

Transparencias de Redes de Ordenadores

Tema 11

IP Routing 2ª Parte – Routing IP

Uploaded by

IngTeleco

<http://ingteleco.iespana.es>
ingtelecoweb@hotmail.com

La dirección URL puede sufrir modificaciones en el futuro. Si no funciona contacta por email

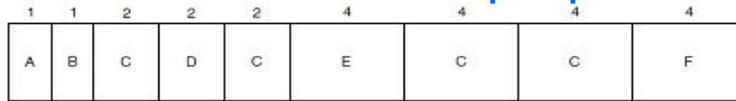
Routing Information Protocol (RIP)

- RIP es el protocolo intra-dominio más popular protocol basado en Vector Distancia (DV)
- Versiones:
 - RIP (RFC 1058) RIP V2 (RFC 1388).
- Algunas diferencias con el enfoque general DV
 - RIP mantiene sólo la ruta de mínimo coste actual y la identidad del vecino asociado
 - Actualizado cuando se encuentra una ruta nueva de menor coste
 - Evita tener que almacenar información sobre rutas desde todos los vecinos (reducción significativa de coste de almacenamiento)
 - El valor 16 representa infinito
 - ⇒ RIP se limita a redes donde la ruta más larga a redes donde la ruta más larga es de 15 saltos o menor
- RIP utiliza costes de enlace fijos (cuenta de saltos)

Routing Information Protocol (RIP)

- RIP es el protocolo intra-dominio más popular protocol basado en Vector Distancia (DV)
- Versiones:
 - RIP (RFC 1058) RIP V2 (RFC 1388).
- Algunas diferencias con el enfoque general DV
 - RIP mantiene sólo la ruta de mínimo coste actual y la identidad del vecino asociado
 - Actualizado cuando se encuentra una ruta nueva de menor coste
 - Evita tener que almacenar información sobre rutas desde todos los vecinos (reducción significativa de coste de almacenamiento)
 - El valor 16 representa infinito
 - ⇒ RIP se limita a redes donde la ruta más larga a redes donde la ruta más larga es de 15 saltos o menor
- RIP utiliza costes de enlace fijos (cuenta de saltos)

RIP: Formato de paquetes



A = Command
 B = Version Number
 C = Zero
 D = Address Family Identifier
 E = Address
 F = Metric

- Command
 - Petición / Respuesta (puede ser una notificación regular no solicitada).
 - Varias respuestas cuando la tabla es grande, hasta 25 rutas notificadas.
- Version Number
- Zero / Unused
- Address-Family Identifier (AFI)
 - El AFI de IP es 2.
- Address
 - Dirección IP de la entrada.
- Metric
 - N° de saltos (routers) que deben atravesarse hasta el destino. 1-15.

Routing IP (VAL)

3

RIP V2: Formato de paquetes



- Command
 - Petición / Respuesta.
- Version
- Unused
- Address-Family Identifier (AFI)
 - El AFI de IP es 2.
 - Si el AFI es 0xFFFF, el resto contiene inf de autenticación: password.
- Route Tag
 - Permite distinguir entre rutas internas (aprendidas por RIP) y externas.
- IP Address
- Subnet Mask
- Next Hop
- Metric

Routing IP (VAL)

4

Problemas protocolos DV (y RIP)

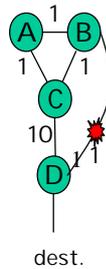
- Relacionados con el modo en que cambia la red y a qué velocidad se pueden propagar sus cambios.
- La propagación de cambios depende de
 - Cómo y cuando se incorpora información nueva
 - Aumento de los costes de enlace
 - Instantes en los que se inician ("triggered") las iteraciones de cálculo
 - La velocidad a la que la información de actualización se incorpora a la estimación del vector distancia
 - Cuenta hasta infinito (destino no alcanzable)
- Métodos para acelerar la convergencia (y evitar/minimizar bucles)
 - Reglas de actualización de rutas
 - Triggered updates
 - Envejecimiento de las entradas
 - Split horizon y poisoned reverse

Incorporación de cambios en los costes

- Soporte de disminución en el coste de una ruta
 - Gestionado por la la regla de actualización de distancias, i.e., take tomar el valor mínimo entre el actual y la nueva distancia
- Soporta el incremento del coste de una ruta
 - No incorporado porque RIP sólo recuerda la mejor distancia y el vecino asociado
 - Nuevas rutas de mayor coste no siempre reemplazarán a las viejas
 - Regla especial de actualización para gestionar el aumento del coste
 - La ruta de mayor coste se ignora si viene de un vecino diferente
 - La ruta de mayor coste reemplaza a la antigua si procede del mismo vecino
 - Garantiza la convergencia a la ruta de coste correcto

El problema de la Cuenta a Infinito

- ¿En qué consiste?
 - A los destinos no alcanzables se les asigna coste *infinito*
 - Cuando un enlace cae, los nodos convergen a la distancia infinito para los destinos no alcanzables
 - La convergencia puede necesitar tiempo
 - Cada actualización necesita una iteración
 - Tiempo que cada router necesita para incrementar el coste de la ruta actual a infinito o al valor actual de la nueva ruta
- Necesidad de modificar el método para acelerar la convergencia



Rutas
iniciales
al dest.

D: 1 dir
B: 2 (D)
C: 3 (B)
A: 3 (B)

t	0	1	2	3	4	.....	9	10
D:	1 dir	1 dir	1 dir				
B:	2 (D)	unrch	4 (C)	5 (C)	6 (C)	.....	11 (C)	12 (C)
C:	3 (B)	3 (B)	4 (A)	5 (A)	6 (A)	.....	11 (A)	11 (D)
A:	3 (B)	3 (B)	4 (C)	5 (C)	6 (C)	.....	11 (C)	12 (C)

Routing IP (VAL)

7

Acelerar la Convergencia

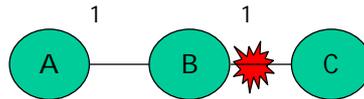
- Split horizon
 - Previene la formación de bucles, i.e., no uses *mi* información para decirme lo que puedes hacer por mi
 - No incluir en las actualizaciones aquellas rutas que me atraviesan
- Split horizon con poisoned reverse
 - Indica las rutas que me atraviesan con un coste infinito
 - Mejora la velocidad de convergencia en muchos casos
 - Evita bucles cuando sólo hay dos nodos involucrados
 - Pueden producirse bucles cuando están involucrados tres o más routers
- Son necesarios otros mecanismos para asegurar una convergencia más rápida
 - “Triggered updates” en caso de cambios
 - Actualizaciones periódicas (envejecimiento) para una detección más rápida de la caída de un enlace/router

Routing IP (VAL)

8

Split Horizon con Poisoned Reverse

- Se evitan bucles cuando sólo hay dos routers

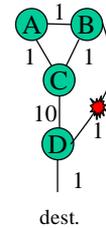


sin	t	0	1	2	3	4	...	13	14	
	B:	1 (C)	3 (A)	4 (A)	5 (A)	6 (A)	...	15 (A)	16 (A)	
	A:	2 (B)	3 (B)	4 (B)	5 (B)	6 (B)	...	16 (B)	16 (B)	
con	t	0	1							
	B:	1 (C)	16 (A)							
	A:	2 (B)	16 (B)							
		16 to B								

Routing IP (VAL)

9

Split Horizon con Poisoned Reverse (cont)



- No se previenen bucles si hay tres routers

$t=0$	$t=1$	$t=2$	$t=3$	$t=4$	$t=5$
A * 16 3	A * 16 3	A * 4 16	A * 16 16	A * 16 6	A * 12 16
B 2 * 2 16	B 16 * 16	B 16 * 16	B 5 * 16	B 12 * 16	B 12 * 16
C 3 16 * 3	C 3 16 * 3	C 16 4 * 4	C 11 11 * 16	C 11 11 * 16	C 16 7 * 7
D 1 1 * *	D 1 * D	D 1 * D	D 1 * D	D 1 * D	D 1 * *

$t=6$	$t=7$	$t=8$	$t=9$	$t=10$	$t=11$
A * 16 13	A * 16 9	A * 12 16	A * 16 13	A * 14 16	A * 12 16
B 8 * 16	B 12 * 16	B 12 * 16	B 11 * 16	B 12 * 16	B 12 * 16
C 11 11 * 16	C 11 11 * 16	C 16 10 * 10	C 11 11 * 16	C 11 11 * 16	C 11 11 * 16
D 1 * *	D 1 * D	D 1 * D	D 1 * D	D 1 * D	D 1 * *

Routing IP (VAL)

Columna: Nodo receptor; Fila: Nodo Emisor

10

Actualizaciones periódicas / "Triggered updates"

- Se fuerzan las actualizaciones a intervalos periódicos
 - Cada 30 seg \pm 5seg en RIP, temporizador "clean-up" de 180 seg, y temporizador "garbage collection" de 120 seg (elimina rutas después de expirar)
 - Envía el contenido de la tabla de encaminamiento completa (limitado a 25 entradas de routing por mensaje)
 - La recepción actualizaciones reanuda el temporizador de "clean-up"
- "Triggered updates"
 - Acelera la cuenta (a infinito) para acabar más rápidamente con los bucles
 - Fuerza la actualización al detectar un cambio en la métrica (RIP utiliza tiempo aleatorio mínimo -hasta 5 segundos- para prevenir sobrecargas)
 - No evita completamente bucles por la posible coincidencia de una actualización periódica con una "triggered"

Algunas limitaciones de RIP

- Limitado a redes relativamente pequeñas
 - Infinito = 16 (en RIP2 también por compatibilidad con RIP1)
- Los enlaces de métricas limitados al número de saltos
 - Posibilidad de modular el coste para tener en cuenta otras medidas, p.e. El ancho de banda es marginal (total < 16)
- Muchos factores pueden afectar a la velocidad de convergencia
 - Son posibles bucles transitorios
- Una sola ruta hasta cada destino
 - Muy limitada capacidad de balanceo de carga

OSPF

Open Shortest Path First

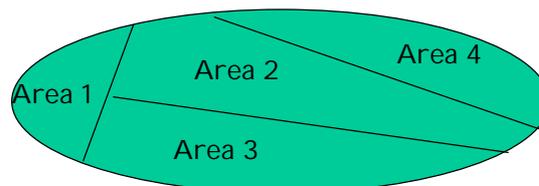
- Protocolo de routing interior (Intra-AS), empleado dentro de un Sistema Autónomo (IGP)
- Protocolo de Estado de Enlace
 - Notificaciones de estado de enlace (LSAs) a los otros routers dentro del mismo área.
 - Información sobre interfaces y métrica.
 - Los routers acumulan información sobre el estado de los enlaces y usan SPF para calcular el camino más corto a cada nodo.
- Algoritmo dinámico autoadaptativo, reacciona a los cambios de manera automática y rápida.
- Diversidad de parámetros para el cálculo de la métrica: distancia física, retardo, etc.
- Soporta diferentes rutas dependiendo del TOS necesario
- Soporta múltiples caminos de igual coste: balance de carga
- Soporta máscaras de tamaño variable.

Routing IP (VAL)

13

Areas

- Jerarquía de routing de dos niveles: divide los AS en *areas*.
 - Un router sólo necesita conocer la topología de su área.
 - Los algoritmos de routing se aplican dentro de cada área para determinar rutas
 - En todo AS hay al menos un área, el área 0 denominada backbone.
 - Un router puede pertenecer a dos o mas áreas.
 - Al menos un router de cada área debe estar además en el backbone.
 - Dos áreas se comunican a través del backbone



Routing IP (VAL)

14

Tipos de Paquetes

- Hello – adquirir vecinos
- Database description
- Link state request
- Link state update, Link state ack
 - Las “Link state advertisement” (LSA) contienen información sobre el estado de los interfaces y adyacencias del route
 - Intercambio entre routers adyacentes (validados)
 - Transferencia fiable salto a salto de las notificaciones de estado de enlace (LSA)
 - Pueden agregarse LSAs para varios emisores

Notificación de Estado de Enlace (LSA)

- Paquete de los protocolos de Routing LSA
 - En Internet encapsulado en datagramas UDP o segmentos TCP
- Incluye:
 - ID del router que creó el LSA
 - Costo del enlace a cada vecino directamente conectado
 - Número de secuencia (SEQNO)
 - Tiempo de vida (TTL) del LSA – contador máximo de saltos o número máximo de unidades de tiempo, según la definición del protocolo

Tipos de LSA

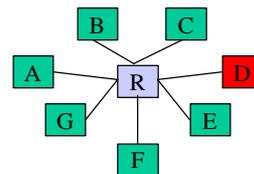
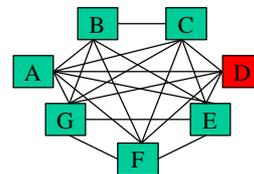
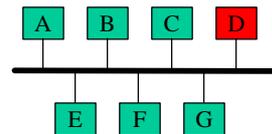
- Router LSA
 - Originado por todos los router
 - Difundido en el área
 - Lista las interfaces del router, su costo(s), la red o router a los que está conectado y la dirección IP directamente alcanzable a través de él
- Network LSA
 - Originado por routers designados
 - Difundido en el área
 - Lista todos los routers conectados a una red
- Summary LSA
 - Originado por el router periféricos
 - Difundido en el área
 - Notifica las direcciones alcanzables en otras áreas pero dentro del AS
- External LSA
 - Originado por un router periférico del AS
 - Difundido en el AS
 - Notifica rutas obtenidas a partir de protocolos de routing inter-dominios
- El uso de multiples tipos permite reducir el tamaño de las LSAs (40 bytes de media en OSPF)
 - La granularidad pequeña asegura tamaño de LSAs pequeño

Routing IP (VAL)

17

¿Por qué una Network LSA?

- Múltiples routers conectados a una LAN de difusión
- La notificación directa de la conectividad correspondiente a un router es costosa
- Network LSA proporciona notificaciones más compactas
 - Utilizado en **router designados** minimiza posteriores costos de notificaciones



Routing IP (VAL)

18

Tipos de routers OSPF

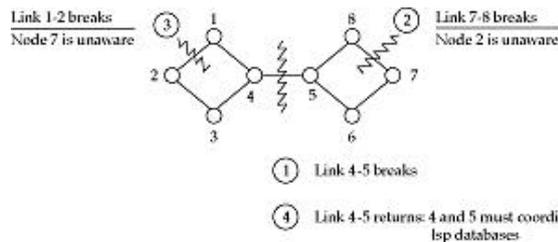
- Router interno – dentro de un área
- Router periférico de un área
 - Unido a varias áreas
 - Ejecuta una copia de SPF por cada área a la que pertenece
 - Conmuta información topológica de las áreas a las que pertenece al “backbone”
- Router Backbone – incluye routers periféricos de áreas
- Routers periféricos de AS

Protocolo OSPF HELLO

- El protocolo HELLO se utiliza entre routers adyacentes para comprobar que “siguen ahí”
 - Se intercambian paquetes HELLO periódicamente
- El protocolo HELLO sirve para múltiples propósitos
 - Descubrimiento dinámico de vecinos
 - Notificación de la capacidad de los routers (atributos)
 - Identificación del “router designado”
 - Detección de fallos en los enlaces y los routers
 - La frecuencia de las notificaciones varía con la tecnología de la red (desde 10 a 30 seg)

Sincronización de la BD después de la partición

- Después de un fallo las BD LSA pueden quedarse desincronizadas



- Los routers de cada lado de un enlace restaurado hablan entre sí para actualizar las BDs (determinar LSAs perdidas o desactualizadas)

Seguridad de las BDs LSA

- La consistencia de las BDs LSA es crítica para evitar bucles
- Es necesario protegerlas frente a varios escenarios de error.
 - Errores de enlace
 - LSA checksum y reconocimientos para asegurar una transmisión fiable.
 - Inyección de LSAs espúreas (errores o malintencionadas)
 - Soporte de capacidad de autenticación en las LSAs (OSPFv2)

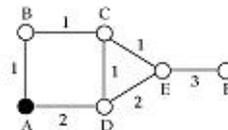
Cálculo de Rutas en los protocolos LS (OSPF)

- Bases
 - Cada router tiene una visión consistente de su área (topología y métrica de enlace)
 - Cada router calcula el *camino más corto* desde él hasta todos los destinos de su área
- El cálculo de rutas se basa en el algoritmo de Dijkstra
 - Mantiene dos conjuntos de nodos (routers y redes)
 - Los nodos a los que conoce el camino más corto (conjunto S)
 - Nodos a los que conoce caminos candidatos (conjunto C)
 - Inicialmente sólo el router origen está en el conjunto S
 - En cada iteración:
 - Considera todos los vecinos del último nodo X añadido a S y los añade a C si no estaban ya en él.
 - Actualiza los caminos de todos los vecinos de X si el camino a través de X es más corto que el actual
 - Si C está vacío el algoritmo termina
 - En caso contrario, se añade a S el nodo de C que está más “próximo” a X y repite la iteración

Routing IP (VAL)

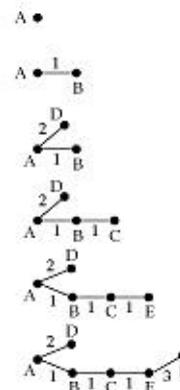
23

Ejemplo del algoritmo de Dijkstra



→ B(A,1) means B was reached by A, cost 1

PERMANENT	TEMPORARY	COMMENTS
A	B(A,1), D(A,2)	ROOT AND ITS NEIGHBORS
A, B(A,1)	D(A,2), C(B,2)	ADD C(B,2)
A, B(A,1), D(A,2)	E(D,4), C(B,2)	C(D,3) DIDN'T MAKE IT
A, B(A,1), D(A,2), C(B,2)	E(C,3)	E(D,4) TOO LONG
A, B(A,1), D(A,2), C(B,2), E(C,3)	F(E,6)	
A, B(A,1), C(B,2), D(A,2), E(C,3), F(E,6)	NULL	STOP



Routing IP (VAL)

24

Extensión de los protocolos LS (OSPF) a Múltiples Áreas

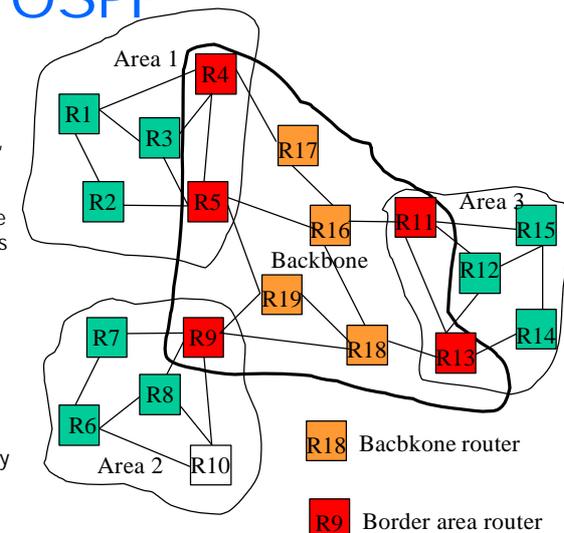
- OSPF soporta una jerarquía de dos niveles.
 - El "Backbone" (área 0) interconecta áreas
 - Los router periféricos de área aseguran conectividad entre-áreas
- El Protocolo de Estado de Enlace (cálculo de caminos y BD LSA) está limitado a áreas individuales
- Se utiliza un enfoque DV entre áreas
 - Los router periféricos notifican tablas de encaminamiento (summary LSA) y no las LSAs
 - Los router periféricos utilizan las "summary LSAs" de otras áreas y la topología del backbone para notificar en su área los caminos más cortos a otras áreas
 - Limitado a dos niveles jerárquicos por problemas de convergencia (cuenta hasta infinito) de los protocolos DV tradicionales.

Routing IP (VAL)

25

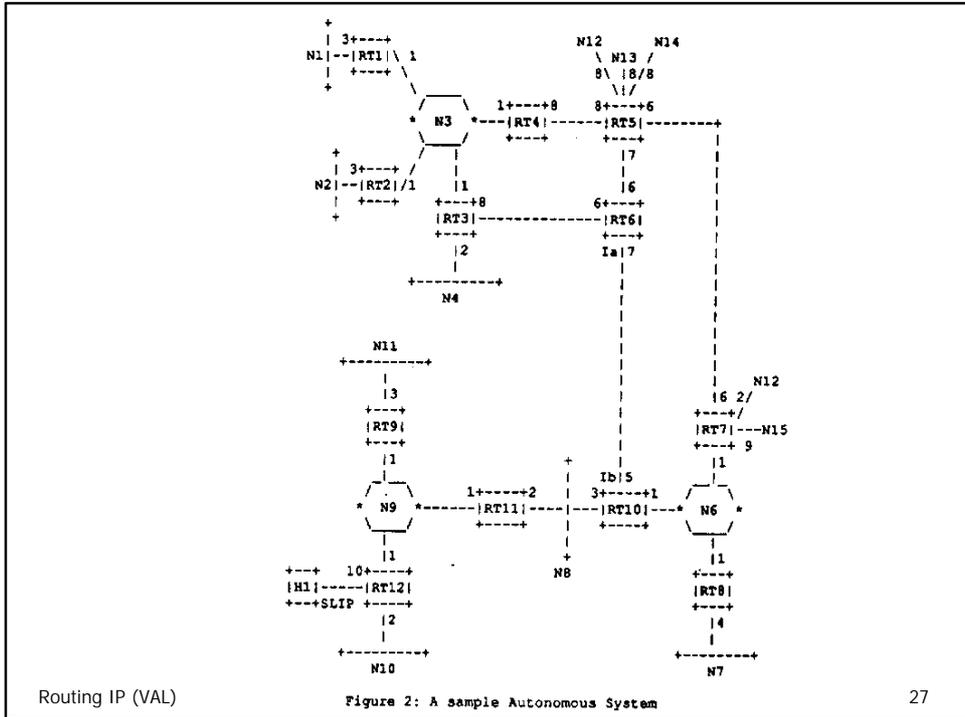
Configuración Multi-Área OSPF

- R4 calcula el camino más corto a R1, R2, y R3 y notifica la tabla resultante a través del backbone (summary LSA)
- R11 recibe los summary LSA de R4, R5, R9 y calcula el camino más corto a todos los destinos en las áreas 1 y 2 concatenando costos de las summary LSAs con costos de los caminos más cortos a través del backbone
- R11 notifica (summary LSA) en el área 3 los costos de los caminos más cortos a todos los destinos de las áreas 1 y 2 a través de él.
- R12 calcula los caminos más cortos a todos los destinos de las áreas 1 y 2 eligiendo el camino más corto de las LSAs de R11 y R12



Routing IP (VAL)

26



FROM

	RT1	RT2	RT3	RT4	RT5	RT6	RT7	RT8	RT9	RT10	RT11	RT12	N3	N6	N8	N9
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	N3	N6	N8	N9
RT1														10		
RT2														10		
RT3						16								10		
RT4					8									10		
RT5			8		16	16										
RT6		8		7				15								
RT7				6										10		
RT8														10		
RT9																10
RT10						7								10	10	
RT11														10	10	
RT12																10
N13																
N2	13															
N3	11	11	11													
N4		12														
N6						11	11	11								
N7							14									
N8								13	12							
N9							11		11	11						
N10																12
N11								13								
N12						8		12								
N13						8										
N14						8										
N15								9								
H1													10			

Figure 3: The resulting directed graph

Networks and routers are represented by vertices. An edge of cost X connects Vertex A to Vertex B iff the intersection of Column A and Row B is marked with an X.

Routing IP (VAL)

28

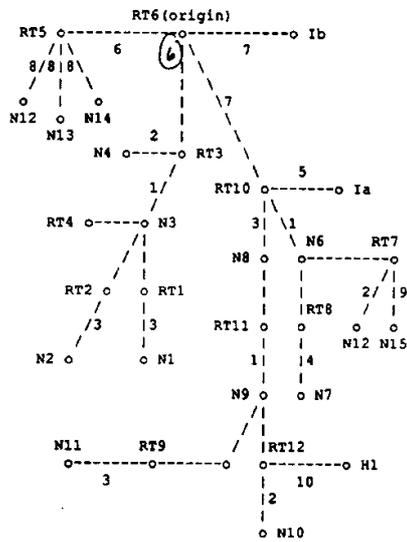


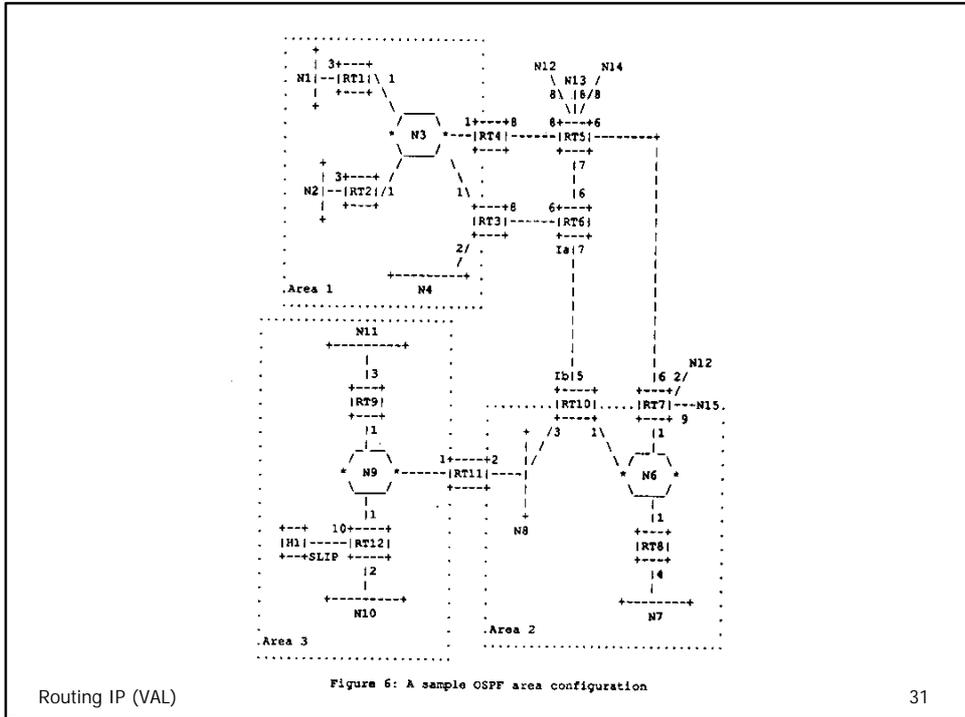
Figure 5: The SPF tree for Router RT6
 Edges that are not marked with a cost have a cost of zero (these are network-to-router links). Routes to networks N12-N15 are external information that is considered in Section 2.2

Destination	Next Hop	Distance
N1	RT3	10
N2	RT3	10
N3	RT3	7
N4	RT3	8
Ib	*	7
Ia	RT10	12
N6	RT10	8
N7	RT10	12
N8	RT10	10
N9	RT10	11
N10	RT10	13
N11	RT10	14
H1	RT10	21
RT5	RT5	6
RT7	RT10	8

Table 2: The portion of Router RT6's routing table listing local destinations.

Destination	Next Hop	Distance
N12	RT10	10
N13	RT5	14
N14	RT5	14
N15	RT10	17

Table 3: The portion of Router RT6's routing table listing external destinations.



Routing IP (VAL)

Figure 6: A sample OSPF area configuration

FROM

	RT1	RT2	RT3	RT4	RT5	RT6	RT7	RT8	RT9	RT10	RT11	RT12	RT13	RT14	RT15
N1															
N2															
N3															
N4															
N5															
N6															
N7															
N8															
N9															
N10															
N11															
N12															
N13															
N14															
N15															

Figure 7: Area 1's Database.

Networks and routers are represented by vertices. An edge of cost X connects Vertex A to Vertex B iff the intersection of Column A and Row B is marked with an X.

FROM

	RT1	RT2	RT3	RT4	RT5	RT6	RT7	RT8	RT9	RT10	RT11	RT12	RT13	RT14	RT15
RT3															
RT4															
RT5															
RT6															
RT7															
RT10															
RT11															
N14															
N2															
N3															
N4															
Ia															
Ib															
N6															
N7															
N8															
N9-N11															
N12															
N13															
N14															
N15															

Figure 8: The backbone's database.

Networks and routers are represented by vertices. An edge of cost X connects Vertex A to Vertex B iff the intersection of Column A and Row B is marked with an X.

Routing IP (VAL)

Area border router	dist from RT3	dist from RT4
to RT3	*	21
to RT4	22	*
to RT7	20	14
to RT10	15	22
to RT11	18	25
to Ia	20	27
to Ib	15	22
to RT5	14	8
to RT7	20	14

Table 5: Backbone distances calculated

Destination	RT3 adv.	RT4 adv.
Ia, Ib	15	22
N6	16	15
N7	20	19
N8	18	18
N9-N11, H1	19	26
RT5	14	8
RT7	20	14

Table 6: Destinations advertised into Area 1 by Routers RT3 and RT4.

OSPF: Link State Advertisement Type = Router Links

OSPF: Router ID = 192.168.1.2
OSPF: Sequence Number = 2147483663 (0x8000000F)
OSPF: Link State Checksum = 0xFE8F
OSPF: Length = 36 (0x24)
OSPF: Number of Links = 1 (0x1)
OSPF: IP Address of Designated Router = 192.168.4.1
OSPF: Interface Address = 192.168.4.1
OSPF: Link Type = Connects to Transit Network
OSPF: Number of Metrics = 0 (0x0)
OSPF: TOS0 Metric = 2 (0x2)
OSPF: Age = 56 (0x38)
OSPF: Options = 2 (0x2)
OSPF: Link State Advertisement Type = Summary Link (IP

Network)

OSPF: Network Address = 192.168.2.0
OSPF: Router ID = 192.168.1.3
OSPF: Sequence Number = 2147483649 (0x80000001)
OSPF: Link State Checksum = 0x92EF
OSPF: Length = 28 (0x1C)
OSPF: Destination Netmask = 255.255.255.0
OSPF: SLA Type of Service = 1
OSPF: Metric = 2