

Enrutamiento

Introducción y Distance-Vector

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

Arquitectura de Redes, Sistemas y Servicios
Grado en Ingeniería en Tecnologías de Telecomunicación, 2º

Temario

1. Introducción
2. Arquitecturas de conmutación y protocolos
3. Introducción a las tecnologías de red
4. Control de acceso al medio
5. Conmutación de circuitos
6. Transporte fiable
7. Encaminamiento

Temario

1. Introducción
2. Arquitecturas de conmutación y protocolos
3. Introducción a las tecnologías de red
4. Control de acceso al medio
5. Conmutación de circuitos
6. Transporte fiable
7. **Encaminamiento**

Un algoritmo para encontrar caminos

- Algoritmo de Bellman-Ford
- Conocemos: Nodos i Nodo raiz r pesos $w(i,j)$
- Mantenemos: $d_h(i)$ mejor distancia de r al nodo i conocida hasta ahora
 $s_h(i)$ siguiente salto del nodo i hacia r (mejor conocido hasta ahora)
 h numero de saltos que hemos considerado
 $d_h(i)$ es la mejor distancia de i al nodo r dando como mucho h saltos

Algoritmo:

Inicializar

$d_0(i)=\text{infinito}$ $d_0(r)=0$ [en 0 saltos solo desde r se puede llegar a r]

$s_0(i)=\text{desconocido}$ $s_0(r)=\text{no hace falta siguiente salto yo soy la raiz}$

Para $h=1,2,3,4 \dots$ hasta cuando?

Para cada uno de los nodos i

Para cada uno de los nodos k [vecinos de i]

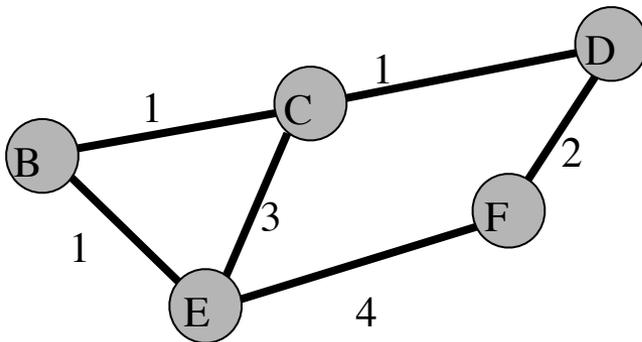
$d_h(i)=\min\{ d_{h-1}(i)+w(i,k) \}$

$s_h(i)=$ el k con que se obtiene el maximo [nada si son todos infinito]

[igual que en el anterior solo que ahora consideramos que puede haber mejorado el camino de cualquiera de nuestros vecinos]

Bellman-Ford ejemplo

| h | d(B) / s(B) | d(C) / s(C) | d(D) / s(D) | d(E) / s(E) | d(F) / s(F) |
|-------|-----------------|-----------------|-------------|-----------------|-----------------|
| 0 | infinito / desc | infinito / desc | 0 / soy yo | infinito / desc | infinito / desc |
| 1 | infinito / desc | | | | |
| 2 | | | | | |
| 3 | | | | | |
| 4 | | | | | |
| 5 ... | | | | | |



salen todos infinitos

La minima distancia de B a D dando como mucho un salto es infinito no se puede llegar en un salto

- Para cada nodo por ejemplo para el B

$d_1(B)$ en la siguiente fila depende de la fila actual y las distancias

$d_0(B)+w(B,B)$ $d_0(C)+w(B,C)$ $d_0(D)+w(B,D)$ $d_0(E)+w(B,E)$ $d_0(F)+w(B,F)$

$inf + 0$

$inf + 1$

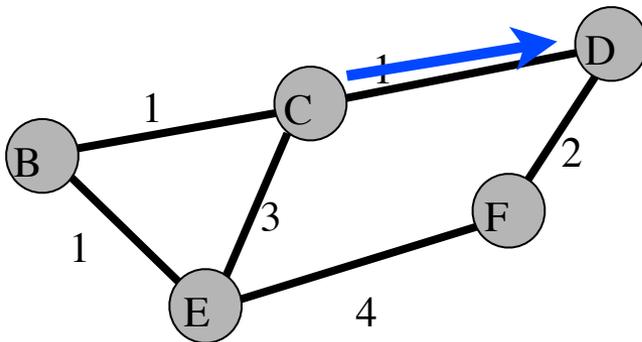
$0 + inf$

$inf + 1$

$inf + inf$

Bellman-Ford ejemplo

| h | d(B) / s(B) | d(C) / s(C) | d(D) / s(D) | d(E) / s(E) | d(F) / s(F) |
|-------|-----------------|-----------------|-------------|-----------------|-----------------|
| 0 | infinito / desc | infinito / desc | 0 / soy yo | infinito / desc | infinito / desc |
| 1 | infinito / desc | 1 / D | | | |
| 2 | | | | | |
| 3 | | | | | |
| 4 | | | | | |
| 5 ... | | | | | |



El unico que no sale infinito es el D con distancia 1

La minima distancia de C a D dando como mucho un salto es 1

- Para el C

$d_1(C)$ en la siguiente fila depende de la fila actual

$d_0(B)+w(C,B)$ $d_0(C)+w(C,C)$ $d_0(D)+w(C,D)$ $d_0(E)+w(C,E)$ $d_0(F)+w(C,F)$

$\text{inf} + 1$

$\text{inf} + 0$

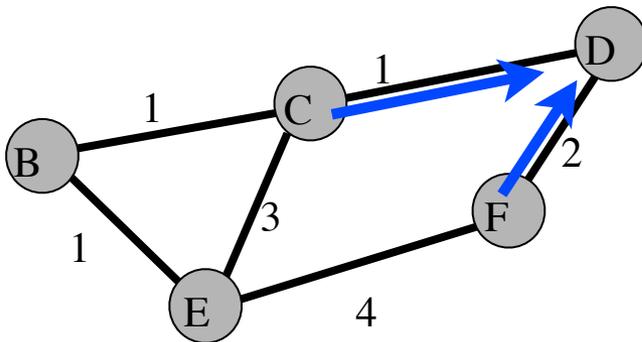
$0 + 1$

$\text{inf} + 3$

$\text{inf} + \text{inf}$

Bellman-Ford ejemplo

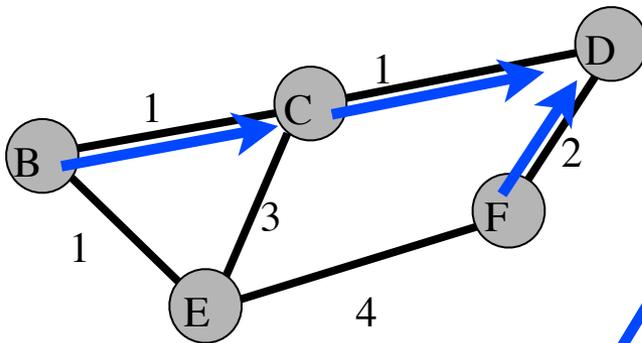
| h | d(B) / s(B) | d(C) / s(C) | d(D) / s(D) | d(E) / s(E) | d(F) / s(F) |
|-------|-----------------|-----------------|-------------|-----------------|-----------------|
| 0 | infinito / desc | infinito / desc | 0 / soy yo | infinito / desc | infinito / desc |
| 1 | infinito / desc | 1 / D | 0 / soy yo | infinito / desc | 2 / D |
| 2 | | | | | |
| 3 | | | | | |
| 4 | | | | | |
| 5 ... | | | | | |



- En una iteracion tenemos el arbol de los mejores caminos a D con un salto
- En este caso es ya el camino correcto pero no tiene por que ser (si la raiz hubiera sido C tendríamos que el mejor camino de E a C con un salto es de distancia 3)

Bellman-Ford ejemplo

| h | d(B) / s(B) | d(C) / s(C) | d(D) / s(D) | d(E) / s(E) | d(F) / s(F) |
|-------|-----------------|-----------------|-------------|-----------------|-----------------|
| 0 | infinito / desc | infinito / desc | 0 / soy yo | infinito / desc | infinito / desc |
| 1 | infinito / desc | 1 / D | 0 / soy yo | infinito / desc | 2 / D |
| 2 | 2 / C | | | | |
| 3 | | | | | |
| 4 | | | | | |
| 5 ... | | | | | |



Ahora a través de C tenemos distancia 2

En realidad no hace falta probar mas que con los vecinos
 En los que no son vecinos de B siempre dara infinito

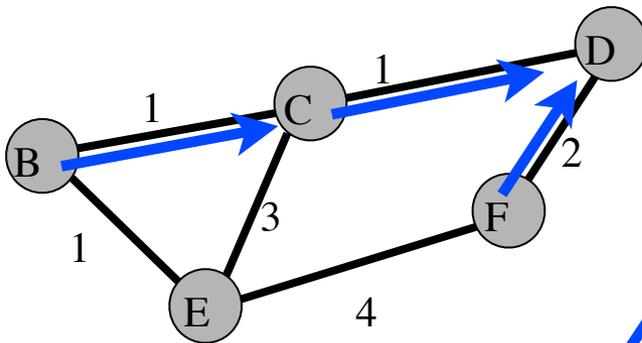
- Segunda iteración para el B

$$\begin{array}{cccccc}
 d_2(B) & & & & & \\
 \cancel{d_1(B)+w(B,B)} & d_1(C)+w(B,C) & \cancel{d_1(D)+w(B,D)} & d_1(E)+w(B,E) & \cancel{d_1(F)+w(B,F)} & \\
 \cancel{inf + 0} & 1 + 1 & \cancel{0 + inf} & inf + 1 & \cancel{2 + inf} &
 \end{array}$$

Este es B tampoco es vecino

Bellman-Ford ejemplo

| h | d(B) / s(B) | d(C) / s(C) | d(D) / s(D) | d(E) / s(E) | d(F) / s(F) |
|-------|-----------------|-----------------|-------------|-----------------|-----------------|
| 0 | infinito / desc | infinito / desc | 0 / soy yo | infinito / desc | infinito / desc |
| 1 | infinito / desc | 1 / D | 0 / soy yo | infinito / desc | 2 / D |
| 2 | 2 / C | 1 / D | | | |
| 3 | | | | | |
| 4 | | | | | |
| 5 ... | | | | | |



Este es C no es un candidato

Me vuelve a salir mejor el camino via D

- Para cada nodo por ejemplo para el C

$$d_2(C)$$

$$d_1(B) + w(C,B) \quad d_1(C) + w(C,C) \quad d_1(D) + w(C,D) \quad d_1(E) + w(C,E) \quad d_1(F) + w(C,F)$$

$$\text{inf} + 1$$

~~$$1 + 0$$~~

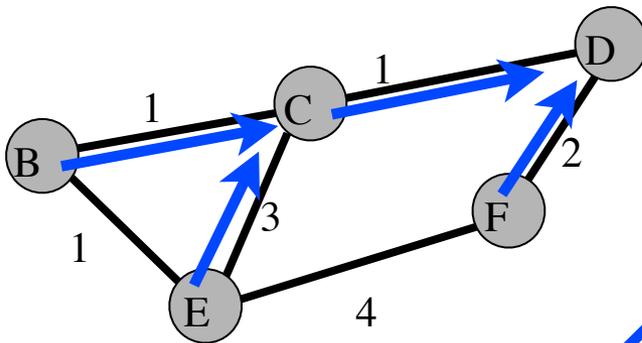
$$0 + 1$$

$$\text{inf} + 3$$

~~$$2 + \text{inf}$$~~

Bellman-Ford ejemplo

| h | d(B) / s(B) | d(C) / s(C) | d(D) / s(D) | d(E) / s(E) | d(F) / s(F) |
|-------|-----------------|-----------------|-------------|-----------------|-----------------|
| 0 | infinito / desc | infinito / desc | 0 / soy yo | infinito / desc | infinito / desc |
| 1 | infinito / desc | 1 / D | 0 / soy yo | infinito / desc | 2 / D |
| 2 | 2 / C | 1 / D | 0 / soy yo | 4 / C | |
| 3 | | | | | |
| 4 | | | | | |
| 5 ... | | | | | |



E elige entre
 ir a través de C $3+d(C) = 4$ <<<< este
 ir a través de F $4+d(F) = 6$

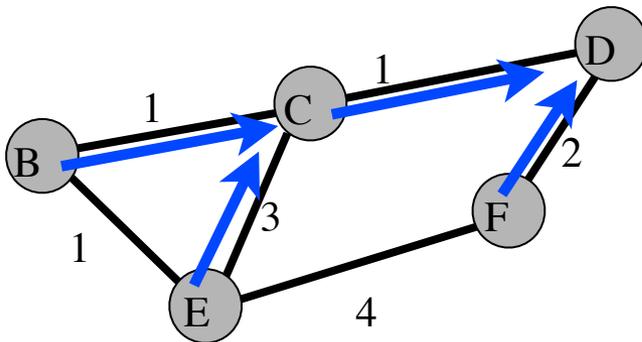
- Para cada nodo por ejemplo para el E

$$\begin{array}{cccccc}
 d_1(B)+w(E,B) & d_1(C)+w(E,C) & d_1(D)+w(E,D) & d_1(E)+w(E,E) & d_1(F)+w(E,F) \\
 \text{inf} + 1 & 1 + 3 & 0 + \text{inf} & \text{inf} + 0 & 2 + 4
 \end{array}$$

B no es un candidato porque el no sabe como llegar en la iteracion 1

Bellman-Ford ejemplo

| h | d(B) / s(B) | d(C) / s(C) | d(D) / s(D) | d(E) / s(E) | d(F) / s(F) |
|-------|-----------------|-----------------|-------------|-----------------|-----------------|
| 0 | infinito / desc | infinito / desc | 0 / soy yo | infinito / desc | infinito / desc |
| 1 | infinito / desc | 1 / D | 0 / soy yo | infinito / desc | 2 / D |
| 2 | 2 / C | 1 / D | 0 / soy yo | 4 / C | 2 / D |
| 3 | | | | | |
| 4 | | | | | |
| 5 ... | | | | | |



- Al final de la segunda iteración tenemos el arbol de caminos mínimos a D usando como mucho 2 saltos
- Con este ya tenemos un camino desde cada nodo !!!
- Aunque esta claro que no son los mejores. Por ejemplo de E llegaríamos antes via B

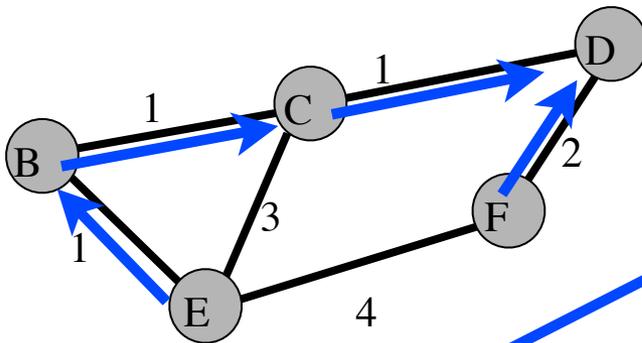
Bellman-Ford ejemplo

| h | d(B) / s(B) | d(C) / s(C) | d(D) / s(D) | d(E) / s(E) | d(F) / s(F) |
|-------|-----------------|-----------------|-------------|-----------------|-----------------|
| 0 | infinito / desc | infinito / desc | 0 / soy yo | infinito / desc | infinito / desc |
| 1 | infinito / desc | 1 / D | 0 / soy yo | infinito / desc | 2 / D |
| 2 | 2 / C | 1 / D | 0 / soy yo | 4 / C | 2 / D |
| 3 | | | | | |
| 4 | | | | | |
| 5 ... | | | | | |

- **Cuando acaba el algoritmo???**
- No vale decir cuando tengamos todos los caminos con coste mínimo. Como hacemos que un programa haga la comprobación?
- El objetivo del algoritmo es saber cuales son los caminos de coste minimo, asi que no podemos usar el conocimiento de cual es el coste minimo para resolverlo
- **Entonces**
- El algoritmo calcula cada fila d_h en funcion de la fila anterior d_{h-1}
- Una vez que una fila se repita... va a seguir repitiendose eternamente...
- Esa es la condición que nos dice que el algoritmo ya no va a encontrar caminos mejores
- Bellman-Ford demostraron que cuando pasa eso ya ha encontrado los mejores

Bellman-Ford ejemplo

| h | d(B) / s(B) | d(C) / s(C) | d(D) / s(D) | d(E) / s(E) | d(F) / s(F) |
|-------|-----------------|-----------------|-------------|-----------------|-----------------|
| 0 | infinito / desc | infinito / desc | 0 / soy yo | infinito / desc | infinito / desc |
| 1 | infinito / desc | 1 / D | 0 / soy yo | infinito / desc | 2 / D |
| 2 | 2 / C | 1 / D | 0 / soy yo | 4 / C | 2 / D |
| 3 | 2 / C | 1 / D | 0 / soy yo | 3 / B | |
| 4 | | | | | |
| 5 ... | | | | | |



Hay un mejor camino por B con distancia 3

- Iteración 3 para el E

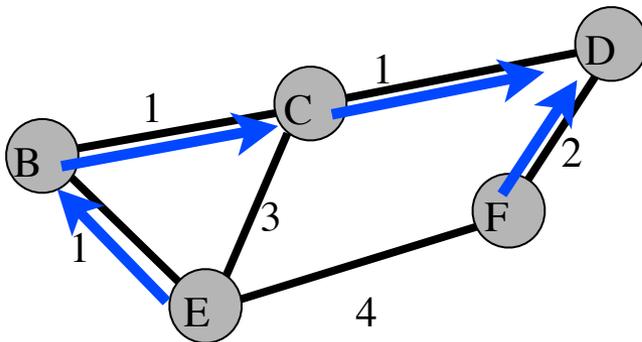
$$\begin{array}{ccccc}
 d_3(B)+w(E,B) & d_3(C)+w(E,C) & d_3(D)+w(E,D) & d_3(E)+w(E,E) & d_3(F)+w(E,F) \\
 2 + 1 & 1 + 3 & 0 + \text{inf} & 4 + 0 & 2 + 4
 \end{array}$$

E elige entre ir por cualquiera de sus vecinos que ya tienen una distancia a D

Aunque en este caso es ya el mínimo no tendría por que ser

Bellman-Ford ejemplo

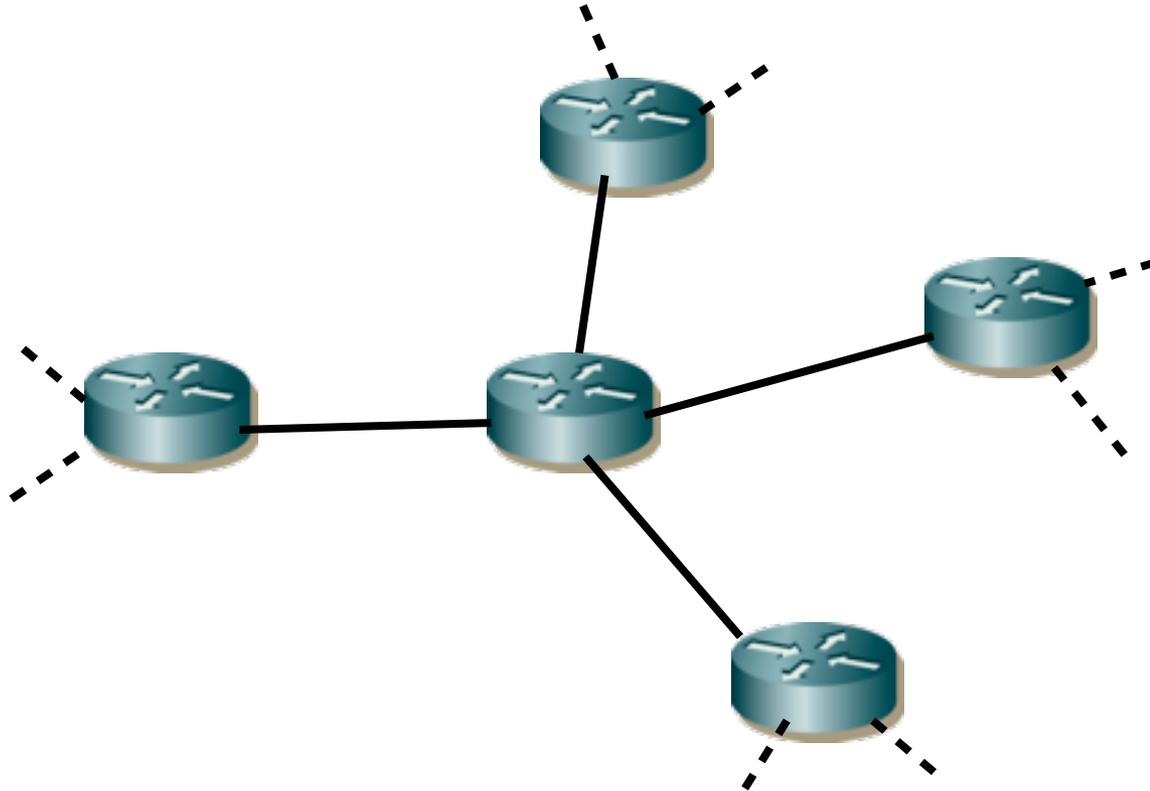
| h | d(B) / s(B) | d(C) / s(C) | d(D) / s(D) | d(E) / s(E) | d(F) / s(F) |
|-------|-----------------|-----------------|-------------|-----------------|-----------------|
| 0 | infinito / desc | infinito / desc | 0 / soy yo | infinito / desc | infinito / desc |
| 1 | infinito / desc | 1 / D | 0 / soy yo | infinito / desc | 2 / D |
| 2 | 2 / C | 1 / D | 0 / soy yo | 4 / C | 2 / D |
| 3 | 2 / C | 1 / D | 0 / soy yo | 3 / B | 2 / D |
| 4 | 2 / C | 1 / D | 0 / soy yo | 3 / B | 2 / D |
| 5 ... | | | | | |



- Tras la tercera iteración ya tenemos el árbol de caminos mínimos con 3 saltos
- Que ya es el definitivo pero el algoritmo no lo sabe
- Al hacer la iteración 4 no hay ningún cambio
- Esa es la condición de que ya ha terminado

Como usar esto en la realidad

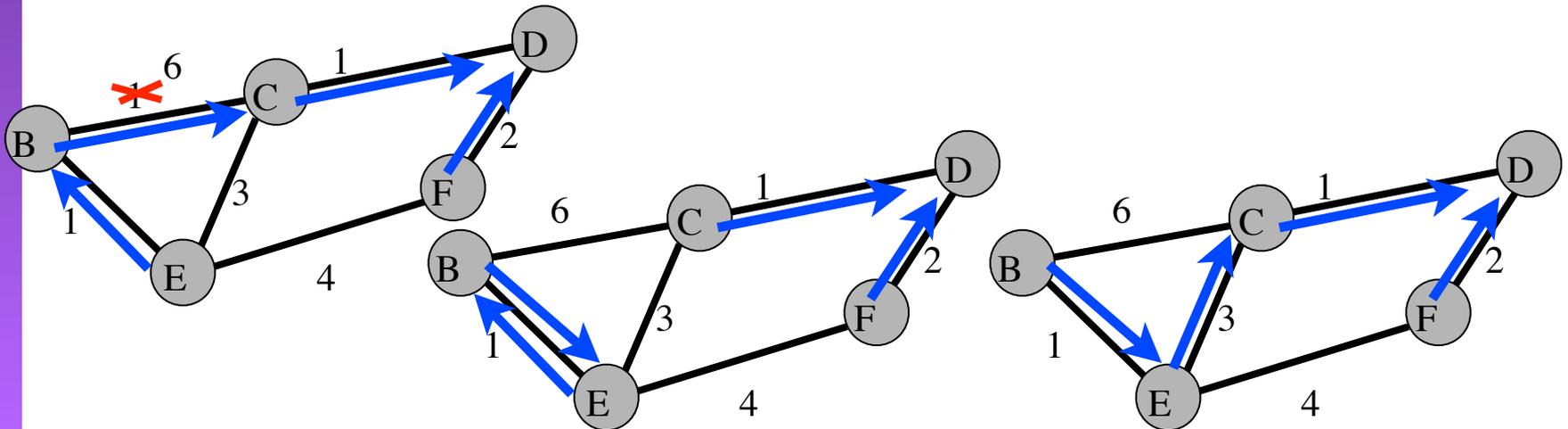
- El problema del cruce de caminos... En cada router
- Como calculo las rutas a todos los destinos?
- Solo con información mía o que pueda obtener de los vecinos
- Ni siquiera se cuales son todos los destinos !!!



Bellman-Ford continuo...

| h | d(B) / s(B) | d(C) / s(C) | d(D) / s(D) | d(E) / s(E) | d(F) / s(F) |
|----------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 12032 | 2 / C | 1 / D | 0 / soy yo | 3 / B | 2 / D |
| 12033 | 2 / C | 1 / D | 0 / soy yo | 3 / B | 2 / D |
| 12034 | 4 / E | 1 / D | 0 / soy yo | 3 / B | 2 / D |
| 12035 | 4 / E | 1 / D | 0 / soy yo | 4 / C | 2 / D |
| 12036 | 5 / E | 1 / D | 0 / soy yo | 4 / C | 2 / D |
| 12037... | 5 / E | 1 / D | 0 / soy yo | 4 / C | 2 / D |

- Si hay un cambio? Enlace B-C cambia a peso 6
- parece que se adapta a el ... en unos pocos turnos

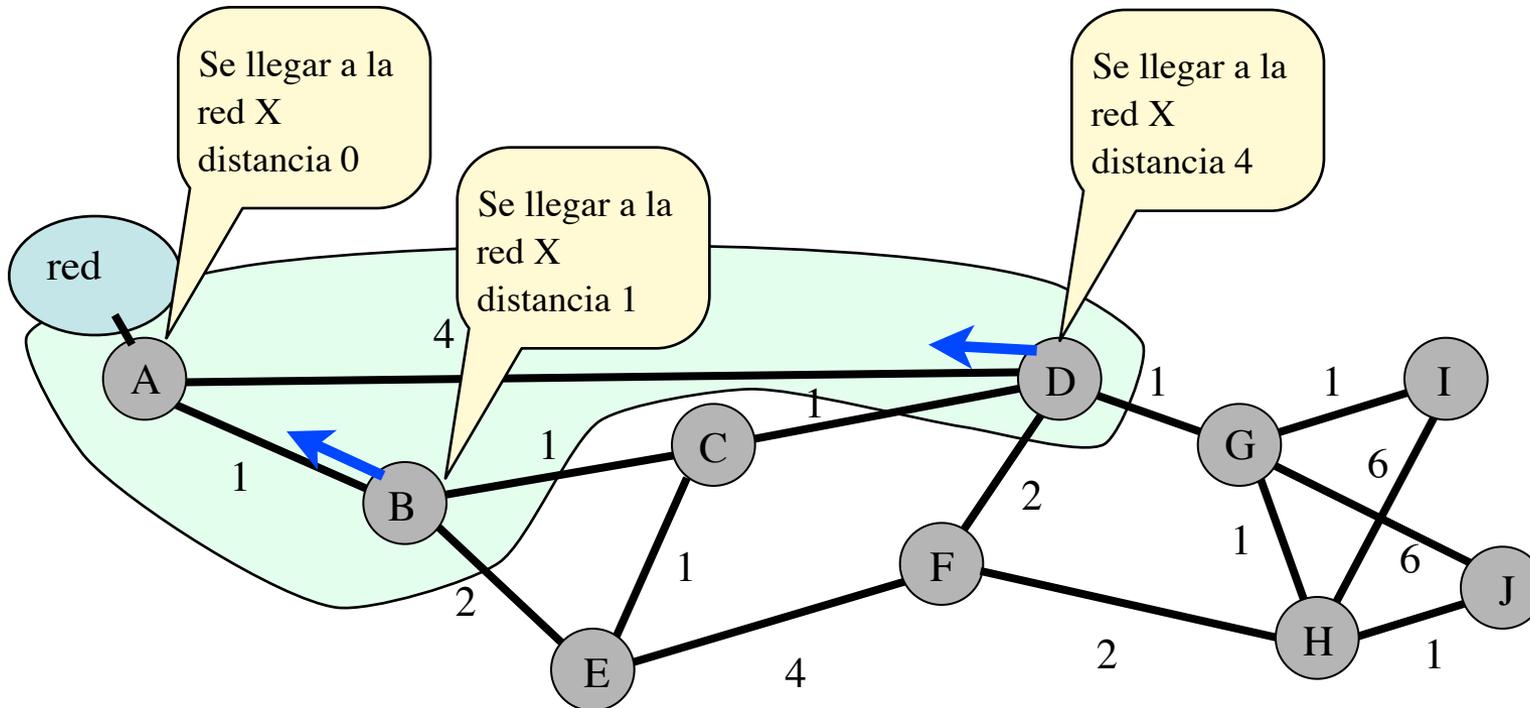


Distance-Vector

- La idea es la base para construir algoritmos de enrutamiento distribuidos
- Enrutamiento Distance-Vector
 - Cada router esta configurado con un identificador
 - Cada router esta configurado con los enlaces a sus vecinos y cada enlace tiene por configuración un numero para usar como coste del enlace
 - Cada router mantiene un vector de distancias a cada destino, se inicializa con 0 para si mismo y infinito para cualquier otro destino
 - Mantiene también otro vector con el siguiente salto a cada destino (tabla de rutas)
 - Cada router es capaz de comunicarse con sus vecinos y envía el vector de distancias a sus vecinos (cada vez que hay un cambio o periodicamente)
 - Cada router almacena el vector de distancias más reciente que ha recibido de cada vecino y utiliza la iteración de Bellman-Ford para decidir cual es el la mejor distancia y el mejor siguiente salto a ese destino.
 - Con eso actualiza su distancia y siguiente salto hacia ese destino
 - Cuando se recalcula el vector?
 - Cada vez que recibo de la red información nueva (nuevo vector)
 - Cada vez que cambia el peso de un enlace, o desaparece (cambio a infinito)
- Es una aproximación distribuida al algoritmo de Bellman-Ford
 - Salvo que no hay exactamente iteraciones o turnos...
 - De hecho (solo mensajes de algunos vecinos) parece razonable
 - Pero hay algunos problemas...

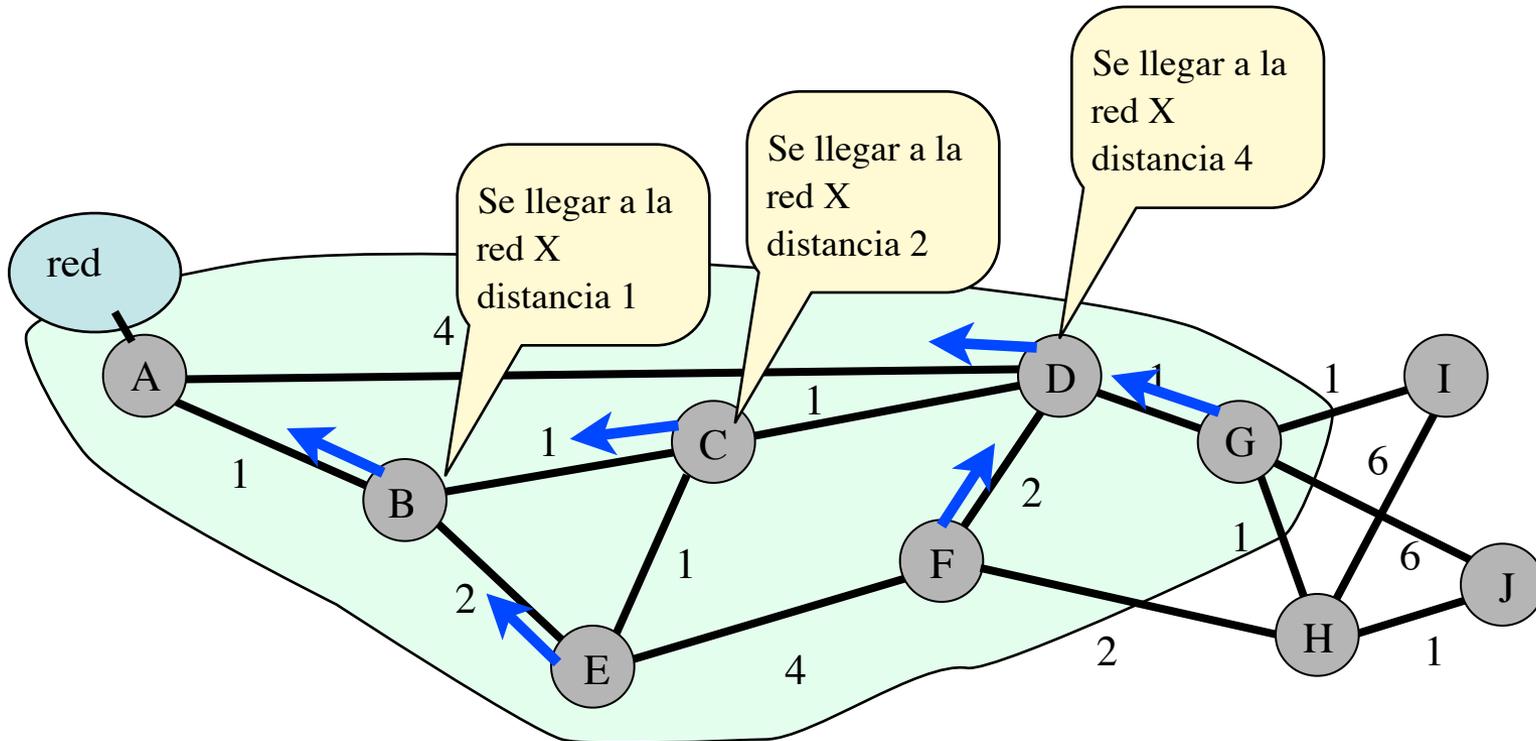
Y esto funciona?

- La información para cada destino se propaga desde los routers que la saben...
-



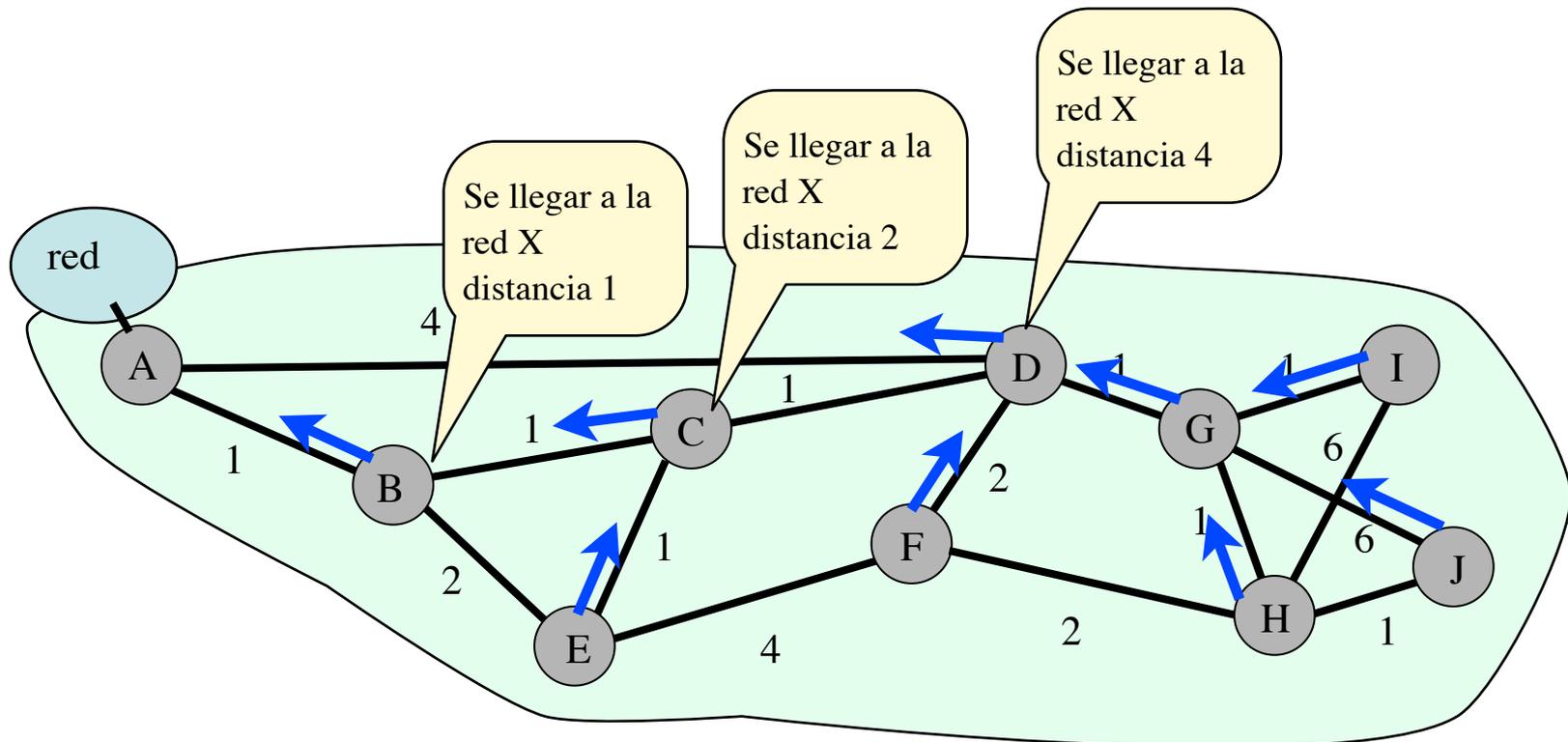
Y esto funciona?

- La información para cada destino se propaga desde los routers que la saben...
-



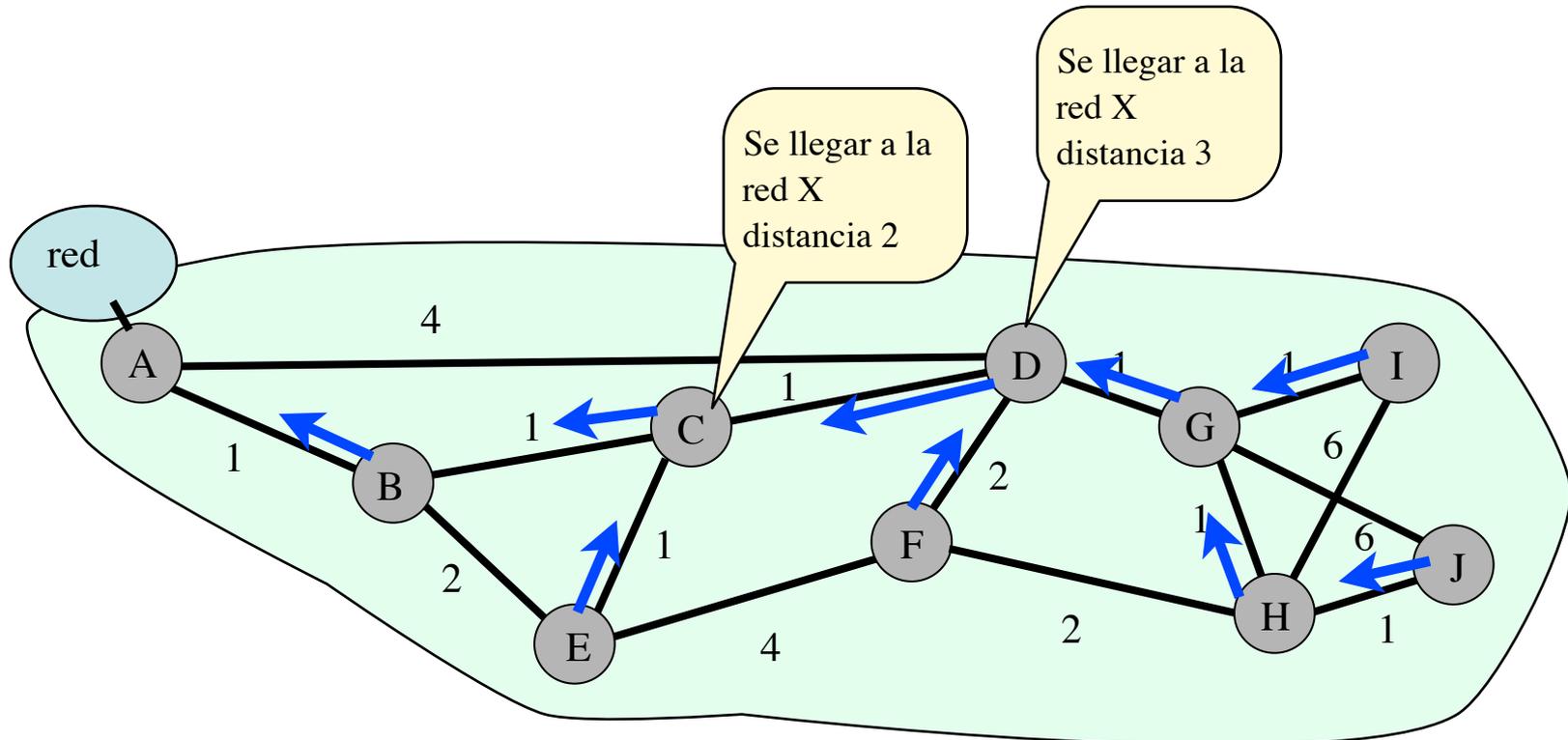
Y esto funciona?

- La información para cada destino se propaga desde los routers que la saben...
- El tiempo de propagación depende de cuantos routers hay hasta el destino
- El tiempo de propagación no es tanto si cada router envía la información a sus vecinos cada vez que hay cambios (triggered updates)



Y esto funciona?

- La información para cada destino se propaga desde los routers que la saben...
- No necesariamente la mejor ruta es la que oigo la primera vez por eso el algoritmo debe funcionar de forma continua
- Lo mismo pasa a la vez con todos los demas destinos



Y esto funciona?

- El algoritmo no sabe cuando ha terminado
- Pero no importa mucho que se ejecute de forma continua
- Si usamos envío de información periódica controlamos el tráfico de enrutamiento que se envía... pero el tiempo en propagar rutas es mas largo
- Si enviamos en cuanto hay cambios (triggered updates) la propagación es rapida y se envía más tráfico cuando hay un cambio pero es self-stopping se autocontrola y deja de enviar cuando las rutas se estabilizan
- Normalmente se utiliza triggered updates con y envio periodico no demasiado frecuente
 - Envío rapido de cambios
 - El envio periodico ayuda si se pierden mensajes o para descubrir vecinos cuando un router se conecta a la red
- Parece razonable. Funciona, se propaga rapido y no crea mucho trafico...
- Y entonces por que es el sistema de **enrutamiento antiguo de Internet**
- Es lento en propagar algunos cambios, los cambios a peor dan problemas de estabilidad

Resumen hasta ahora

- Algoritmo distance-vector teórico
- Cálculo de rutas distribuidas
- Adaptación a los cambios
- Convergencia rápida a los cambios y auto-parada en algunos casos
 - Normalmente los cambios a mejor se propagan rápido
- Problemas de convergencia/estabilidad y cuentas a infinito en otros casos
 - Normalmente los cambios a peor se propagan despacio
- Soluciones que alivian estos problemas pero no los resuelven totalmente

- Lo suficiente para que los algoritmos distance-vector sean útiles
- Qué protocolos reales distance-vector se utilizan? (RIP, IGRP, EIGRP...)
- Como conseguir algoritmos con menos problemas de convergencia?
(La semana que viene)

Conclusiones

- Protocolos distance-vector permiten construir enrutamiento adaptativo distribuido
 - Basados en el algoritmo de Bellman-Ford
 - Son útiles para redes no demasiado complicadas
- Protocolos reales se verán en Redes de Ordenadores
- Próxima clase:
Otro tipo de algoritmos de enrutamiento: link-state