

Redes de Computadores

Camada de Rede

Roteamento IP

RIP OSPF e BGP

Roteamento

- Determinar o melhor caminho a ser tomado da origem até o destino.
- Se utiliza do endereço de destino para determinar a melhor rota.
- Roteador *default*, é o roteador ligado diretamente ao *host* (roteador do primeiro salto);
- Caminho de menor custo, é o caminho cuja soma do custo dos enlaces que ele percorre apresentam o menor valor;
- Caminho mais curto, o caminho com o menor número de saltos (roteadores);

Tipos de Algoritmos de Roteamento

● Global

- Calcula o caminho de menor custo entre uma fonte e um destino usando conhecimento completo e global sobre a rede;
- Também denominado **algoritmo de estado de enlace** (*Link State – LS*);
- Tem de possuir informações completas sobre a conectividade e o custo dos enlaces;

● Descentralizado

- O cálculo é realizado de forma distribuída e iterativa;
- Não se tem conhecimento dos custos de todos enlaces da rede;
- Baseia-se na troca de informações com o nó vizinho para cálculo da rota;
- Também denominado **algoritmo de vetor de distâncias** (*Distance-Vector algorithm – DV*).

Tipos de Algoritmos de Roteamento

● Algoritmos de Roteamento Estáticos

- Tabelas fixas;
- Alteradas de forma manual com pouca frequência;

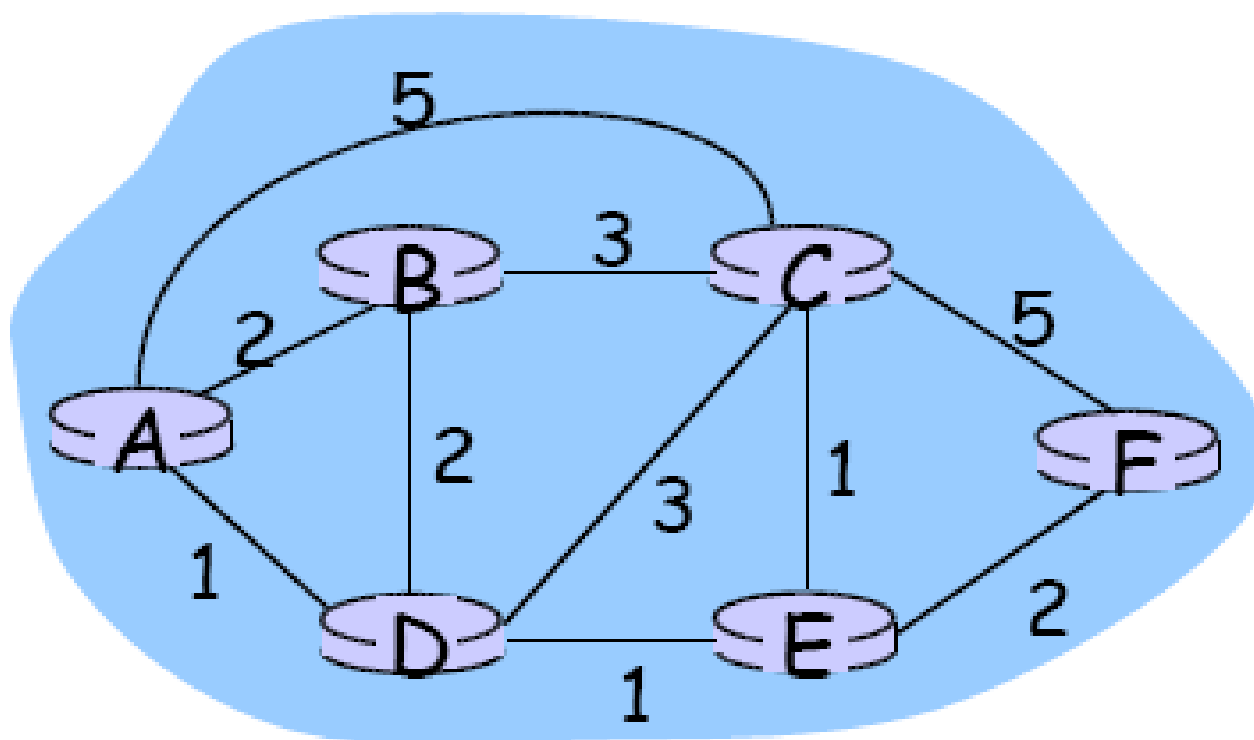
● Algoritmos de Roteamento Dinâmicos

- As rotas são alteradas à medida que mudam as cargas de tráfego ou a topologia da rede;

Grafos

- Um grafo é utilizado para formular problemas de roteamento.
- No contexto do roteamento da camada de rede, os nós do grafo representam roteadores e as arestas que conectam esses nós representam os enlaces físicos entre esses roteadores.
- Cada aresta tem um valor que representa seu custo.

Rede de Computadores



Rede de Computadores

- O custo de um caminho é composto pelo somatório dos custos das arestas que compõem este caminho.
- No caso de todos os caminhos terem o mesmo custo, é escolhido aquele que tiver menos saltos (caminho mais curto).

Algoritmo de Estado de Enlace

- Cada nó transmite pacotes de estado de enlace a todos os outros nós da rede, sendo que cada um desses pacotes contém as identidades e os custos dos enlaces ligados a ele.
- Um algoritmo comumente utilizado para determinar o melhor caminho é o algoritmo de Dijkstra.

Algoritmo de Dijkstra

- O algoritmo de Dijkstra calcula o caminho de menor custo entre um nó e todos os outros nós da rede.
- É um algoritmo iterativo e tem a propriedade de, após a n -ésima iteração, conhecer os caminhos de menor custo para ' n ' nós de destino.

Rede de Computadores

1 **Initialization:**

2 $N = \{A\}$

3 for all nodes v

4 if v adjacent to A

5 then $D(v) = c(A,v)$

6 else $D(v) = \text{infinity}$

7 **Loop**

8 find w not in N such that $D(w)$ is a minimum

9 add w to N

10 update $D(v)$ for all v adjacent to w and not in N :

11 $D(v) = \min(D(v), D(w) + c(w,v))$

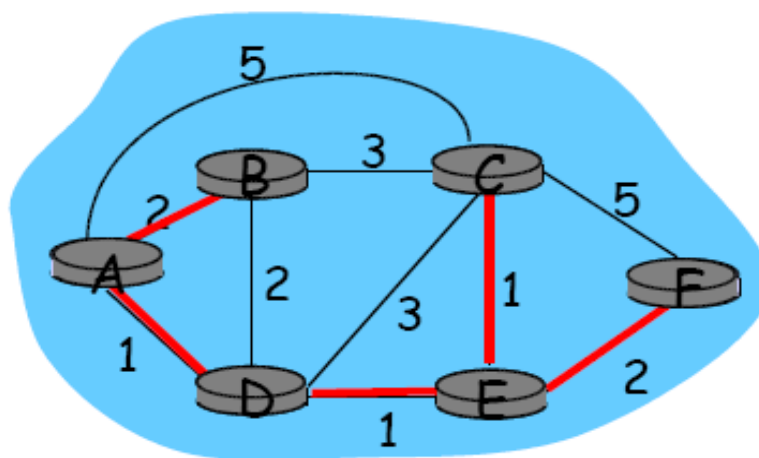
12 /* new cost to v is either old cost to v or known

13 shortest path cost to w plus cost from w to v */

14 **until all nodes in N**

Rede de Computadores

Step	N	D(B),p(B)	D(C),p(C)	D(D),p(D)	D(E),p(E)	D(F),p(F)
→ 0	A	2,A	5,A	1,A	infinity,-	infinity,-
→ 1	AD	2,A	4,D	1,A	2,D	infinity,-
→ 2	ADE	2,A	3,E	1,A	2,D	4,E
→ 3	ADEB	2,A	3,E	1,A	2,D	4,E
→ 4	ADEBC	2,A	3,E	1,A	2,D	4,E
→ 5	ADEBCF	2,A	3,E	1,A	2,D	4,E



Algoritmo de Vetor de Distâncias

● Iterativo

- O processo continua até que mais nenhuma informação seja trocada entre os vizinhos.

● Assíncrono

- Não requer que todos os nós rodem simultaneamente

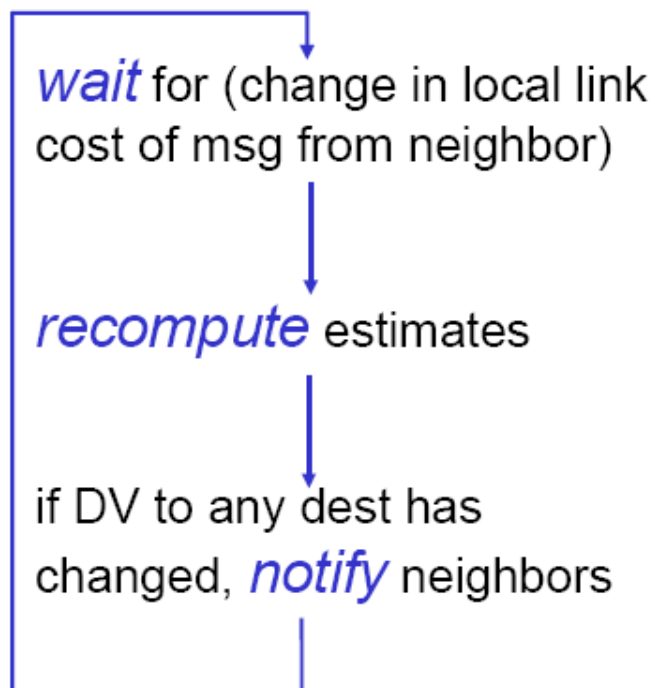
● Distribuído

- Cada nó recebe alguma informação de um ou mais vizinhos diretamente ligados a ele, realiza cálculos e, em seguida, distribui os resultados de seus cálculos para seus vizinhos.

Algoritmo de Bellman-Ford

- É utilizado para determinar qual o caminho de menor custo.
- Cada nó começa com os custos dos vizinhos ligados diretamente a ele.
- Cada nó envia, a intervalos regulares, uma cópia do seu vetor de distâncias a cada um de seus vizinhos.
- Quando um nó recebe um novo vetor de distâncias ele usa o algoritmo de Bellman-Ford para atualizar a sua tabela e a distribui.

Rede de Computadores



$$D_x(y) = \min\{c(x,y) + D_y(y), c(x,z) + D_z(y)\}$$

$$= \min\{2+0, 7+1\} = 2$$

$$D_x(z) = \min\{c(x,y) + D_y(z), c(x,z) + D_z(z)\}$$

$$= \min\{2+1, 7+0\} = 3$$

nodex table

cost to

	x	y	z
from x	0	2	7
from y	∞	∞	∞
from z	∞	∞	∞

nodey table

cost to

	x	y	z
from x	∞	∞	∞
from y	2	0	1
from z	∞	∞	∞

nodez table

cost to

	x	y	z
from x	∞	∞	∞
from y	∞	∞	∞
from z	7	1	0

cost to

	x	y	z
from x	0	2	3
from y	2	0	1
from z	7	1	0

cost to

	x	y	z
from x	0	2	7
from y	2	0	1
from z	7	1	0

cost to

	x	y	z
from x	0	2	7
from y	2	0	1
from z	3	1	0

cost to

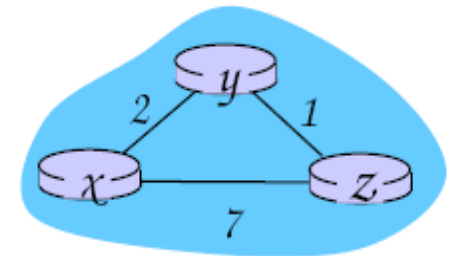
	x	y	z
from x	0	2	3
from y	2	0	1
from z	3	1	0

cost to

	x	y	z
from x	0	2	3
from y	2	0	1
from z	3	1	0

cost to

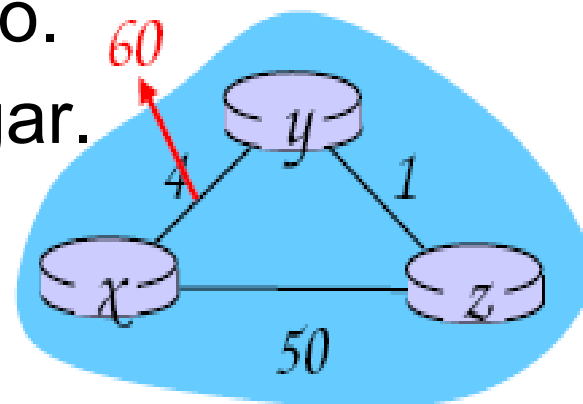
	x	y	z
from x	0	2	3
from y	2	0	1
from z	3	1	0



time

Mudanças de Custo do Enlace

- Boas notícias se propagam rápido.
- Más notícias se propagam devagar.
- 44 iterações até a estabilização.
- Reversão envenenada:
 - Evita o loop desnecessário.
 - Se a rota de Z a X é por Y, então Z diz que seu custo para X é infinito.
 - Não resolve totalmente o problema.



Comparação

● Complexidade da mensagem:

- **LS**, com n nós e E enlaces, $O(nE)$ mensagens.
- **DV**, troca de mensagens somente entre vizinhos.

● Velocidade de convergência:

- **LS**, usa um algoritmo $O(n^2)$ e requer $O(nE)$ mensagens.
 - Pode haver oscilações.
- **DV**, Tempo de convergência varia e pode ter loops de roteamento e a contagem até o infinito.

Rede de Computadores

● Robustez:

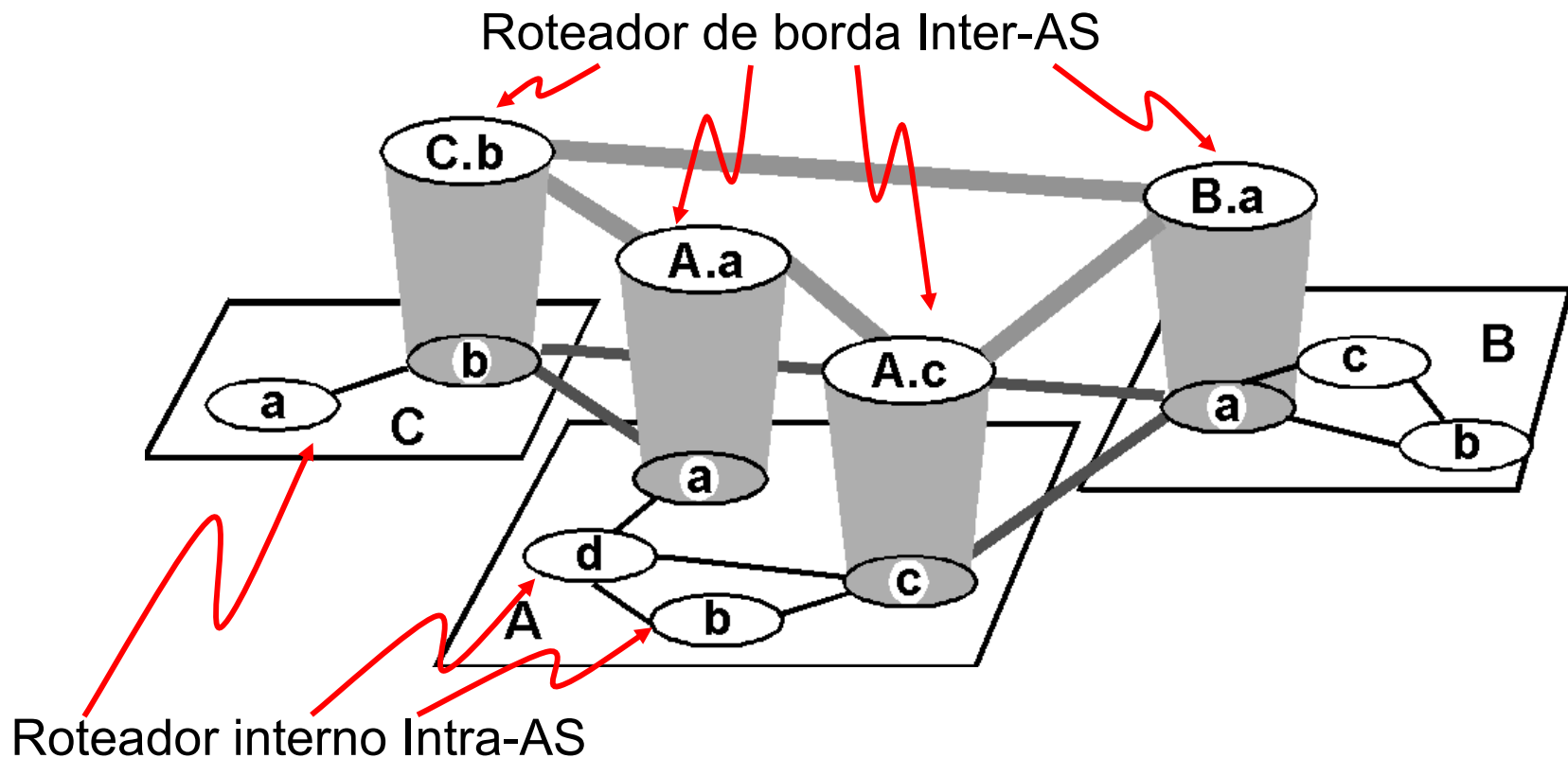
- **LS**, O roteador pode informar um custo de enlace incorreto, mas cada nó calcula somente suas próprias tabelas (oferecendo um certo grau de robustez).
- **DV**, O roteador pode informar caminhos de custo incorreto. Um cálculo incorreto é difundido para a rede inteira.

Sistemas Autônomos

- Os Sistemas Autônomos (*Autonomous Systems* – **AS's**) foram criados por várias razões, principais:
 - Escalabilidade, suportar o aumento constante na quantidade de roteadores;
 - Autonomia administrativa, um certo ISP pode querer usar um algoritmo de roteamento de sua escolha, assim como não deixar visível informações da estrutura de sua rede;
- O algoritmo que roda dentro de um AS é denominado protocolo de roteamento intra-sistema autônomo;
- Roteadores de borda (***Gateway Routers***), são os roteadores que interconectam os AS's;

Rede de Computadores

Sistemas Autônomos



Roteamento Intra-Sistema Autônomo

- *Interior Gateway Protocol* – **IGP**;

- Protocolos mais comuns:

- **RIP**;
- **OSPF**;
- **IGRP** (proprietário da CISCO);
- **EIGRP** (proprietário da CISCO);

Rede de Computadores

- Protocolo de Roteamento inter-AS, tem a função de obter informações sobre as condições de alcance de AS's vizinhos e propagar essas informações a todos os outros roteadores **internos a um AS**;

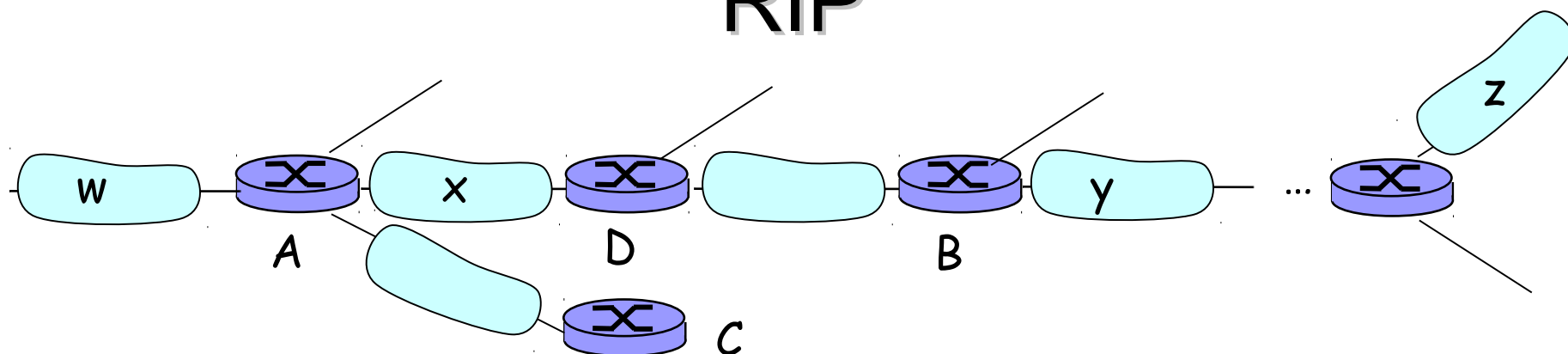
Rede de Computadores

RIP

- Protocolo de Informação de Roteamento (***Routing Information Protocol*** – RIP), RIP 1.0 RFC 1058, RIP 2.0 RFC 1723;
- Algoritmo do tipo vetor de distância;
- O RIP 1.0 baseia-se na contagem de saltos ou *hops* (sub-rede percorrida) como métrica de custo;
- Os custos são definidos desde um roteador de origem até uma sub-rede de destino;
- Custo máximo de um caminho é de 15 saltos;
- Troca de informações (tabela de roteamento) a cada 30 segundos, usando uma mensagem de resposta RIP (anúncios RIP);
- Cada anúncio RIP informa rotas para até 25 redes destino;

Rede de Computadores

RIP



Rede de Destino	Next Router	Num. de saltos para dest.
w	A	2
y	B	2
z	B	7
x	--	1
....		

Tabela de roteamento em D

Rede de Computadores

RIP

- Após 180 segundos sem atualizações de um vizinho:
 - O vizinho e o enlace são declarados mortos;
 - Rotas através deste vizinho são anuladas;
 - Novos anúncios são enviados quando as rotas são alteradas;
 - A falha de um enlace se propaga rapidamente pela rede;
 - **Poison Reverse**, é um algoritmo utilizado para prevenir *loops*, isto é, evitar que a rota para um destino passe pelo próprio roteador que está enviando a informação de distância (distância infinita == 16 saltos);

Rede de Computadores

Exemplo de Tabela RIP

Destination	Gateway	Flags	Ref	Use	Interface
-----	-----	-----	-----	-----	-----
127.0.0.1	127.0.0.1	UH	0	26492	lo0
192.168.2.	192.168.2.5	U	2	13	fa0
193.55.114.	193.55.114.6	U	3	58503	le0
192.168.3.	192.168.3.5	U	2	25	qaa0
224.0.0.0	193.55.114.6	U	3	0	le0
default	193.55.114.129	UG	0	143454	

- 3 endereços classe C diretamente conectadas;
- Rota default (padrão) rota para endereços que não se enquadrem nas demais rotas;
- Endereço de rota *multicast* 224.0.0.0;
- *Loopback interface* 127.0.0.1, para depuração;

Rede de Computadores

- O protocolo RIP usa a porta 520 e o UDP dentro de um pacote IP padrão para transportar os anúncios;
- É um protocolo da camada de aplicação;

OSPF

- ***Open Shortest Path First*** – OSPF, RFC 2178;
- Mais utilizado em ISP's de alto nível;
- Protocolo disponível ao público (aberto – *Open*);
- Usa um algoritmo do tipo *Link State* (LS):
 - Disseminação (*broadcast*) de pacotes LS;
 - Mapa topológico em cada nó;
 - Usa o algoritmo de Dijkstra para o cálculo da rota;
 - Custos dos enlaces determinados pelo administrador da rede;
- As informações de roteamento (anúncios OSPF) são distribuídos para todos os roteadores e não somente para os vizinhos;

Rede de Computadores

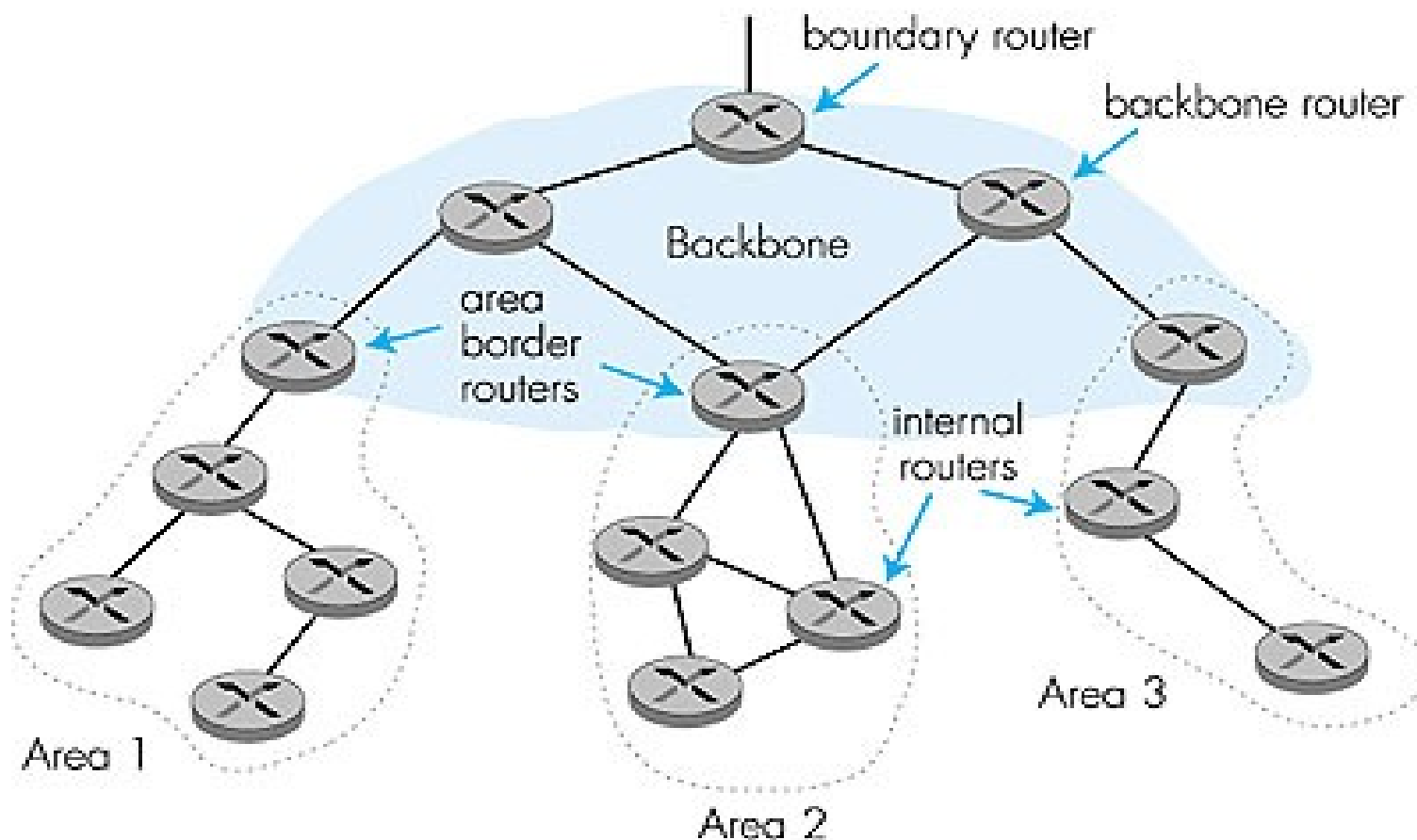
- É considerado robusto por monitorar de forma constante o estado dos enlaces;
- Não impõe uma política para o modo como são determinados os pesos;
- Transmite informações de estado do enlace sempre que houver mudanças, caso contrário, a cada 30 minutos envia informações de estado.
- Os anúncios OSPF são transmitidos diretamente em pacotes IP, com um código de protocolo de camada superior igual a 89.
- O próprio protocolo tem que implementar funcionalidades como transferência confiável de dados e transmissão *broadcast* de estado de enlace.

Avanços do OSPF

- **Segurança**, trocas de dados autenticadas, podendo ser usada a autenticação simples ou a MD5 (através de chaves secretas compartilhadas), usa TCP para transporte de mensagens (porta 89);
- **Caminhos múltiplos de igual custo**, quando vários caminhos possuem o mesmo custo a carga é distribuída entre eles;
- **Múltiplas métricas para o mesmo enlace**, a serem usadas de acordo com o tipo do serviço (*Type Of Service – TOS*);
- **Suporte a roteamento *unicast* e *multicast***, através do OSPF *Multicast* (**MOSPF**) utilizando a mesma base de dados topológica do OSPF (RFC 1584);
- **Suporte a hierarquia dentro de um único domínio de roteamento**, capacidade de estruturar hierarquicamente um AS.

Rede de Computadores

Rede OSPF Hierarquicamente Estruturada



Rede OSPF Hierarquicamente Estruturada

- Hierarquia de dois níveis, área local e *backbone*;
 - Os anúncios de LS são enviados somente para roteadores dentro da mesma área local;
 - Cada nó tem uma visão detalhada da sua área e apenas caminhos mais curtos para outras redes;
- **Area borders routers** (roteadores de borda de área), conectam a área ao *backbone*, são responsáveis por rotear os pacotes para fora da área local;
- **Backbone routers**, responsáveis pelo roteamento de pacotes entre as áreas;
- **Bondary routers** (roteadores de borda), responsáveis por fornecer a conexão entre AS's;
- **Internal routers** (roteadores internos), contêm informações de sua área somente;

IGRP

- ***Interior Gateway Routing Protocol*** – IGRP, protocolo de roteamento proprietário da CISCO;
- Um protocolo de vetor de distância, mas possui uma métrica composta (atraso, banda, confiabilidade, carga...);
- Usa o TCP para trocar informações;

BGP

- Protocolo de Roteador de Borda (***Border Gateway Protocol*** – BGP), RFC 1771, RFC 1772 e RFC 1773;
- A versão 4 do BGP (BGP4) é o padrão para roteamento entre AS's na internet;
- **Algoritmo *Path Vector*** (vetor de caminho):
 - Similar ao protocolo *Distance Vector*;
 - Cada roteador de borda envia nos seus *broadcasts* aos seus vizinhos o caminho inteiro (a sequência de AS's) até o destino;

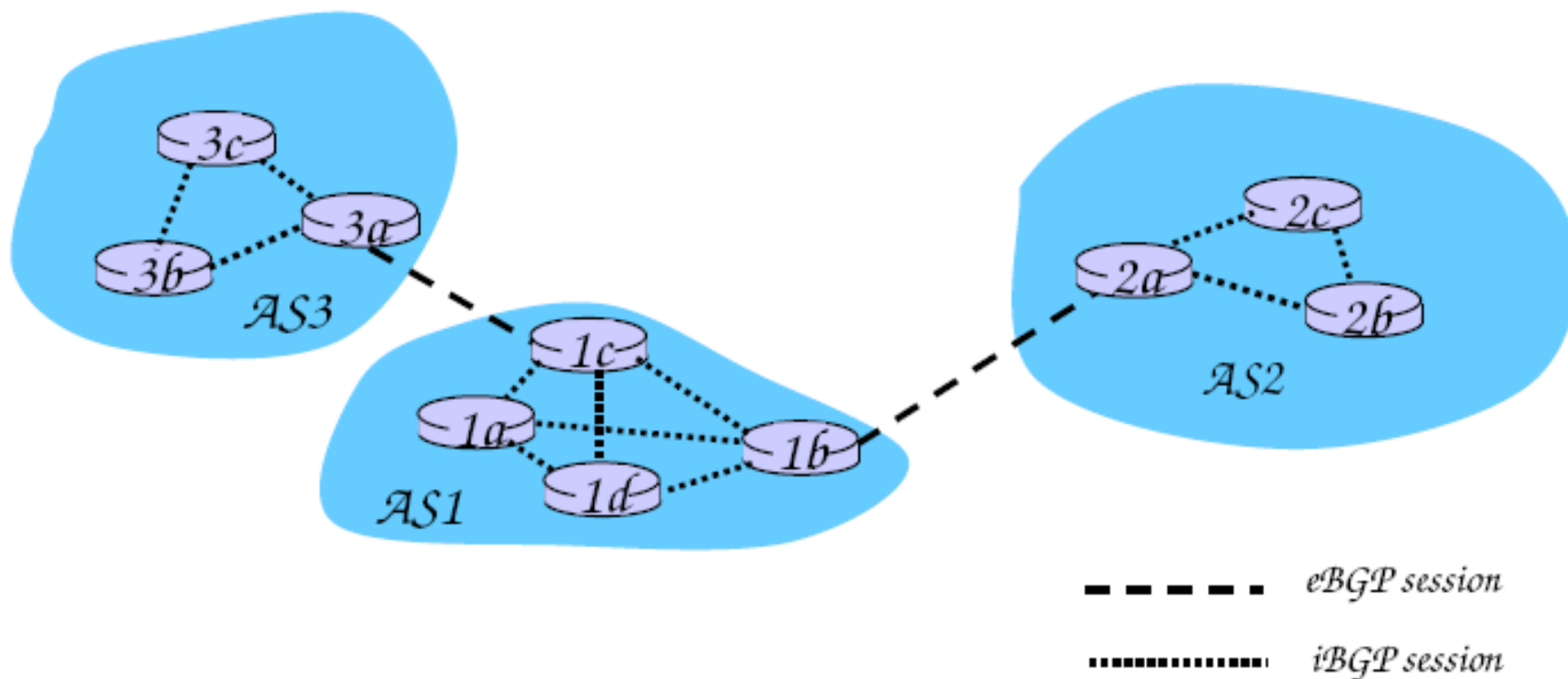
BGP

- Trabalha com prefixos de rede “ciderizados”;
- Utiliza conexões semipermanentes TCP (porta 179) para transferência de informações entre roteadores (podem ocorrer inter-AS ou intra-AS);
- Todo AS é identificado por um número de sistema autônomo (***Autonomous System Number – ASN***);

Rede de Computadores

- **Sessão BGP**, conexão TCP semipermanente entre dois roteadores.
- **Sessão BGP externa (eBGP)**, sessão entre roteadores de diferentes AS's.
- **Sessão BGP interna (iBGP)**, sessão entre roteadores dentro de um mesmo AS.
- Permite que cada AS conheça quais **destinos** podem ser alcançados via seus **AS's vizinhos**.
- **Os destinos são prefixos cidetizados.**

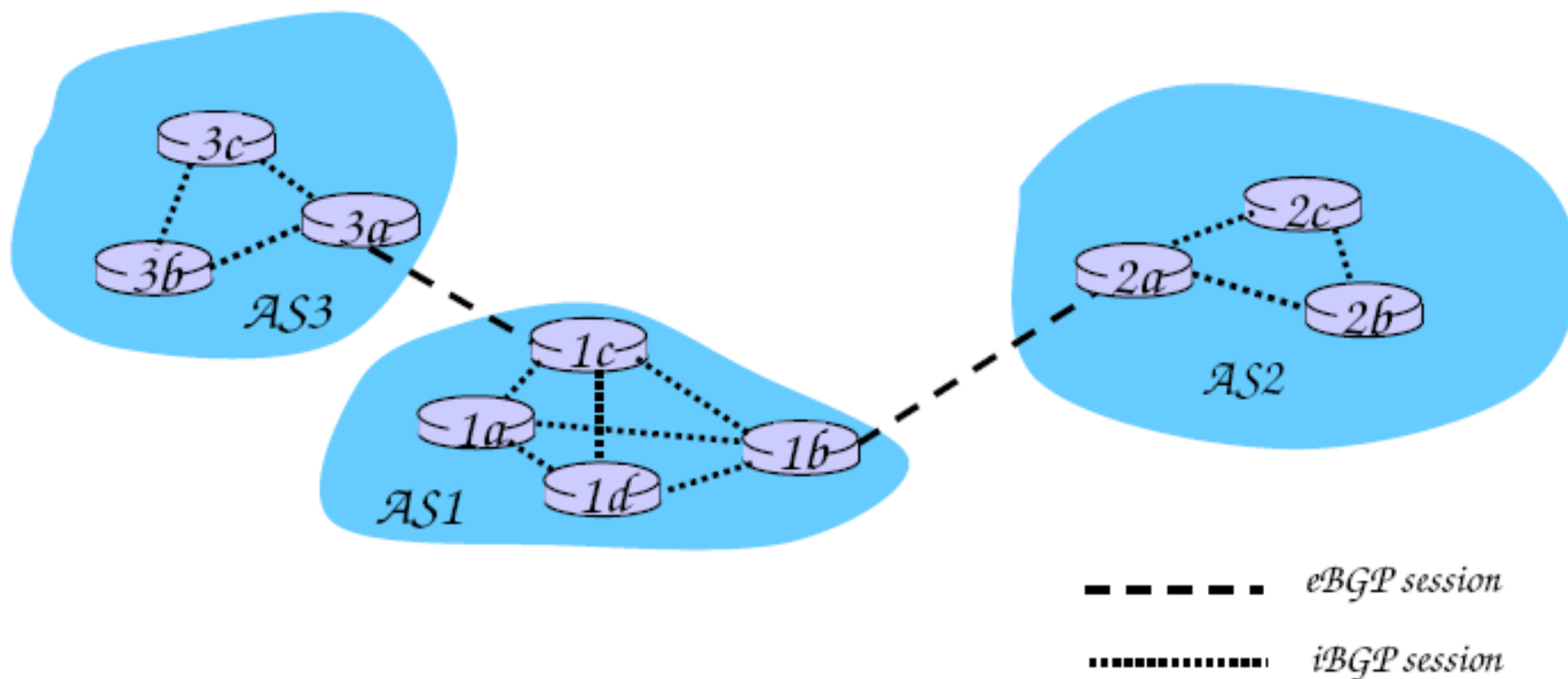
Rede de Computadores



BGP

- Quando um roteador anuncia um prefixo de rede através de uma sessão BGP, são enviados vários atributos, entre eles os mais importantes são:
- **AS-PATH**, contém os AS's pelos quais passou o anúncio para o prefixo, usado para evitar loops de anúncios;
- **NEXT-HOP**, informa por qual endereço o anúncio foi enviado (para indicar a interface pela qual foi enviado o anúncio);

Rede de Computadores



BGP – Seleção de Rota

- Para determinar qual rota utilizar, o BGP se vale algumas regras, entre elas:
 - 1) Valor de preferência indicada pelo administrador da rede;
 - 2) Rota com o AS-PATH mais curto;
 - 3) Rota com o NEXT-HOP mais próximo (caminho de menor custo determinado pelo algoritmo Intra-AS);
 - 4) Se houver mais de uma rota, são utilizados identificadores BGP para selecionar a rota.