Enrutamiento (1)

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

Arquitectura de Redes, Sistemas y Servicios
3º Ingeniería de Telecomunicación

Basadas en el material docente de Lawrie Brown sobre el libro de William Stallings (Data and Computer Communications)

Temario

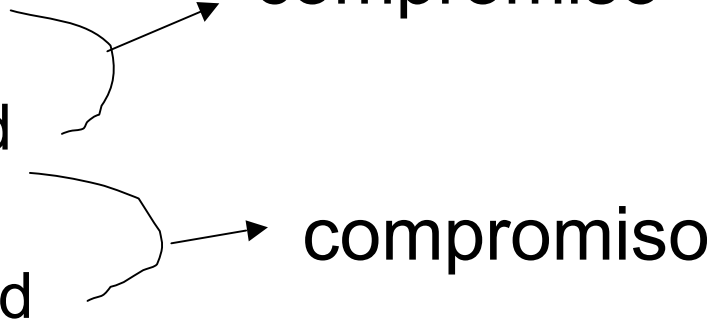
- Introducción
- Arquitecturas, protocolos y estándares
- Conmutación de paquetes
- Conmutación de circuitos
- Tecnologías
- Control de acceso al medio en redes de área local
- Servicios de Internet

Temario

1. Introducción
2. Arquitecturas, protocolos y estándares
3. **Conmutación de paquetes**
   - Principios
   - **Problemas básicos**
     - Como funcionan los routers (Nivel de red)
     - **Encaminamiento (Nivel de red)**
     - Transporte fiable (Nivel de transporte en TCP/IP)
     - Control de flujo (Nivel de transporte en TCP/IP)
     - Control de congestión (Nivel de transoporte en TCP/IP)
4. Conmutación de circuitos
5. Tecnologías
6. Control de acceso al medio en redes de área local
7. Servicios de Internet

Enrutamiento en redes de paquetes

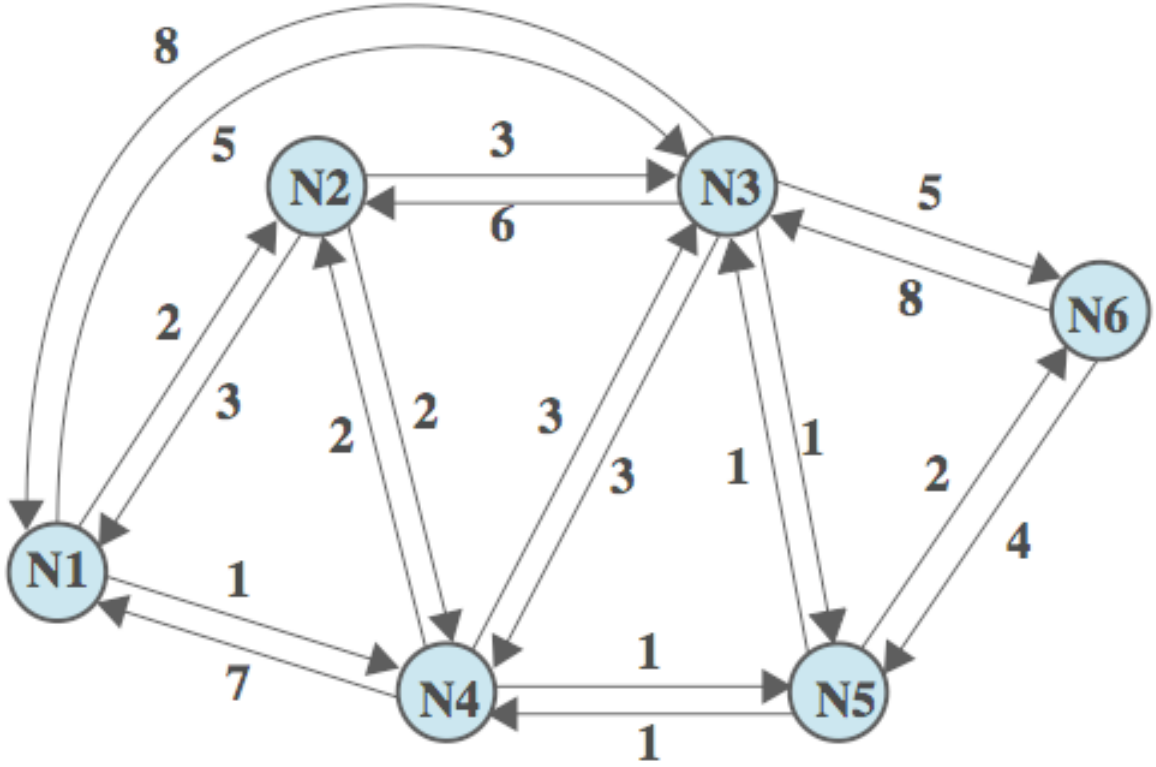
- Problema clave
- Elegir camino a través de la red de nodos
- Características
  - corrección
  - simplicidad
  - robustez
  - estabilidad
  - justicia
  - optimalidad
  - eficiencia



Criterio de prestaciones

- Elegido para comparar rutas
- El más sencillo “minimum hop count” = mínimo número de saltos
  - Encontrar la ruta de con menor numero de saltos(nodos)
- Se puede generalizar como mínimo coste (least cost)
  - Encontrar la ruta con menor coste (peso del camino)
  - Si el peso de cada enlace es 1 es equivalente al anterior

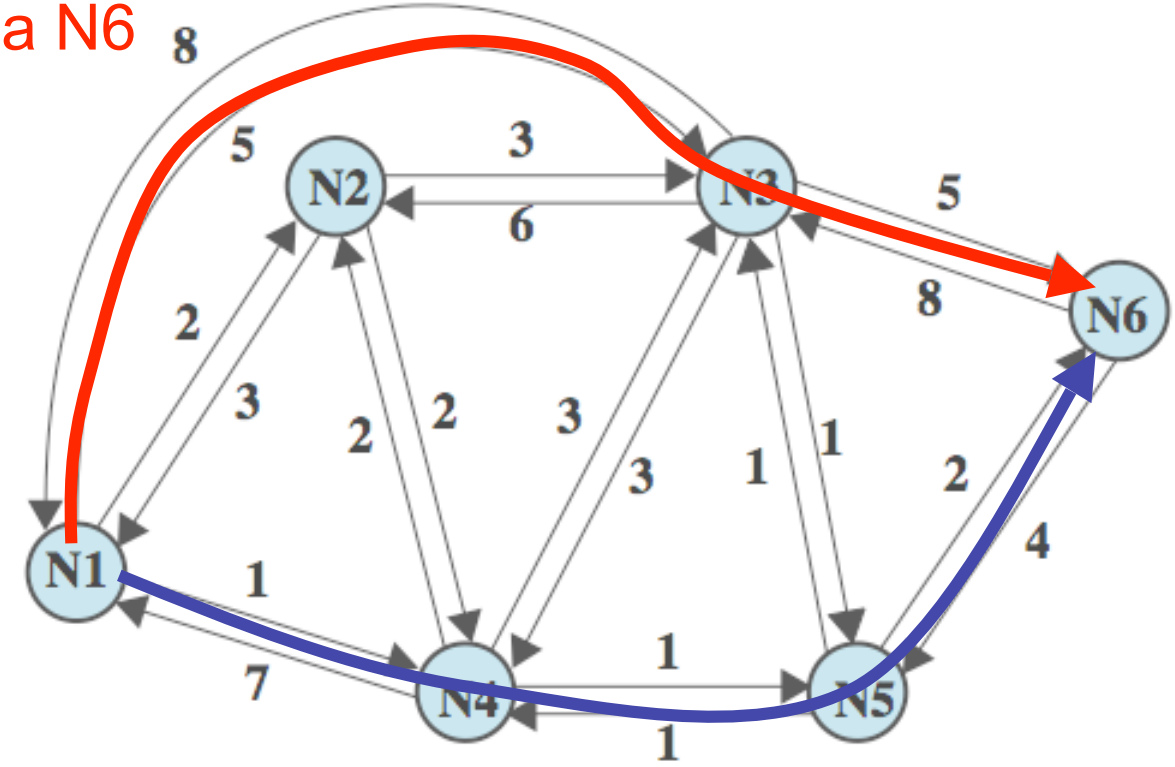
Ejemplo



En general grafo dirigido con enlaces con pesos

Ejemplo

Mínimo número de saltos (hops)
De N1 a N6



Mínimo coste
De N1 a N6

Tiempo y lugar de decisión

- Tiempo
  - Por paquete o por circuito virtual
  - Fija por destino o cambia según el estado de la red
- Lugar
  - distribuida - cada nodo decide
  - centralizada
  - origen (source routing) el nodo que origina la información elige todo el camino

Información de la red

- Normalmente el enrutamiento requiere conocer información sobre la red (no siempre)
  - Enrutamiento distribuido
    - Conocimiento local, información de nodos vecinos…
  - Enrutamiento centralizado
    - Información de todos los nodos
- Actualización de la información sobre la red

  ¿Cuándo?
  - Enrutamiento estático - nunca se actualiza
  - Enrutamitneo adaptativo - actualizaciones regulares

Estrategias de enrutamiento

- Enrutamiento estático
- Enrutamiento por inundación
- Enrutamiento aleatorio
- Enrutamiento adaptativo

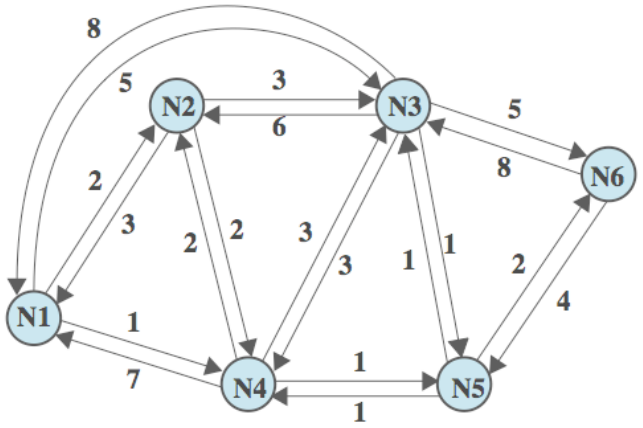
Enrutamiento estático

- Ruta única y permanente para cada destino
- Se calcula con algún algoritmo de mínimo coste
- La ruta es fija (la configura el administrador de la red)
  - Al menos hasta que haya un cambio de topología que habrá que configurar nuevas
  - No puede responder a los cambios en el tráfico
- Ventaja: simplicidad
- Desventaja: falta de flexibilidad

Ejemplo con enrutamiento estático

CENTRAL ROUTING DIRECTORY

To Node \ From Node	1	2	3	4	5	6
1	—	1	5	2	4	5
2	2	—	5	2	4	5
3	4	3	—	5	3	5
4	4	4	5	—	4	5
5	4	4	5	5	—	5
6	4	4	5	5	6	—



Node 1 Directory

Destination	Next Node
2	2
3	4
4	4
5	4
6	4

Node 2 Directory

Destination	Next Node
1	1
3	3
4	4
5	4
6	4

Node 3 Directory

Destination	Next Node
1	5
2	5
4	5
5	5
6	5

Node 4 Directory

Destination	Next Node
1	2
2	2
3	5
5	5
6	5

Node 5 Directory

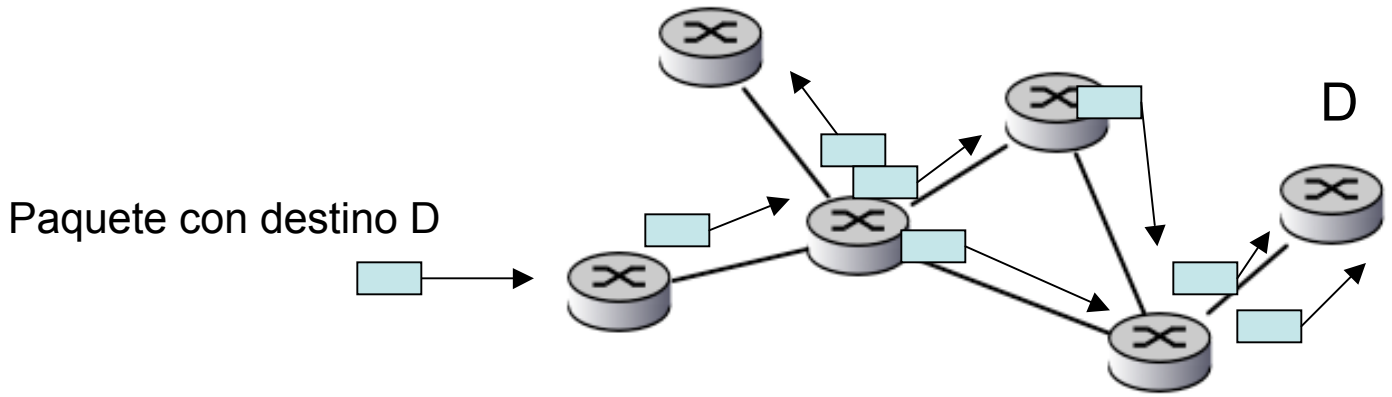
Destination	Next Node
1	4
2	4
3	3
4	4
6	6

Node 6 Directory

Destination	Next Node
1	5
2	5
3	5
4	5
5	5

Enrutamiento por Inundación

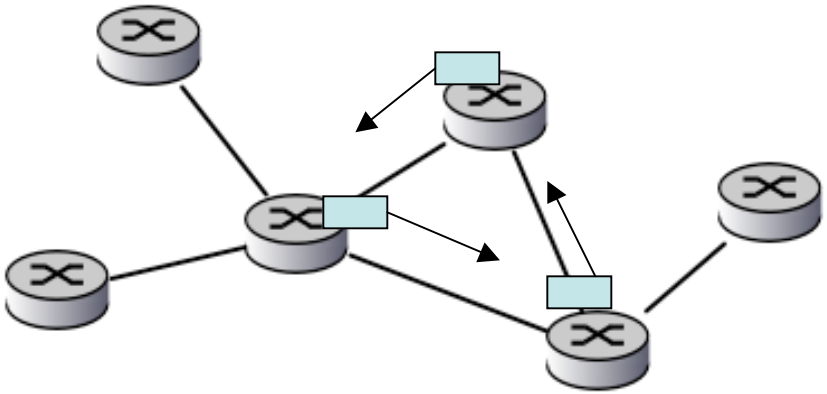
- Si un nodo recibe un paquete lo envía a todos sus vecinos (menos a aquel que se lo ha enviado)
- Simple, pero funciona
- Eventualmente múltiples copias llegarán al destino
- No requiere información de la red para funcionar
- Necesitamos identificar cada paquete para distinguir si un paquete lo hemos recibido ya o no. (Pero es facil, basta con poner un número de secuencia en el paquete)
- Algún problema más?



Enrutamiento por Inundación

Problemas:

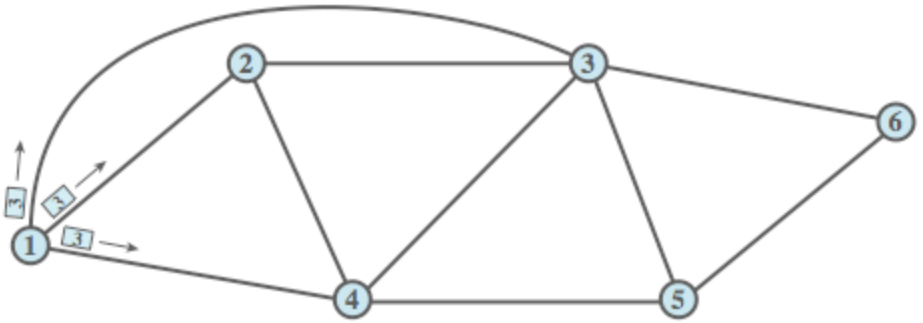
- Los ciclos crean tráfico infinito



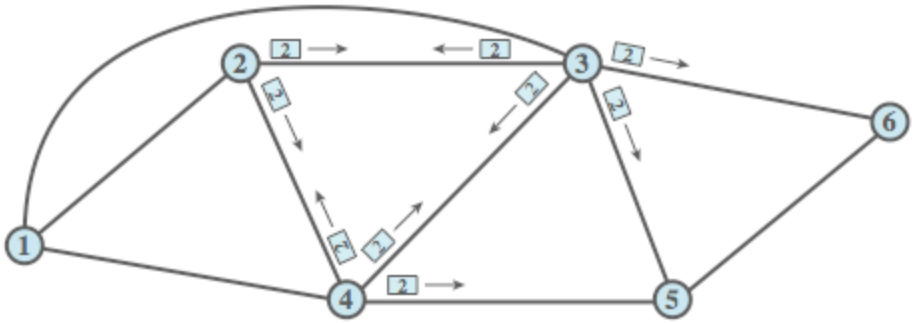
¿Cómo limitamos los el tráfico en los ciclos?

- Los nodos podrían recordar los paquetes que han reenviado y no volver a reenviar de nuevo (Cuanto tiempo deben recordarlos? Que problema hay si lo recuerdan mucho tiempo?)
- Se puede incluir un numero máximo de saltos en cada paquete e ir decrementando en cada salto (recuerde TTL de IP)

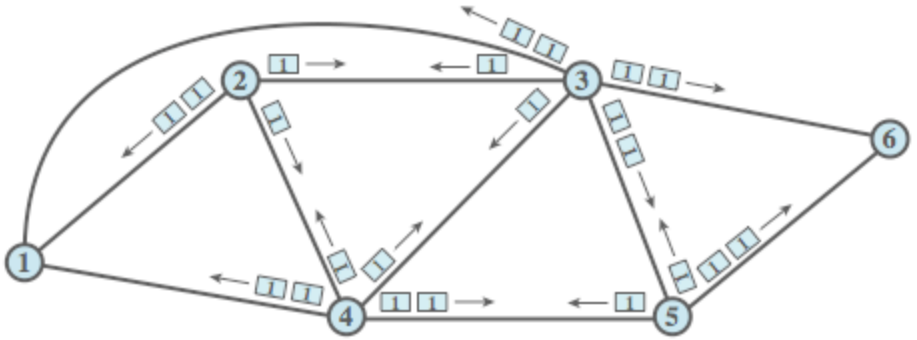
Ejemplo



(a) First hop



(b) Second hop



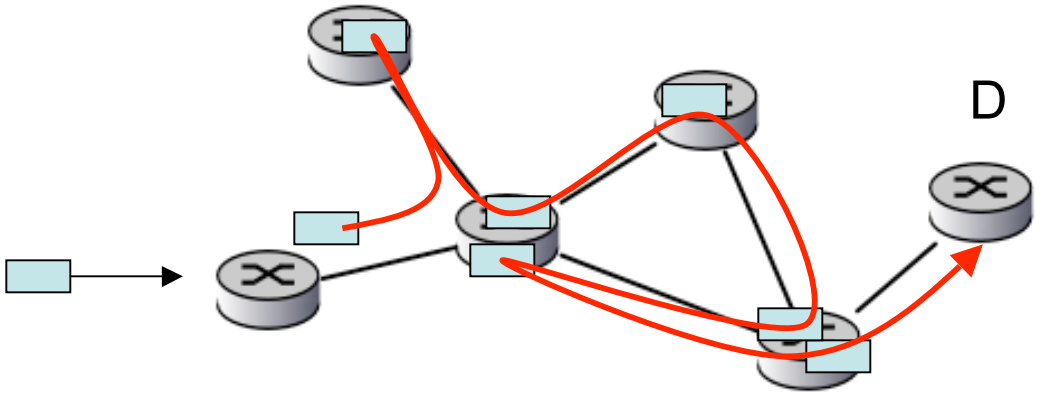
(c) Third hop

Propiedades de la inundación

- Todos los posibles caminos se prueban
  - Muy robusto
- Al menos un paquete viaja por el camino más rápido
  - Muy util para establecer circuitos virtuales
- Todos los nodos son visitados
  - Util para distribuir información a múltiples destinos (Broadcast y Multicast)
- Desventaja: mucho tráfico generado (incluso con limitaciones)

Enrutamiento aleatorio

- La simplicidad de la inundación con mucha menos carga
- Cada nodo que debe reenviar un paquete:
  - Elige uno de los enlaces de salida y lo envía por ese
  - La selección puede ser al azar o bien ir eligiendo uno cada vez (Round Robin)
  - Una refinamiento es asignar una probabilidad diferente de ser elegido a cada enlace
- No requiere información de la red



Enrutamiento aleatorio

- Al final acaba llegando al destino
- Aunque la ruta aleatoria normalmente no es ni la de menos salto ni la de menos coste
- Si los paquetes tienen un número de saltos limitado el enrutamiento aleatorio tiene una probabilidad de entregar el paquete menor que 1
- Puede parecer malo pero hay ocasiones en las que es util
  - Ventajas: muy simple y poca carga (comparado con la inundación) y visita un numero grande de nodos (aunque menos que la inundación)
  - Desventajas: no siempre llega, normalmente no llega por el camino mas corto
- En que situación es útil esto?

Enrutamiento adaptativo

- Usado por prácticamente todas las redes de conmutación de paquetes
- Las decisiones de enrutamiento cambian conforme cambia el estado de la red, debido a fallos y desconexiones de enlaces o a la congestión
- Necesita información de la red
- Desventajas
  - Decisiones más complejas
  - Compromiso entre información de la red utilizada y trafico extra introducido por el enrutamiento (mejor información más capacidad de red desperdiciada en trafico de enrutamiento)
  - Compromisos de estabilidad
    - Reaccionar muy rápido puede causar oscilaciones y desorden o ciclos momentaneos
    - Reaccionar muy lento = información desactualizada, perdidas por enlaces caidos

Enrutamiento adaptativo

Ventajas

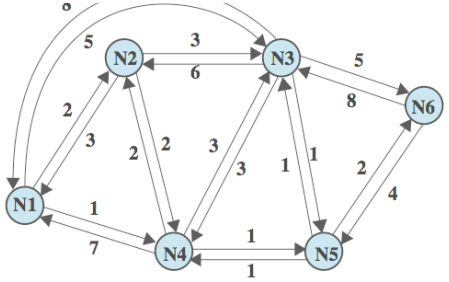
- Mejores prestaciones
- Puede ayudar al control de congestión

- Pero es un sistema complejo por lo que es difícil conseguir las ventajas teóricas
  - La mayoría de las redes de paquetes han sufrido problemas de enrutamiento debido a fallos en los sistemas de enrutamiento adaptativos y han cambiado de sistemas de enrutamiento a lo largo del tiempo

Clasificación del enrutamiento adaptativo

- Según la fuente de información
  - Local (aislado)
    - Enviar por el enlace mas descargado (menos paquetes en cola)
    - Puede incluir bias de enrutamiento estatico
    - Se usa muy poco ya
  - Nodos vecinos
    - Información sobre retardo o disponibilidad (caidas de enlaces) se envían a los vecinos
  - Todos los nodos
    - La información sobre los enlaces y su retardo se envía a todos los demas nodos (distribuido) o a un nodo central que decide para todos (centralizado)

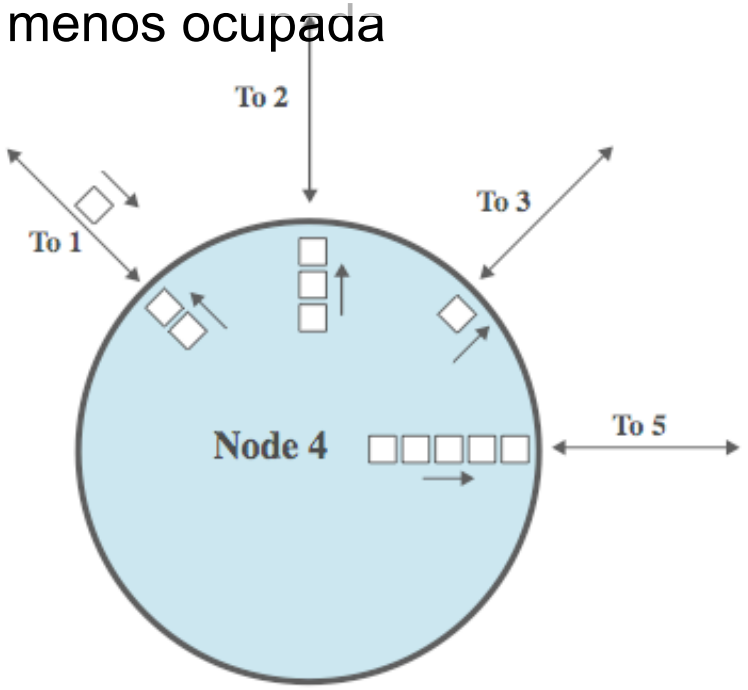
Ejemplo



- Encaminamiento aislado
  - Envío el paquete por la cola menos ocupada

Node 4's Bias Table for Destination 6

Next Node	Bias
1	9
2	6
3	3
5	0



  - Añadir un bias

    Ejemplo: para ir al destino 6 añadimos los bias de la tabla
    - Sabemos que al destino 6 el camino más corto es por 5 (por enrutamiento estático)

Algoritmos de coste mínimo

- Básicos en los algoritmos de enrutamiento

  Permiten encontrar caminos en un grafo con enlaces con pesos
  - Minimizan el numero de saltos si los enlaces tienen peso 1
  - Minimizan el “coste” del camino si etiquetamos a los caminos con un peso. (inversamente proporcional a la capacidad, otras métricas con el retardo)
- El coste del camino entre dos nodos es la suma de todos los enlaces atravesados
  - Normalmente enlaces bidireccionales
  - Con un coste en cada dirección
- Para cada par de nodos encontrar el camino entre ellos con el menor coste
- Algoritmos básicos:
  - **Dijkstra**
  - **Bellman-Ford**

Algoritmo de Dijkstra

- Encontrar caminos más cortos desde un nodo de origen dado a todos los demas nodos
- Construyendo los caminos en orden creciente de longitud de camino
- El algoritmo funciona en iteraciones
  - En cada iteración se añade un nodo con el siguiente camino más corto
  - En la iteración k conocemos los caminos a los k nodos más cercanos (conjunto T)
- El algoritmo termina cuando todos los nodos están en el conjunto T

Algoritmo de Dijkstra

- Variables del algoritmo
- Conjunto de nodos E={n_i nodos en el grafo}
- Pesos de los enlaces

  $w(n_i, n_j)$ peso del enlace de n_i a n_j

  en general distinto de $w(n_i, n_j)$

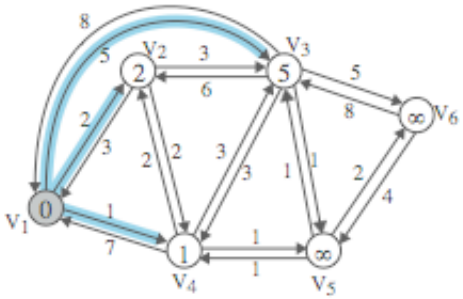
  $w(n_i, n_j)$ = infinito si no hay enlace
- s nodo origen del que pretendemos calcular los caminos
- $L(n_i)$ distancia mínima de s a n_i
- T conjunto de nodos a los que ya conocemos la distancia mínima desde s y el camino

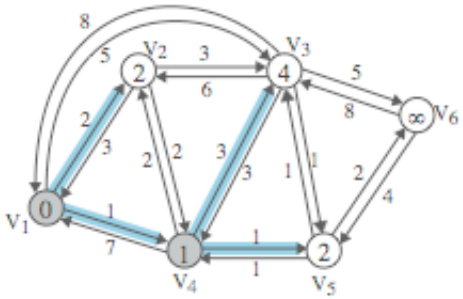
Algoritmo de Dijkstra

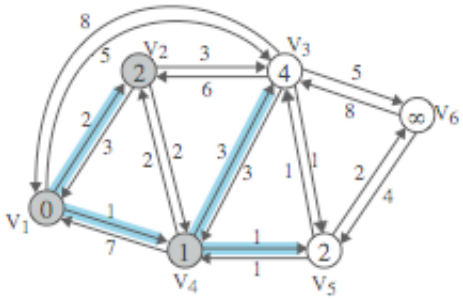
Cada iteración son 3 pasos

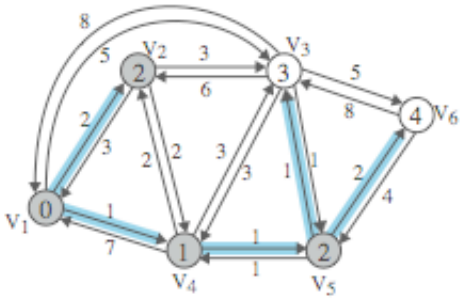
- Paso 1 [Inicialización]
  - T = {s} Conjunto de nodos calculados
  - L(n) = w(s, n) para n ≠ s
  - Las distancias iniciales a los vecinos son los pesos
  - Las distancias iniciales a los no vecinos son infinito
- Paso 2 [Buscar siguiente nodo a añadir
  - Encontrar el vecino (que no pertenezca a T) de algún nodo de T con menor distancia a s. Le llamaremos x
  - Incorporar x a T
  - Incorporar también el enlace a x que consigue esa distancia mínima
- Paso 3 [Actualizar los nuevos costes mínimos]
  - L(n) = min[L(n), L(x) + w(x, n)] para todo n ∉ T
  - Si cambiamos L(n) por L(x)+w(x,n) entonces el camino de s a n es el camino de s a x seguido por el enlace de x a n

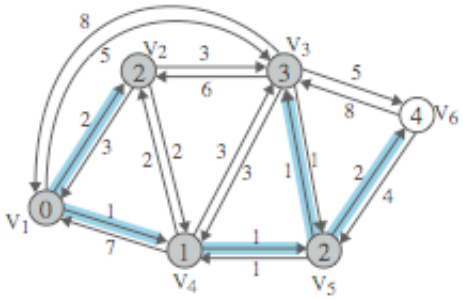
Ejemplo

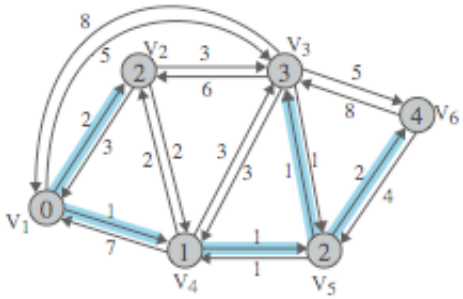

V1
V2
V3
V4
V5
V6
T = {1}


V1
V2
V3
V4
V5
V6
T = {1, 4}


V1
V2
V3
V4
V5
V6
T = {1, 2, 4}


V1
V2
V3
V4
V5
V6
T = {1, 2, 4, 5}


V1
V2
V3
V4
V5
V6
T = {1, 2, 3, 4, 5}


V1
V2
V3
V4
V5
V6
T = {1, 2, 3, 4, 5, 6}

Ejemplo

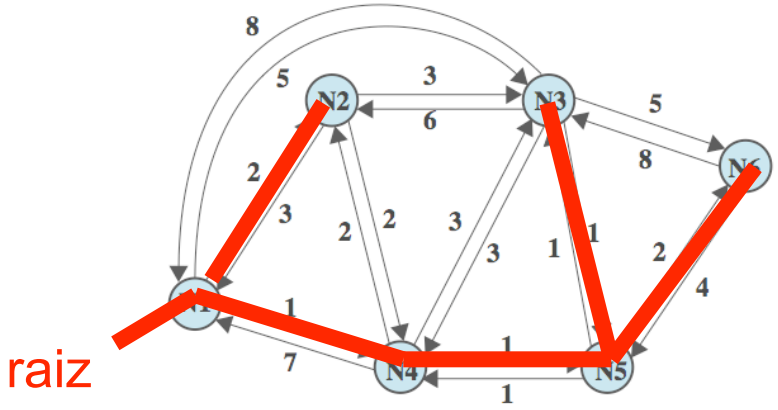
Iter	T	L(2)	Path	L(3)	Path	L(4)	Path	L(5)	Path	L(6)	Path
1	{1}	2	1–2	5	1-3	1	1–4	∞	-	∞	-
2	{1,4}	2	1–2	4	1-4-3	1	1–4	2	1-4–5	∞	-
3	{1, 2, 4}	2	1–2	4	1-4-3	1	1–4	2	1-4–5	∞	-
4	{1, 2, 4, 5}	2	1–2	3	1-4-5–3	1	1–4	2	1-4–5	4	1-4-5–6
5	{1, 2, 3, 4, 5}	2	1–2	3	1-4-5–3	1	1–4	2	1-4–5	4	1-4-5–6
6	{1, 2, 3, 4, 5, 6}	2	1-2	3	1-4-5-3	1	1-4	2	1-4–5	4	1-4-5-6

Resumen Dijkstra

- Funciona: Calcula si existe el camino más corto
- Necesita la topología completa
  - El coste de todos los enlaces de la red
  - Si un nodo quiere usar Dijkstra para calcular el camino a cualquier nodo necesitará comunicarse con todos los demas nodos para obtener información de los enlaces
  - Que algoritmo podríamos usar para comunicarnos con todos los demas?
- Problema: si hemos calculado los caminos con Dijkstra a partir de un nodo… ¿podemos obtener los caminos desde otro nodo?

Más sobre Dijkstra

- En realidad el algoritmo de Dijkstra nos permite construir lo que se llama un árbol de expansión (spanning-tree) del grafo original.



- Abarca todos los nodos del grafo y no contiene ciclos
- El spaning-tree es centrado en un nodo y no vale para otros
- Si queremos calcular caminos minimos a otro nodo debemos volver a aplicar el algoritmo con otro nodo de origen
- El algoritmo de Dijkstra viene bien si queremos un algoritmo de enrutamiento de calculo distribuido a partir de la información de toda la red

Conclusiones

- El enrutamiento es un problema fundamental en redes de paquetes
- Tipos de enrutamiento
  - Centralizados y distribuidos
  - Estatico, inundación, aleatorio, adaptativo
- Enrutamiento adaptativo basado en el mínimo coste es el más utilizado
- Algortimos básicos

  Algoritmos de mínimo coste
  - Algoritmo de Dijkstra

    Permite calcular todos los caminos desde un nodo conociendo la información completa de la red
  - Algoritmo de Bellman-Ford (próximo día)
- Próxima clase:
  - Bellman-Ford
  - Problemas
  - Como se usa todo esto en Internet? (+1 semana)