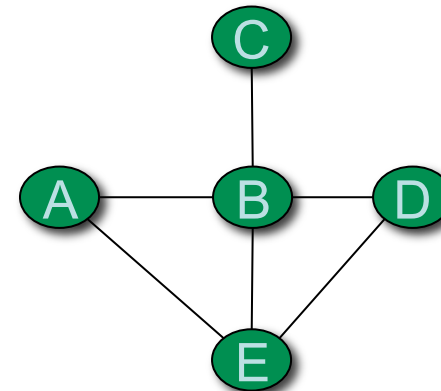
- *Meeting neighbors*
  - En enlaces punto-a-punto transmiten un paquete identificándose
  - En LANs transmiten periódicamente un paquete especial a una dirección del grupo
- Construir un LSP (Link State Packet) cuando
  - Describe un nuevo vecino
  - Cambia el coste de un enlace con un vecino
  - Un enlace con un vecino desaparece
  - Periódicamente
- Diseminar el LSP a todos los routers de la red
- Calcular las rutas

LSP



# Diseminación de LSPs

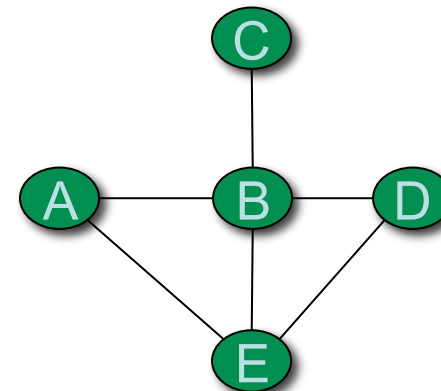
- Objetivos:
  - Todos los routers posean la misma B.D. de LSPs
  - Evitar saturar la red en el proceso
- Si se hace mal:
  - Diferentes LSPs en cada router → calculan rutas incoherentes
  - P u e d e v o l v e r s e cancerígeno
- Ojo, ¡¡ No puede usar la tabla de rutas para hacer llegar el LSP a todos los routers !!
- Solución básica: *flooding* (inundación)





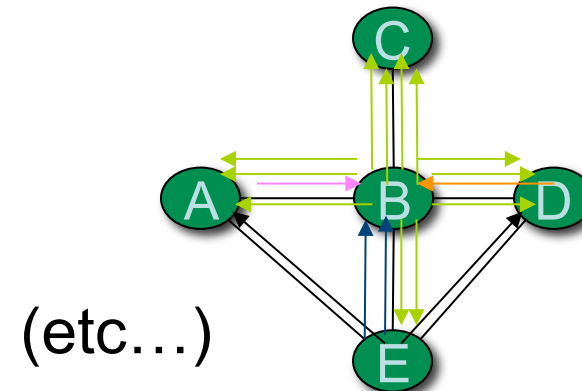
# Flooding

- Esquema:
  - **Cada LSP recibido/generado se transmite a cada vecino excepto a aquel del cual se recibió (. . .)**
  - Se incluye un TTL para evitar que nunca deje de reenviarse
- No depende de las tablas de rutas
- Problema:
  - ¡ Se crea un número exponencial de copias del LSP !
- Mejora:
  - Cada router guarda una copia del LSP
  - Si le llega de nuevo ve que ya lo ha transmitido y no lo retransmite
  - Así cada LSP solo aparece una vez en cada enlace
- Problema:
  - Si recibe un LSP de un router que no es igual al que tiene, ¿cuál es el más moderno?



# Flooding

- Esquema:
  - **Cada LSP recibido/generado se transmite a cada vecino excepto a aquel del cual se recibió (. . .)**
  - Se incluye un TTL para evitar que nunca deje de reenviarse
- No depende de las tablas de rutas
- Problema:
  - ¡ Se crea un número exponencial de copias del LSP !
- Mejora:
  - Cada router guarda una copia del LSP
  - Si le llega de nuevo ve que ya lo ha transmitido y no lo retransmite
  - Así cada LSP solo aparece una vez en cada enlace
- Problema:
  - Si recibe un LSP de un router que no es igual al que tiene, ¿cuál es el más moderno?



# Flooding y timestamps

- Para reconocer al LSP más reciente se incluye un timestamp en el mismo
- Problema:
  - ¿Y si accidentalmente se genera un LSP con un timestamp de un futuro muy lejano?
  - No se aceptarían LSPs de ese router en mucho tiempo
- Solución 1:
  - Timestamps de tiempo absoluto.
  - Si está muy desviado del instante actual se ignora
- Problema:
  - Requiere sincronización entre los routers
  - En sí mismo más complejo que el algoritmo de distribuir LSPs
- Solución 2:
  - Usar un número de secuencia



# Flooding, secuencia

## Timestamp → nº de secuencia

- Cuando un router genera un nuevo LSP usa un nuevo número de secuencia
- Cuando recibe un LSP comprueba que el número de secuencia sea mayor

### Problema:

- Tamaño finito (32bits) ¿Y cuando se alcance el máximo?

### Solución 1:

- Que sean 64 bits (muy difícil desbordarse)

### Problema:

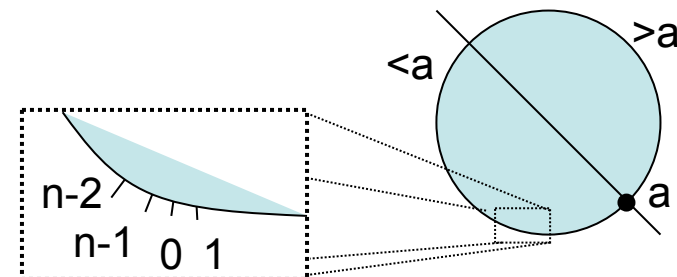
- Corromperse o generarse mal un valor muy alto

## Solución 2:

- Reset o wrap, ej  $a < b$  si
  - $a < b$  y  $|a - b| \leq n/2$
  - o
  - $a > b$  y  $|a - b| > n/2$

### Problema:

- Si un router se reinicia y
- Comienza de nuevo con secuencia 0
- O se particiona la red y se repara mucho más tarde



# Flooding, secuencia y edad

## Edad

- Comienza en un valor
- Va siendo decrementado por los routers a medida que permanece en memoria
- Cuando alcanza 0 se elimina el LSP
- Se aceptará otro independiente del número de secuencia

## Nuevo enrutamiento en ARPANET

- Secuencia (6 bits) +1 en cada nuevo LSP
- Nuevo LSP cada 60 seg
- Al recibir LSP de router R:
  - Aceptar si mayor número de secuencia (aritmética módulo)
  - Si edad del almacenado = 0, aceptar
  - Si lo acepta: reenviar a vecinos
- Edad:
  - 3 bits, unidades de 8 seg
  - Comienza en el máximo (56 seg)
  - Cuando alcanza 0 ya no se propaga pero se guarda
- Tras arrancar espera 90 seg antes de mandar el primer LSP

LSP

Nodo origen
Número de secuencia
Edad
Vecinos

# The ARPANET “incident”

- 27 de Octubre de 1980
- ARPANET *deja de funcionar*
- La red es incapaz de cursar tráfico
- Los IMPs están saturados con LSPs
- Todos provienen del mismo nodo (IMP 50)
- Los mismos 3 números de secuencia repetidos: 8, 40 y 44
- Y en este orden: 8, 40, 44, 8, 40, 44, 8, 40...
- ¿Qué estaba sucediendo? ¿Por qué?



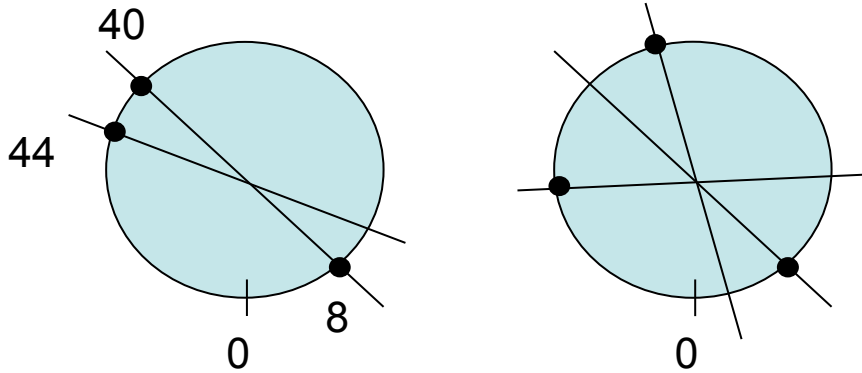
# The ARPANET “incident”

## ¿Qué estaba sucediendo?

- 8, 40, 44, 8, 40, 44, 8, 40
- Cada uno reemplazado por el siguiente
- No hay tiempo de que se agote su edad

## ¿Por qué?

- Los 3 LSPs idénticos salvo por el nº de secuencia (...)
- 8 = 001000  
 40 = 101000  
 44 = 101100



**¡ Cambio de un bit !**

**¡¡ 8 < 40 < 44 < 8 < 40 < 44 < 8 ... !!**

# *The ARPANET “incident”*

## ¿Cómo recuperarse?

- ¿Reiniciar un nodo cualquiera? Vuelve a contaminarse
- ¿Apagar todos y después empezar a encenderlos? Complicado y largo

## ¿Qué se hizo?

- Apagar el IMP generador del error y arreglarlo
- Modificar el S.O. de los IMPs para que ignoren esos LSPs
  - Cargarlo en el IMP local
  - Luego en los vecinos, etc.
- La red queda limpia del “gusano”
- Volver a la versión original del S.O.
- ¡ Y en algún punto replantearse el algoritmo de distribución !



# Requisitos para un protocolo LS

- Distribuir LSPs
  - Correctamente (sin alteraciones)
  - Completamente (a todos)
- Si no, diferentes grafos de la red
  - Cálculo de rutas inconsistentes
  - *Routing loops*
- Pero esto no es suficiente

# Requisitos para un protocolo LS

- **Self-stabilization:**
  - Recuperarse de paquetes corruptos, equipo defectuoso, ataques...
  - *Pase lo que pase, tras desconectar todo el equipamiento defectuoso la red volverá a un estado normal en un periodo tolerable de tiempo (aprox 1h)*
- **Eficiencia:**
  - No generar demasiados paquetes ni agotar recursos de routers
  - Hay regeneración periódica de LSPs pero de frecuencia muy baja (1h, para recuperarse de eventos raros)
- **Responsiveness:**
  - No hay requisito de esperar 90 segs antes de empezar
  - Salvo que se le acaben los números de secuencia, en cuyo caso debe esperar a que caduquen sus LSPs

# Esquema de distribución actual

## Número de secuencia:

- Espacio lineal desde 0
- Al alcanzar el máximo no se aceptan LSPs de esa fuente hasta que los que hay caducan
- Grande para no alcanzarlo salvo ante fallos (32bits)



## Edad (*age*):

- Inicializado por el router generador del LSP (~1h)
- Todo router que los procesa lo decremента
- Se decremента mientras está en memoria

## *Send flags*:

- Un LSP que se debe retransmitir no se encola inmediatamente
- Se marca (*flag*) como que debe enviarse
- Un flag por cada enlace por el que debiera salir
- LSPs más modernos del mismo router pueden sobrecribir el antiguo sin haberlo enviado
- Si hay BW disponible, RR por las colas enviándolos (LSPs o ACKs)

## Confirmaciones:

- Vecinos confirman LSPs
- *Flag* indicando que se debe enviar *ack* de un LSP por un enlace

**DECnet Phase V, IS-IS, OSPF, PNNI**











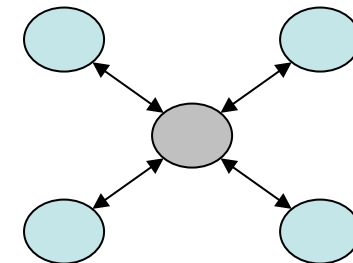
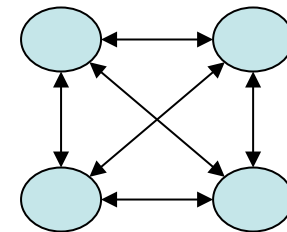
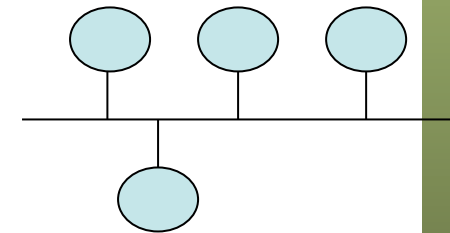


# Redes multi-acceso

- Este esquema asume que los enlaces son punto-a-punto

## Si están conectados a una LAN

- Depende del protocolo cómo se resuelva
- Una posibilidad es tratar la LAN como una malla (...)
  - Muchos LSPs a enviar
- Otra es tratar la LAN como un nodo (...)
  - Se elige a un router de esa LAN que crea un LSP por ella



# Cálculo de las rutas

- Cada router tiene conocimiento completo de la red
- Algoritmo de Dijkstra para calcular los caminos
- Se pueden calcular rutas alternativas para diferentes clases de servicio

# Comparativa: Memoria

- Supongamos una red con  $n$  nodos
- Cada nodo de la red tiene  $k$  vecinos

## ***Distance-vector:***

- Cada router almacena vector con la distancia desde cada vecino
- Vector consume memoria en orden  $O(n)$
- Cada nodo consume  $O(k \times n)$

## ***Link-state:***

- Cada router guarda  $n$  LSPs
- Cada LSP contiene información de  $k$  vecinos:  $O(k)$
- Cada nodo consume  $O(k \times n)$

## **Con jerarquía:**

- En niveles altos no es necesario ruta a todos los destinos
- Rutas agregadas
- El consumo sería menor con DV

**En general consumo *similar***

# Comparativa: BW

- Según la topología es mejor uno u otro

## Ante fallo de enlace:

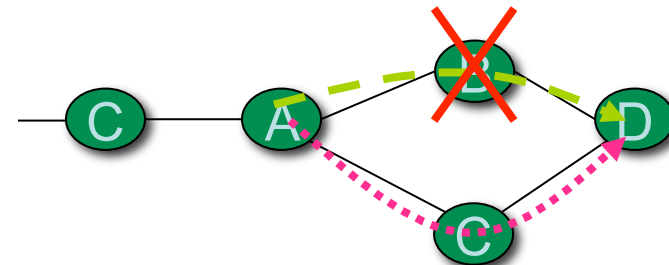
- **Distance Vector**

- Solo se propagará hasta donde se “note” el cambio
- Muchos paquetes por cuentas a infinito
- Pueden cambiar muchos costes en rutas que por tanto hay que anunciar (paquete grande)

- **Link State**

- El cambio se informa a toda la red
- LSP circula una vez por cada enlace
- El tamaño del LSP es fijo

En general consumo *modesto*



# Comparativa: Cálculo

- $n$  nodos, cada uno  $k$  vecinos

## ***Distance-vector:***

- BF requiere recorrer la matriz de vectores distancia:  $O(n \times k)$
- No siempre hay que recorrer la matriz (ej: solo cambia el coste)
- Un nuevo nodo extremo requiere cálculos en muchos nodos
- Más que puede haber varias iteraciones

## ***Link-state:***

- Dijkstra lleva  $O(n \times k \times \log(n))$
- Se puede hacer un cálculo *incremental* del árbol de expansión mínimo
- Un nuevo nodo extremo implica cambio mínimos

**Coste de cálculo en ambos es *razonable y modesto***

El resultado no es “tan urgente”

# Comparativa: Robustez

- Ninguno de los dos es mejor ante fallos soft/hard, errores de configuración, sabotaje, etc.
  - Routers que anuncien tener enlaces que no tienen
  - Routers que no anuncian enlaces que tienen
  - Que generen una secuencia extraña de números de secuencia
  - Que no reenvíen o confirmen LSPs
  - Que corrompan los datos de LSPs al reenviarlos
  - Que corrompan los números de secuencia al reenviar LSPs
  - Que corrompan la edad de los LSPs
  - Que calculen mal las rutas
  - Que no reenvíen los paquetes o los reenvíen por el camino incorrecto
  - Etc
- Depende de lo probable que sea cada tipo de error y los daños que cause
- DV es un poco más robusto porque cada uno realiza su cálculo de rutas

# Comparativa

- **Funcionalidad**

- LS ofrece conocimiento de la topología completa de la red con solo preguntar a un router cualquiera
- Se puede emplear *source-routing*
- Calcular rutas diferentes para distintas clases de servicio con mayor sencillez

- **Velocidad de convergencia**

- DV tiene el problema de la cuenta a infinito
- Las técnicas para resolverlo (*hold-down interval*) también llevan tiempo
- Aunque se resolviera, es más lento porque no puede reenviar la información de enrutado hasta hacer sus cálculos locales

# Resumen

- Se crean adyacencias
- Se distribuyen LSPs
- Se calculan las rutas
- El algoritmo de distribución es delicado
- Requiere poder ordenar los LSPs de un origen
- Y poder hacerlos caducar
- Se confirman
- En general converge más rápido y genera menos tráfico que un DV
- Aunque hay protocolos DV bastante sofisticados que no distan mucho