

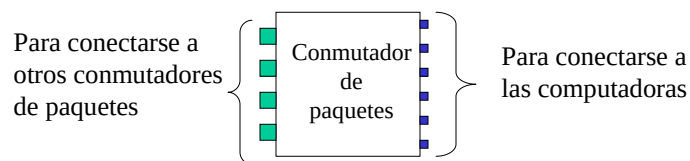
WAN y Enrutamiento

WAN

- El asunto clave que separa a las tecnologías WAN de las LAN es la capacidad de crecimiento, no tanto la distancia entre computadoras
- Para crecer, la WAN consta de dispositivos electrónicos llamados *conmutadores de paquetes* interconectados mediante líneas de comunicación.

Conmutador de paquetes

- Un conmutador de paquetes es una computadora que se emplea para recibir y enviar paquetes.



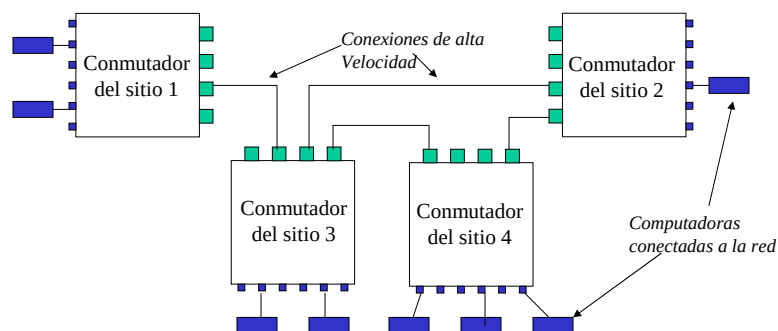
- Para el reenvío la WAN se basa en una estructura de datos denominada tabla de enrutamiento.
 - La tabla consta de entradas de todos los destinos y especifica el siguiente salto para alcanzar el destino.
 - Para ahorrar espacio, por lo general la tabla de enrutamiento lista conmutadores de paquetes y no computadoras.

Conexión

- El dispositivo de E/S que opera a mayor velocidad se emplea para conectar el conmutador con otros conmutadores
- El dispositivo de E/S que opera a menor velocidad se emplea para conectar el conmutador a las computadoras.
- Las WAN emplean casi todas las formas de comunicación punto a punto
 - Seriales rentados, fibra óptica, microondas, canales satelitales, entre otros.

Formación de las WAN

- Para formar una WAN se interconecta un grupo de conmutadores de paquete.



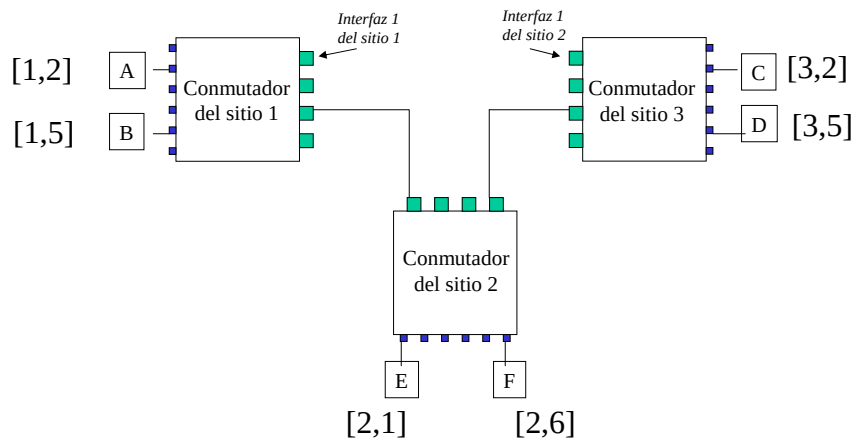
- El conmutador de paquetes es el bloque de construcción básico de las WAN.
- Se forma una WAN con la conexión de un grupo de conmutadores de paquetes a los que luego se conectan las computadoras.
- Se pueden agregar conmutadores e interconexiones para aumentar la capacidad de la WAN.

Almacenamiento y reenvío

- Para la conmutación de paquetes, las WAN emplean la técnica de almacenamiento y reenvío:
 - Los paquetes que llegan por un conmutador se colocan en una cola hasta que el conmutador puede reenviarlos a su destino.
- La técnica permite que un conmutador de paquetes maneje en búfer descargas cortas de paquetes que llegan simultáneamente.

Direccionamiento

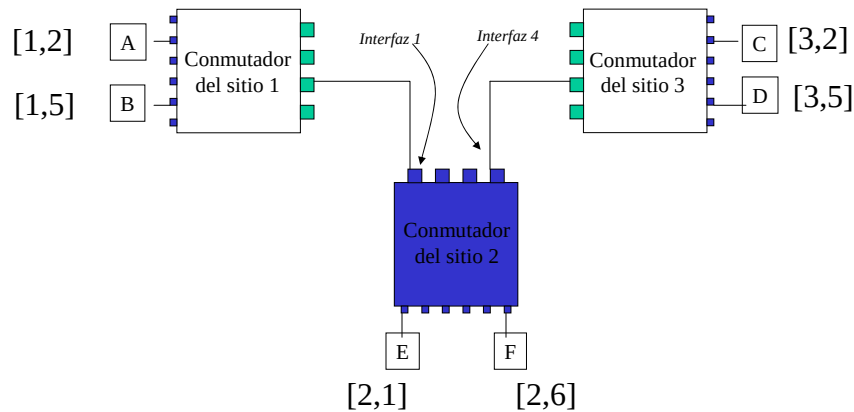
- Las WAN emplean un direccionamiento jerárquico.
 - Ejemplo: una parte que identifica al conmutador y otra que identifica la computadora.



Reenvío por siguiente salto

- El conmutador de paquetes no mantiene información completa sobre cómo llegar a todos los destinos; solo contiene la información sobre el siguiente lugar (salto) al que debe enviarse el paquete, de modo que en algún momento llegue a su destino.
- Se conoce como reenvío por siguiente salto.

Destino	Siguiente salto
[1, 2]	Interfaz 1
[1, 5]	Interfaz 1
[3, 2]	Interfaz 4
[3, 5]	Interfaz 4
[2, 1]	Computadora E
[2, 6]	Computadora F



Direcciones jerárquicas- Enrutamiento

- Tabla de enrutamiento
 - Tabla usada para almacenar la información de siguiente salto.
- Enrutamiento
 - Proceso de reenvío de un paquete a su siguiente salto.
- Al reenviar un paquete, el conmutador sólo necesita examinar la primera parte de la dirección jerárquica.
 - Se puede organizar la tabla de enrutamiento como un arreglo indizado a fin de evitar búsquedas secuenciales.

Con direcciones jerárquicas de dos partes

- Para reenviar un paquete:
 - Extraer la parte de la dirección destino que corresponda a un conmutador de paquetes, p.
 - Si p es igual al número asignado al conmutador de paquetes local, use la segunda parte de la dirección para localizar la computadora conectada.
 - De otra manera, use p para seleccionar un siguiente salto de la tabla de enrutamiento.

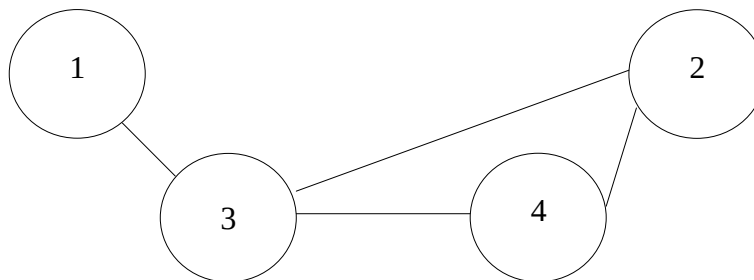
Destino	Siguiente salto
(1, cualquier cosa)	Interfaz 1
(3, cualquier cosa)	Interfaz 4
(2, cualquier cosa)	Computadora local

Enrutamiento en las WAN

- Para crecer la WAN deben agregarse conmutadores de paquetes al interior de una red para manejar la carga.
 - Estos conmutadores no necesitan tener computadoras conectadas
 - Reciben el nombre de conmutadores interiores.
- Los que conectan computadoras directamente se les conoce como conmutadores exteriores.

Enrutamiento en las WAN

- Tanto los conmutadores interiores como los exteriores deben tener una tabla de enrutamiento y deben reenviar paquetes.
 - Enrutamiento universal: la tabla debe contener una ruta de siguiente salto para cada destino posible.
 - Rutas óptimas: en el conmutador, la cifra de siguiente salto de la tabla para un destino dado debe apuntar a la trayectoria más corta al destino.



Destino	Sig. Salto	Destino	Sig. Salto	Destino	Sig. Salto	Destino	Sig. Salto
1	--	1	(2, 3)	1	(3, 1)	1	(4, 3)
2	(1, 3)	2	--	2	(3, 2)	2	(4, 2)
3	(1, 3)	3	(2, 3)	3	--	3	(4, 3)
4	(1, 3)	4	(2, 4)	4	(3, 4)	4	--
NODO 1		NODO 2		NODO 3		NODO 4	

Rutas predeterminadas

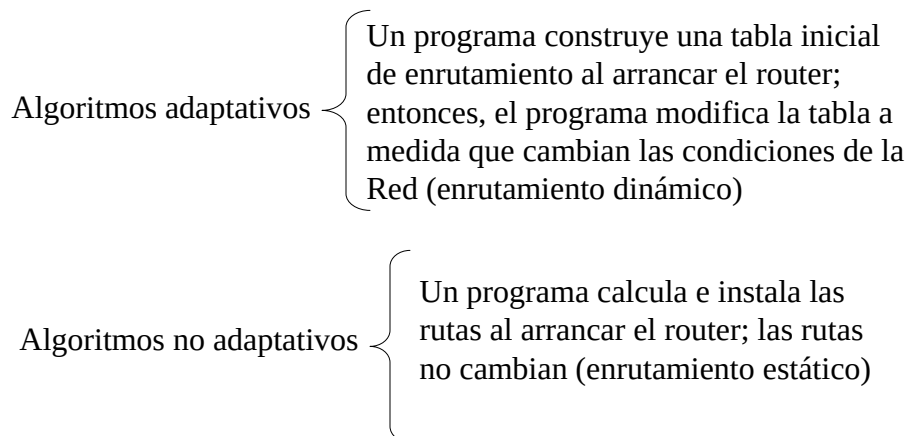
- Permite que una sola entrada de una tabla de enrutamiento reemplace una lista grande de entradas con la misma cifra de siguiente salto.
- Sólo se permite una entrada predeterminada en una tabla de enrutamiento, y la entrada tiene menor prioridad que las demás.
- Si el mecanismo de reenvío no encuentra una entrada explícita para un destino dado, usa la entrada predeterminada.
- Es opcional

Nodo 1		Nodo 2		Nodo 3		Nodo 4	
Destino	Siguiente salto	Destino	Siguiente salto	Destino	Siguiente salto	Destino	Siguiente salto
1	-	2	-	1	(3,1)	2	(4,2)
*	(1,3)	4	(2,4)	2	(3,2)	4	-
		*	(2,3)	3	-	*	(4,3
				4	(3,4)		

¿Cómo se construye una tabla de enrutamiento?

- Cálculo manual:
 - bueno para ejemplos sencillos
 - Impráctico para redes grandes
- Se usa software para calcular las entradas de las tablas de enrutamiento

Clases de algoritmos de enrutamiento



Enrutamiento estático

- Ventajas
 - Simplicidad y baja sobrecarga en la red
- Desventajas
 - Inflexibilidad: las rutas estáticas no pueden cambiarse con facilidad

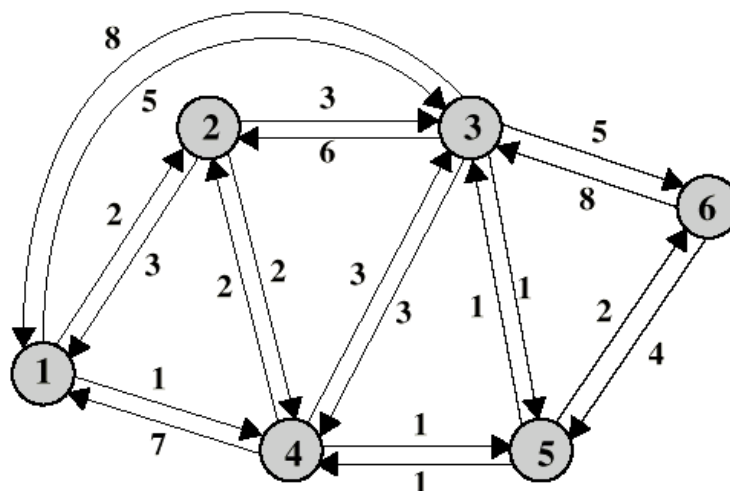
Enrutamiento dinámico

- La mayor parte de las redes acuden al enrutamiento dinámico porque permite que la red maneje automáticamente los problemas.

Algoritmos de enrutamiento

- El software para calcular las entradas de la tabla de enrutamiento representan la red como gráfica.
- La mayor parte de los algoritmos de enrutamiento de costo mínimo utilizados en redes de conmutación de paquetes y en todas las de Internet son variantes de los dos algoritmos más comunes: Dijkstra y Bellman-Ford.
- El algoritmo debe ejecutarse una vez por tabla de enrutamiento.

Ejemplo: 2 métricas para el costo de las rutas



Algoritmo de Dijkstra

- Calcula trayectorias más cortas de una gráfica usando pesos en los enlaces como medida de distancia.
- El algoritmo de Dijkstra encuentra las rutas más cortas entre un nodo origen dado y todos los demás nodos desarrollando los caminos en orden creciente de longitud.

operación

- Actúa en dos pasos
- En el paso k-ésimo se determinan los caminos más cortos a los k nodos más cercanos (de menor costo) al nodo origen;
 - Estos nodos se almacenan en el conjunto T
- En el paso K+1 se añade a la lista T aquel nodo que presente el camino más corto desde el nodo origen y que no se encuentre incluido ya en la lista.
 - A medida que se incorporan nuevos nodos a T, se define su camino desde el origen.

Dijkstra y Bellman-Ford

- El algoritmo de Bellman-Ford encuentra los caminos más cortos desde un nodo origen dado con la condición de que éstos contengan a lo sumo un enlace; después, encuentra los caminos más cortos con la condición de que contengan dos enlaces como máximo, y así sucesivamente.

Estrategias de enrutamiento

- Estática
- Adaptable
- Inundaciones
- Aleatoria

Enrutamiento estático

- Una ruta única y permanente para cada par de nodos origen – destino en la red
- Se puede usar cualquiera de los algoritmos de enrutamiento de costo mínimo
- Ruta estática, al menos hasta que haya un cambio en la topología de la red

Tablas de enrutamiento Estático

MATRIZ DE ENRUTAMIENTO CENTRAL

Nodo destino	Nodo origen					
	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	—

Tabla del nodo 1

Destino	Nodo siguiente
2	2
3	4
4	4
5	4
6	4

Tabla del nodo 2

Destino	Nodo siguiente
1	1
3	3
4	4
5	4
6	4

Tabla del nodo 3

Destino	Nodo siguiente
1	5
2	5
4	5
5	5
6	5

Tabla del nodo 4

Destino	Nodo siguiente
1	2
2	2
3	5
5	5
6	5

Tabla del nodo 5

Destino	Nodo siguiente
1	4
2	4
3	3
4	4
6	6

Tabla del nodo 6

Destino	Nodo siguiente
1	5
2	5
3	5
4	5
5	5

Enrutamiento adaptable

- Utilizado prácticamente por todas las redes de conmutación de paquetes
- Las decisiones de enrutamiento cambian en la medida que lo hacen las condiciones de la red
 - Fallos: Cuando un nodo o línea fallan, no pueden ser usados
 - Congestión: Es deseable enrutar por lugares no congestionados
- Requiere información sobre la red
- Son más complejas las decisiones de enrutamiento
- Existe un compromiso entre la calidad de la información y la cantidad de datos suplementarios o redundancia utilizada (tráfico adicional, degradación de prestaciones)
- Reacciona muy rápidamente y provoca oscilaciones
- Muy lenta para ser relevante

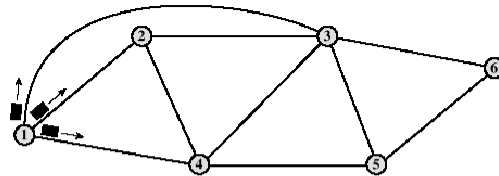
Enrutamiento adaptable - Ventajas

- Mejora las prestaciones
- Ayuda en el control de la congestión (más adelante)
- Sistema complejo
 - Las ventajas se pueden o no constatar debido a la complejidad en lograr un funcionamiento correcto

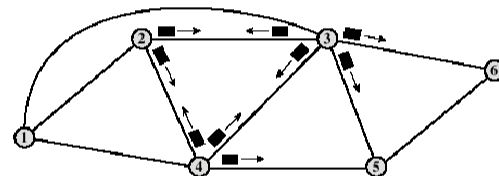
Inundaciones

- No requiere ningún tipo de información sobre la red
- Un nodo origen envía un paquete a todos sus nodos vecinos
- Estos nodos lo reenvían sobre todos los enlaces de salida excepto por el que llegó
- Eventualmente un cierto número de copias llegará al destino
- Cada paquete contiene un identificador único de manera que el nodo destino puede quedarse con una copia y descartar el resto
- Los nodos pueden recordar la identidad de los paquetes que ha retransmitido para rechazar copias duplicadas
- Puede incluir un campo de cuenta de saltos de cada paquete
 - Cuando el contador es igual a cero, se elimina el paquete de la red

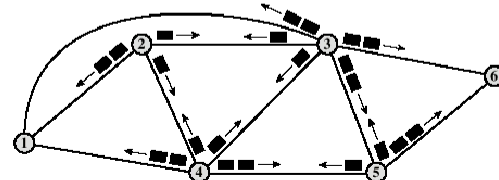
Ejemplo de inundaciones



(a) Primer salto



(b) Segundo salto



(c) Tercer salto

Propiedades de inundaciones

- Se prueban todos los caminos posibles
 - Se garantiza la entrega del paquete
- Al menos una copia del paquete a recibir en el destino habrá usado una ruta de menor número de saltos
 - Puede ser usado para establecer un circuito virtual
- Todos los nodos son visitados
 - Útil para la propagación de información (ej. De enrutamiento)

Enrutamiento aleatorio

- Un nodo selecciona un único camino de salida para retransmitir un paquete entrante
- La selección puede ser aleatoria o por round robin
- Se puede seleccionar una ruta de salida basada en una probabilidad
- No requiere el uso de información sobre la red
- Esta ruta no corresponderá con la de mínimo costo ni con la de menor número de saltos

ARPANET Estrategias de enrutamiento (1)

- Primera generación
 - 1969
 - Algoritmo Adaptable Distribuido
 - Estimación de los retardos como criterio de funcionamiento
 - Algoritmo de Bellman-Ford algorithm
 - Cada nodo intercambia su vector de retardo con todos sus vecinos
 - Actualiza la tabla de enrutamiento basándose en la información de recibida
 - No considera la velocidad de línea, solo la longitud de la cola
 - La longitud de la cola no es una buena medida del retardo
 - Responde lentamente a la congestión

ARPANET Estrategias de enrutamiento(2)

- Segunda generación
 - 1979
 - Utiliza el retardo como criterio de funcionamiento
 - El retardo se mide directamente
 - Utiliza el algoritmo de Dijkstra
 - Bueno para cargas ligeras y medianas
 - Bajo cargas pesadas, la correlación entre los retardos estimados y los experimentados es pequeña

ARPANET Estrategias de enrutamiento(3)

- Tercera generación
 - 1987
 - Cambian los cálculos del costo del enlace
 - El promedio del retardo medido está sobre los 10 segundos
 - La normalización está basada en el valor actual y los resultados previos

Ejemplos de tecnologías WAN

- ARPANET
 - Fue una de las primeras WAN de conmutación de paquetes.
 - Trabajaba a 56Kbps
- X.25
 - Son más comunes en Europa.
 - Se creó antes de que fueran comunes las PC, así que se diseñó para conectar terminales ASCII a computadoras de tiempo compartido.

Ejemplos de tecnologías WAN

- ISDN
 - Red Digital de Servicios Integrados
 - Es un intento de integrar el servicio de red de datos de área amplia con el servicio telefónico de voz.
 - Dos servicios: BRI (interfaz de razón básica) para negocios pequeños o clientes residenciales y PRI (Interfaz de razón primaria) para grandes empresas.

Ejemplos de tecnologías WAN

- Frame Relay
 - Diseñado para aceptar y entregar bloques de datos, cada uno de hasta 8 KB de datos.
 - El servicio de diseño para ser empleado en puentes entre segmentos de LAN.
- SMDS
 - Servicio de datos conmutado multimegabit
 - Fue diseñado para llevar datos
 - También define una interfaz de hardware especial para conectar computadoras a la red.

Ejemplos de tecnologías WAN

- ATM
 - Modo Asíncrono de Transferencia
- Es un intento por diseñar una tecnología que pueda usarse para dar servicio de voz, video y datos sobre áreas amplias.
- ATM divide los datos en paquetes pequeños de tamaño fijo llamados celulas (53 bytes: 5 inf. De cabecera y 48 de datos)