Algoritmos de Roteamento

Pedro Paulo V. Campos
Tarcísio Eduardo M. Crocomo

10 de novembro de 2010

Sumário

Sumário

Motivação

```
traceroute to nhk.co.jp (61.58.37.103)
1 192.168.1.254 0.150 ms
2 roteador.inf.ufsc.br 1.835 ms
3 npd252e1-1gb-npd254rs.bb.ufsc.br 5.233 ms
4 popsc-1g-ufsc-(...)-r250.bb.pop-sc.rnp.br 5.939 ms
5 rnp-2g-194-251-v40-r251.bb.pop-sc.rnp.br 6.613 ms
6 so-1-0-0-r1-rs.bkb.rnp.br 11.776 ms
7 so-0-0-0-r1-df.bkb.rnp.br 51.419 ms
8 so-0-2-0-r1-sp.bkb.rnp.br 66.531 ms
(...)
16 xe-0-1-0.r21.miamfl02.us.bb.gin.ntt.net 177.438 ms
(...)
20 as-1.r21.osakjp01.jp.bb.gin.ntt.net 396.762 ms
21 ae-2.r23.tokyjp01.jp.bb.gin.ntt.net 374.946 ms
22 129.250.3.75 407.060 ms
23 xe-1-1-0.a05.taiptw01.tw.ra.gin.ntt.net 430.482 ms
(...)
27 nhk-grp.jp 408.878 ms
```

O Roteador

Figura: DI-604: 100 Mbps, $60

O Roteador

Figura: Cisco CRS-3: 322 Tbps, $60.000

Desafios

Correção Fornecer não apenas uma rota válida mas a melhor

Escalabilidade Tamanho de rede variável. Algoritmos eficientes

Estabilidade Rápida adaptação a mudanças ou problemas na rede

Robustez Funcionar por anos sem necessitar reinicialização

Justiça Visar eficiência global sem gerar starvation

Desafios

Correção Fornecer não apenas uma rota válida mas a melhor

Escalabilidade Tamanho de rede variável. Algoritmos eficientes

Estabilidade Rápida adaptação a mudanças ou problemas na rede

Robustez Funcionar por anos sem necessitar reinicialização

Justiça Visar eficiência global sem gerar starvation

Desafios

Correção Fornecer não apenas uma rota válida mas a melhor

Escalabilidade Tamanho de rede variável. Algoritmos eficientes

Estabilidade Rápida adaptação a mudanças ou problemas na rede

Robustez Funcionar por anos sem necessitar reinicialização

Justiça Visar eficiência global sem gerar starvation

Desafios

Correção Fornecer não apenas uma rota válida mas a melhor

Escalabilidade Tamanho de rede variável. Algoritmos eficientes

Estabilidade Rápida adaptação a mudanças ou problemas na rede

Robustez Funcionar por anos sem necessitar reinicialização

Justiça Visar eficiência global sem gerar starvation

Desafios

Correção Fornecer não apenas uma rota válida mas a melhor

Escalabilidade Tamanho de rede variável. Algoritmos eficientes

Estabilidade Rápida adaptação a mudanças ou problemas na rede

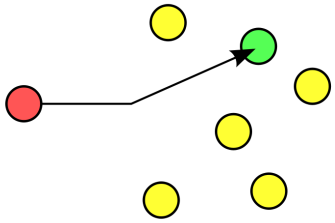
Robustez Funcionar por anos sem necessitar reinicialização

Justiça Visar eficiência global sem gerar starvation

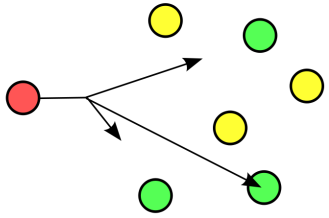
Sumário

Modelos de Troca de Dados

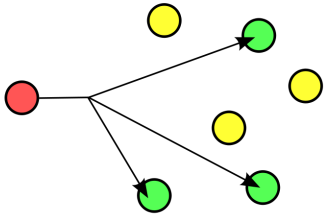
Unicast



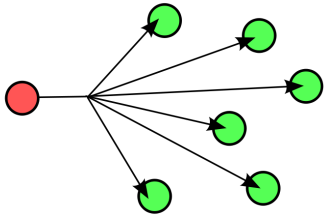
Anycast



Multicast



Broadcast



Métricas para Classificação de Rotas

- Número de hops
- Largura de banda
- Custo (monetário)

Métricas para Classificação de Rotas

- Número de hops
- Largura de banda
- Custo (monetário)

Métricas para Classificação de Rotas

- Número de hops
- Largura de banda
- Custo (monetário)

Sistemas Autônomos

- Como tornar escalável e administrável um conjunto de ~2bi de computadores interconectados?
- Solução: Agrupar em um SA redes operadas por um ou mais operadores que apresentam uma única política clara de roteamento.
- Exemplo: AS11242 - POP-SC - Responsável por 73728 IPs

Sistemas Autônomos

- Como tornar escalável e administrável um conjunto de ~2bi de computadores interconectados?
- Solução: Agrupar em um SA redes operadas por um ou mais operadores que apresentam uma única política clara de roteamento.
- Exemplo: AS11242 - POP-SC - Responsável por 73728 IPs

Sistemas Autônomos

- Como tornar escalável e administrável um conjunto de ~2bi de computadores interconectados?
- Solução: Agrupar em um SA redes operadas por um ou mais operadores que apresentam uma única política clara de roteamento.
- Exemplo: AS11242 - POP-SC - Responsável por 73728 IPs

Classificação de Protocolos de Roteamento

Quanto à Vizinhança

Externos

G(V,A)

V = {v | v é um sistema autônomo}

A = {(v_1, v_2, m) | v_1, $v_2 \in$ V, há uma ligação direta entre v_1 e v_2 com um custo m}

Internos

G(V,A)

V = {v | v é nodo da rede de um sistema autônomo}

A = {(v_1, v_2, m) | v_1, $v_2 \in$ V, há uma ligação direta entre v_1 e v_2 com um custo m}

Classificação de Protocolos de Roteamento

Quanto à Vizinhança

Externos

G(V,A)

V = {v | v é um sistema autônomo}

A = {(v_1, v_2, m) | v_1, $v_2 \in$ V, há uma ligação direta entre v_1 e v_2 com um custo m}

Internos

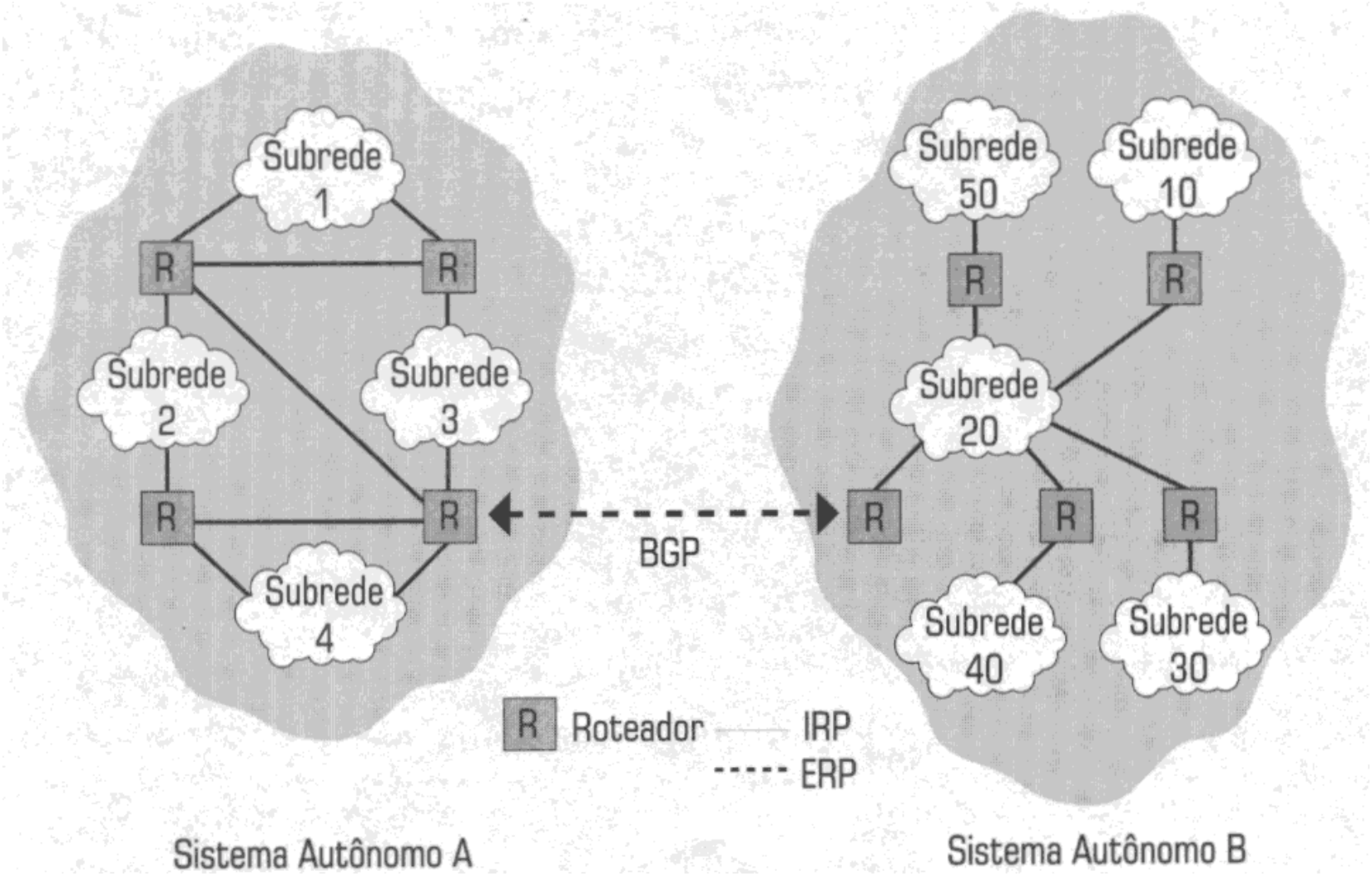
G(V,A)

V = {v | v é nodo da rede de um sistema autônomo}

A = {(v_1, v_2, m) | v_1, $v_2 \in$ V, há uma ligação direta entre v_1 e v_2 com um custo m}

Classificação de Protocolos de Roteamento

Quanto à Vizinhança



Classificação de Protocolos de Roteamento

Quanto à Escolha de Rotas

- Estáticos (Não adaptativos)
  - Menor caminho
  - *Flooding*
  - Baseado em Fluxo (*Flow-based*)
- Dinâmicos (Adaptativos)
  - Vetor distância
  - Estado do *link* (*Link State*)
  - Hierárquico

Classificação de Protocolos de Roteamento

Quanto à Escolha de Rotas

- Estáticos (Não adaptativos)
  - Menor caminho
  - *Flooding*
  - Baseado em Fluxo (*Flow-based*)
- Dinâmicos (Adaptativos)
  - Vetor distância
  - Estado do *link* (*Link State*)
  - Hierárquico

Classificação de Protocolos de Roteamento

Quanto à Escolha de Rotas

- Estáticos (Não adaptativos)
  - Menor caminho
  - *Flooding*
  - Baseado em Fluxo (*Flow-based*)
- Dinâmicos (Adaptativos)
  - Vetor distância
  - Estado do *link* (*Link State*)
  - Hierárquico

Classificação de Protocolos de Roteamento

Quanto à Escolha de Rotas

- Estáticos (Não adaptativos)
  - Menor caminho
  - *Flooding*
  - Baseado em Fluxo (*Flow-based*)
- Dinâmicos (Adaptativos)
  - Vetor distância
  - Estado do *link* (*Link State*)
  - Hierárquico

Classificação de Protocolos de Roteamento

Quanto à Escolha de Rotas

- Estáticos (Não adaptativos)
  - Menor caminho
  - *Flooding*
  - Baseado em Fluxo (*Flow-based*)
- Dinâmicos (Adaptativos)
  - Vetor distância
  - Estado do *link* (*Link State*)
  - Hierárquico

Classificação de Protocolos de Roteamento

Quanto à Escolha de Rotas

- Estáticos (Não adaptativos)
  - Menor caminho
  - *Flooding*
  - Baseado em Fluxo (*Flow-based*)
- Dinâmicos (Adaptativos)
  - Vetor distância
  - Estado do *link* (*Link State*)
  - Hierárquico

Classificação de Protocolos de Roteamento

Quanto à Escolha de Rotas

- Estáticos (Não adaptativos)
  - Menor caminho
  - *Flooding*
  - Baseado em Fluxo (*Flow-based*)
- Dinâmicos (Adaptativos)
  - Vetor distância
  - Estado do *link* (*Link State*)
  - Hierárquico

Classificação de Protocolos de Roteamento

Quanto à Escolha de Rotas

- Estáticos (Não adaptativos)
  - Menor caminho
  - *Flooding*
  - Baseado em Fluxo (*Flow-based*)
- Dinâmicos (Adaptativos)
  - Vetor distância
  - Estado do *link* (*Link State*)
  - Hierárquico

Rotas Ótimas

- É possível criar uma descrição das rotas ótimas sem levar em conta a topologia da rede?
- Como medir a qualidade de um algoritmo de roteamento?

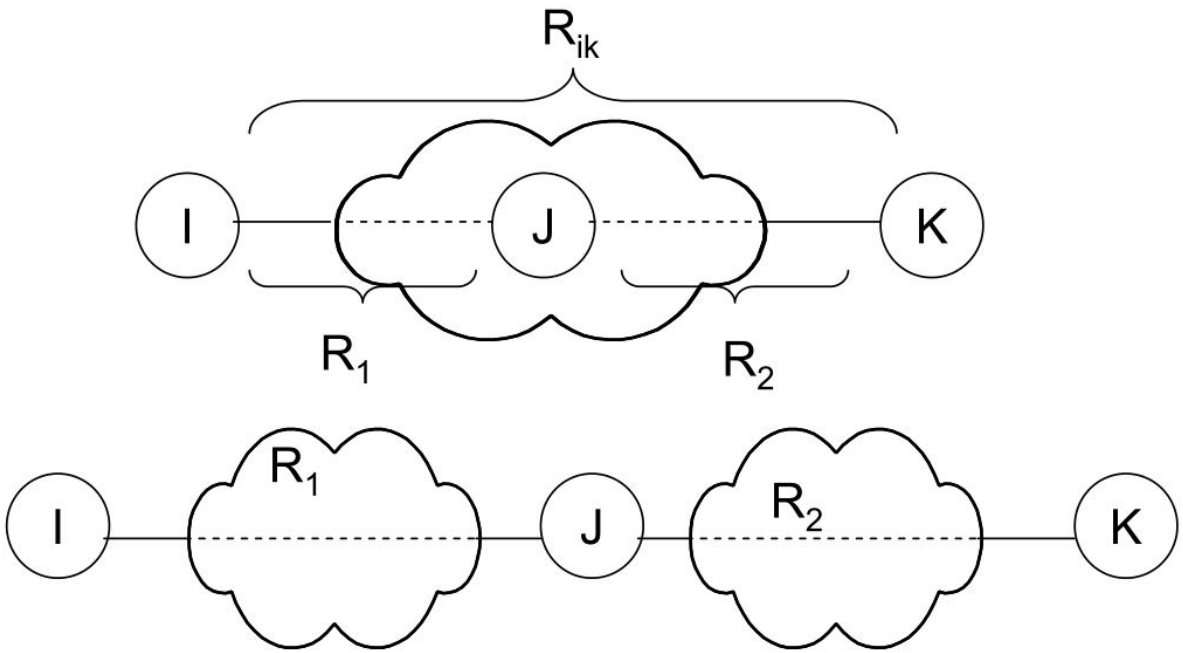
Rotas Ótimas

- É possível criar uma descrição das rotas ótimas sem levar em conta a topologia da rede?
- Como medir a qualidade de um algoritmo de roteamento?

Princípio de Otimização

Teorema

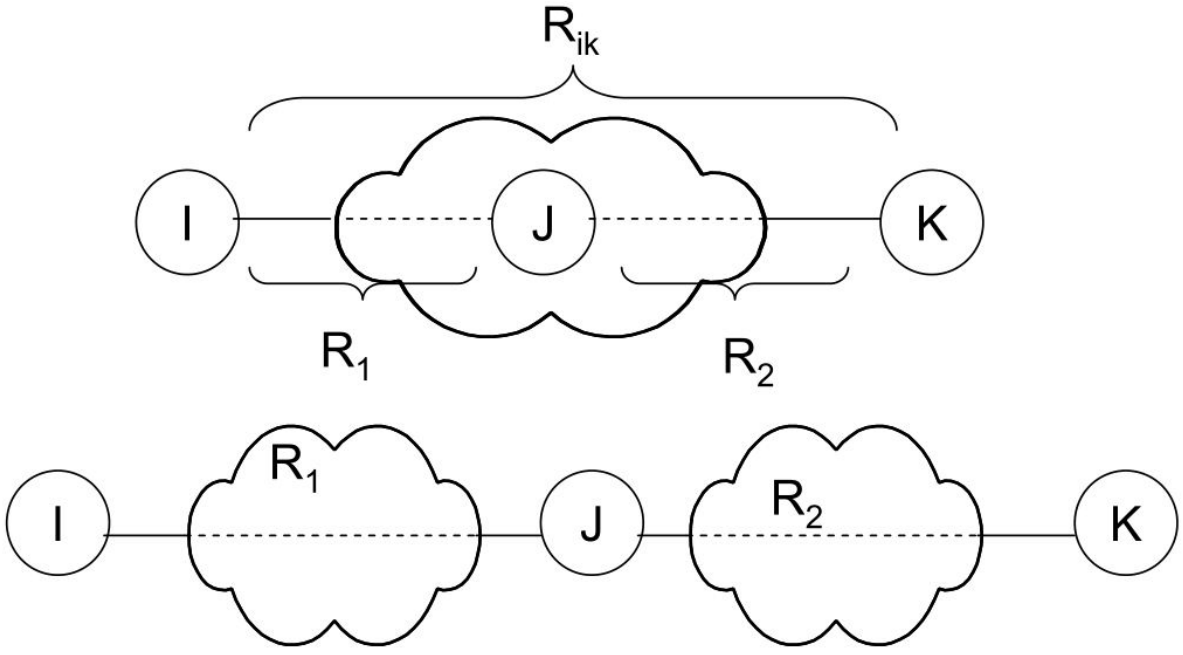
Se um roteador *J* estiver no caminho ótimo entre os roteadores *I* e *K*, o caminho ótimo de *J* a *K* também estará na mesma rota.



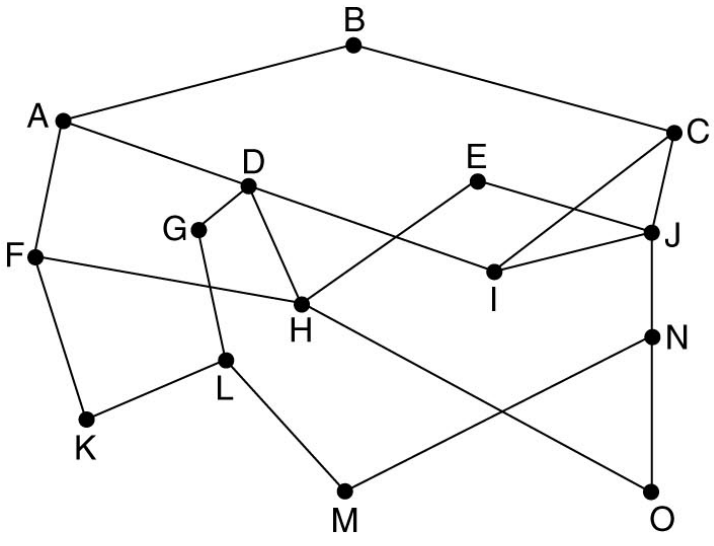
Princípio de Otimização

Prova (por contradição)

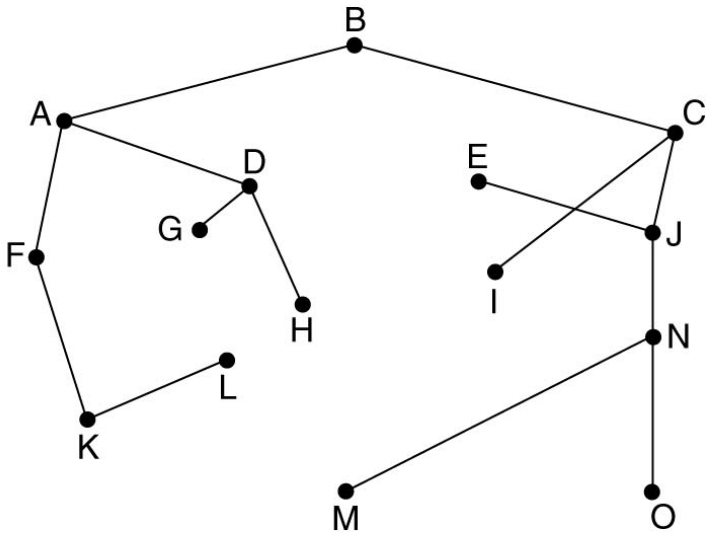
Se houvesse uma rota melhor que a enunciada entre J e K, ela poderia ser concatenada a R_1 para criar uma rota melhor entre I e K, contradizendo a afirmação que a rota R_{ik} é ótima.



Árvore de Escoamento



(a)



(b)

Sumário

Menor Caminho

- Um dos algoritmos mais simples
- A partir do modelo de grafos de uma rede interna gera uma sequência de nodos a serem percorridos para um pacote sair da origem e chegar ao destino.
- Algoritmo global, conhecimento completo do grafo
- Calculado de maneira centralizada e distribuída para os roteadores
- Algoritmo de Dijkstra

Menor Caminho

- Um dos algoritmos mais simples
- A partir do modelo de grafos de uma rede interna gera uma sequência de nodos a serem percorridos para um pacote sair da origem e chegar ao destino.
- Algoritmo global, conhecimento completo do grafo
- Calculado de maneira centralizada e distribuída para os roteadores
- Algoritmo de Dijkstra

Menor Caminho

- Um dos algoritmos mais simples
- A partir do modelo de grafos de uma rede interna gera uma sequência de nodos a serem percorridos para um pacote sair da origem e chegar ao destino.
- Algoritmo global, conhecimento completo do grafo
- Calculado de maneira centralizada e distribuída para os roteadores
- Algoritmo de Dijkstra

Menor Caminho

- Um dos algoritmos mais simples
- A partir do modelo de grafos de uma rede interna gera uma sequência de nodos a serem percorridos para um pacote sair da origem e chegar ao destino.
- Algoritmo global, conhecimento completo do grafo
- Calculado de maneira centralizada e distribuída para os roteadores
- Algoritmo de Dijkstra

Menor Caminho

- Um dos algoritmos mais simples
- A partir do modelo de grafos de uma rede interna gera uma sequência de nodos a serem percorridos para um pacote sair da origem e chegar ao destino.
- Algoritmo global, conhecimento completo do grafo
- Calculado de maneira centralizada e distribuída para os roteadores
- Algoritmo de Dijkstra

Flooding

- Envia pacotes para todos os vizinhos, exceto pra de onde ele veio
- Necessita de controle para evitar o envio de infinitos pacotes
- Não costuma ser prático, exceto quando seu efeito é efetivamente o desejado
- Escolhe o menor caminho, pois escolhe todos simultaneamente

Flooding

- Envia pacotes para todos os vizinhos, exceto pra de onde ele veio
- Necessita de controle para evitar o envio de infinitos pacotes
- Não costuma ser prático, exceto quando seu efeito é efetivamente o desejado
- Escolhe o menor caminho, pois escolhe todos simultaneamente

Flooding

- Envia pacotes para todos os vizinhos, exceto pra de onde ele veio
- Necessita de controle para evitar o envio de infinitos pacotes
- Não costuma ser prático, exceto quando seu efeito é efetivamente o desejado
- Escolhe o menor caminho, pois escolhe todos simultaneamente

Flooding

- Envia pacotes para todos os vizinhos, exceto pra de onde ele veio
- Necessita de controle para evitar o envio de infinitos pacotes
- Não costuma ser prático, exceto quando seu efeito é efetivamente o desejado
- Escolhe o menor caminho, pois escolhe todos simultaneamente

Baseado em Fluxo

- Conta carga da rede junto da topologia
- Fluxo médio conhecido anteriormente
- Cálculo do atraso médio entre nodos
- Algoritmo que determine menor atraso médio determina o roteamento

Baseado em Fluxo

- Conta carga da rede junto da topologia
- Fluxo médio conhecido anteriormente
- Cálculo do atraso médio entre nodos
- Algoritmo que determine menor atraso médio determina o roteamento

Baseado em Fluxo

- Conta carga da rede junto da topologia
- Fluxo médio conhecido anteriormente
- Cálculo do atraso médio entre nodos
- Algoritmo que determine menor atraso médio determina o roteamento

Baseado em Fluxo

- Conta carga da rede junto da topologia
- Fluxo médio conhecido anteriormente
- Cálculo do atraso médio entre nodos
- Algoritmo que determine menor atraso médio determina o roteamento

Sumário

Vetor Distância

- Algoritmo distribuído
- Cada roteador possui uma tabela (vetor) contendo a melhor distância conhecida até cada destino e a linha de saída preferencial utilizada para alcançá-lo.
- Utilizado na ARPANET: *Routing Information Protocol* (RIP)
- Objetivo: Encontrar o menor caminho
  - Algoritmo de Bellman-Ford

Vetor Distância

- Algoritmo distribuído
- Cada roteador possui uma tabela (vetor) contendo a melhor distância conhecida até cada destino e a linha de saída preferencial utilizada para alcançá-lo.
- Utilizado na ARPANET: *Routing Information Protocol* (RIP)
- Objetivo: Encontrar o menor caminho
  - Algoritmo de Bellman-Ford

Vetor Distância

- Algoritmo distribuído
- Cada roteador possui uma tabela (vetor) contendo a melhor distância conhecida até cada destino e a linha de saída preferencial utilizada para alcançá-lo.
- Utilizado na ARPANET: *Routing Information Protocol* (RIP)
- Objetivo: Encontrar o menor caminho
  - Algoritmo de Bellman-Ford

Vetor Distância

- Algoritmo distribuído
- Cada roteador possui uma tabela (vetor) contendo a melhor distância conhecida até cada destino e a linha de saída preferencial utilizada para alcançá-lo.
- Utilizado na ARPANET: *Routing Information Protocol* (RIP)
- Objetivo: Encontrar o menor caminho
  - Algoritmo de Bellman-Ford

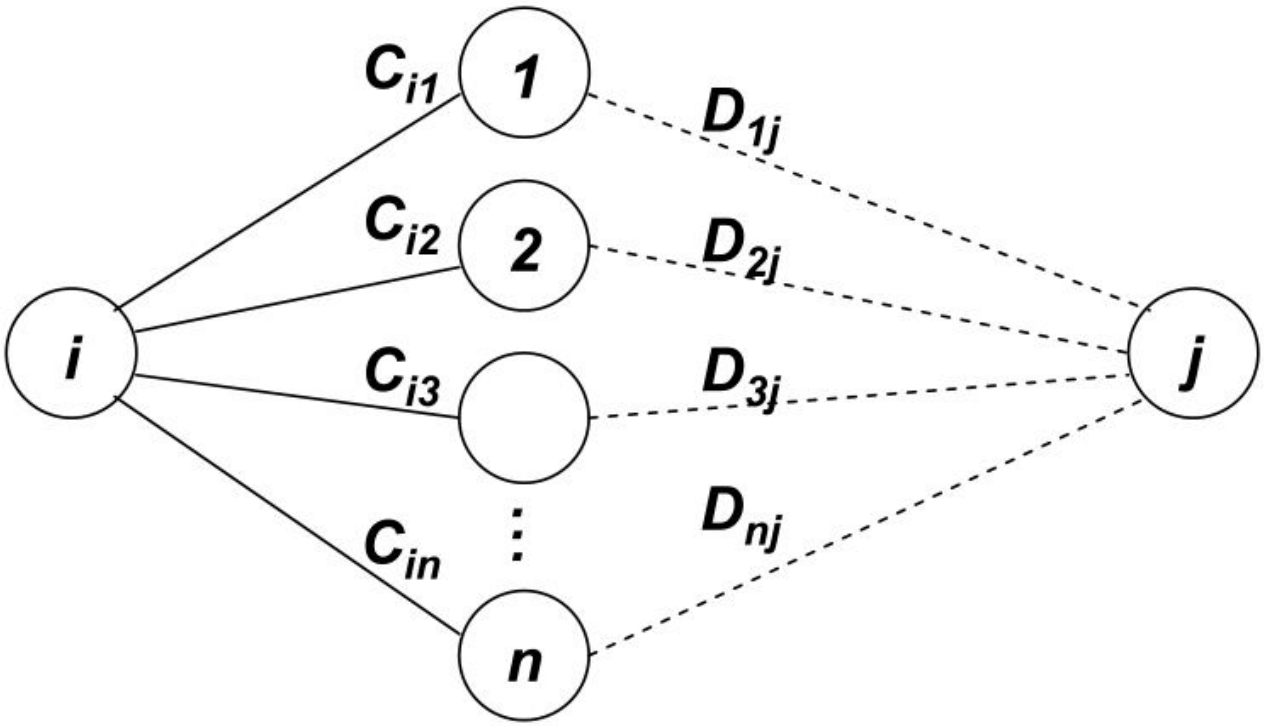
Vetor Distância

- Algoritmo distribuído
- Cada roteador possui uma tabela (vetor) contendo a melhor distância conhecida até cada destino e a linha de saída preferencial utilizada para alcançá-lo.
- Utilizado na ARPANET: *Routing Information Protocol* (RIP)
- Objetivo: Encontrar o menor caminho
  - Algoritmo de Bellman-Ford

Algoritmo de Bellman-Ford

Princípio

Se os vizinhos de um nodo *i* conhecem um caminho até um nodo *j*, a menor distância entre o nodo *i* e *j* é obtido encontrando o menor valor resultante da soma da distância de *i* até um vizinho e deste até *j*.



Algoritmo

Bellman-Ford(G, w, s)
Initialize-Single-Source(G, s)
for i $\leftarrow$ 1 to $|V[G]|$ - 1 **do**
  for all (u, v) $\leftarrow$ E[G] **do**
    ...
  end for
end for
for all (u, v) $\leftarrow$ E[G] **do**
  if d[v] $>$ d[u] + w(u, v) **then**
    ...
  end if
end for
return TRUE

Algoritmo

Bellman-Ford(G, w, s)
Initialize-Single-Source(G, s)
for i $\leftarrow$ 1 to $|V[G]|$ - 1 **do**
  for all (u, v) $\leftarrow$ E[G] **do**
    ...
  end for
end for
for all (u, v) $\leftarrow$ E[G] **do**
  if d[v] $>$ d[u] + w(u, v) **then**
    ...
  end if
end for
return TRUE

Algoritmo

Bellman-Ford(G, w, s)
Initialize-Single-Source(G, s)
for i $\leftarrow$ 1 to $|V[G]|$ - 1 **do**
  for all (u, v) $\leftarrow$ E[G] **do**
    ...
  end for
end for
for all (u, v) $\leftarrow$ E[G] **do**
  if d[v] $>$ d[u] + w(u, v) **then**
    ...
  end if
end for
return TRUE

Algoritmo

Bellman-Ford(G, w, s)
Initialize-Single-Source(G, s)
for i $\leftarrow$ 1 to $|V[G]|$ - 1 **do**
  for all (u, v) $\leftarrow$ E[G] **do**
    Relax(u, v)
  end for
end for
for all (u, v) $\leftarrow$ E[G] **do**
  if d[v] $>$ d[u] + w(u, v) **then**

  end if
end for
return TRUE

Algoritmo

Bellman-Ford(G, w, s)
Initialize-Single-Source(G, s)
for i $\leftarrow$ 1 to $|V[G]|$ - 1 **do**
  for all (u, v) $\leftarrow$ E[G] **do**
    Relax(u, v)
  end for
end for
for all (u, v) $\leftarrow$ E[G] **do**
  if d[v] $>$ d[u] + w(u, v) **then**

  end if
end for
return TRUE

Algoritmo

Bellman-Ford(G, w, s)
Initialize-Single-Source(G, s)
for i $\leftarrow$ 1 to $|V[G]|$ - 1 **do**
  for all (u, v) $\leftarrow$ E[G] **do**
    Relax(u, v)
  end for
end for
for all (u, v) $\leftarrow$ E[G] **do**
  if d[v] $>$ d[u] + w(u, v) **then**
  end if
end for
return TRUE

Algoritmo

```
Bellman-Ford(G, w, s)
Initialize-Single-Source(G, s)
for i ← 1 to |V[G]| - 1 do
    for all (u, v) ← E[G] do
        Relax(u, v)
    end for
end for
for all (u, v) ← E[G] do
    if d[v] > d[u] + w(u, v) then


    end if
end for
return TRUE
```

Algoritmo

Bellman-Ford(G, w, s)
Initialize-Single-Source(G, s)
for i $\leftarrow$ 1 to $|V[G]|$ - 1 **do**
  for all (u, v) $\leftarrow$ E[G] **do**
    Relax(u, v)
  end for
end for
for all (u, v) $\leftarrow$ E[G] **do**
  if d[v] $>$ d[u] + w(u, v) **then**
  end if
end for
return TRUE

Algoritmo

```
Bellman-Ford(G, w, s)
Initialize-Single-Source(G, s)
for i ← 1 to |V[G]| - 1 do
    for all (u, v) ← E[G] do
        Relax(u, v)
    end for
end for
for all (u, v) ← E[G] do
    if d[v] > d[u] + w(u, v) then
        return FALSE
    end if
end for
return TRUE
```

Algoritmo

Bellman-Ford(G, w, s)
Initialize-Single-Source(G, s)
for i $\leftarrow$ 1 to $|V[G]|$ - 1 **do**
  for all (u, v) $\leftarrow$ E[G] **do**
    Relax(u, v)
  end for
end for
for all (u, v) $\leftarrow$ E[G] **do**
  if d[v] > d[u] + w(u, v) **then**
    return FALSE
  end if
end for
return TRUE

Algoritmo

Bellman-Ford(G, w, s)
Initialize-Single-Source(G, s)
for i $\leftarrow$ 1 to $|V[G]|$ - 1 **do**
  for all (u, v) $\leftarrow$ E[G] **do**
    Relax(u, v)
  end for
end for
for all (u, v) $\leftarrow$ E[G] **do**
  if d[v] > d[u] + w(u, v) **then**
    return FALSE
  end if
end for
return TRUE

Algoritmo

Bellman-Ford(G, w, s)
Initialize-Single-Source(G, s)
for i $\leftarrow$ 1 to $|V[G]|$ - 1 **do**
  for all (u, v) $\leftarrow$ E[G] **do**
    Relax(u, v)
  end for
end for
for all (u, v) $\leftarrow$ E[G] **do**
  if d[v] > d[u] + w(u, v) **then**
    return FALSE
  end if
end for
return TRUE

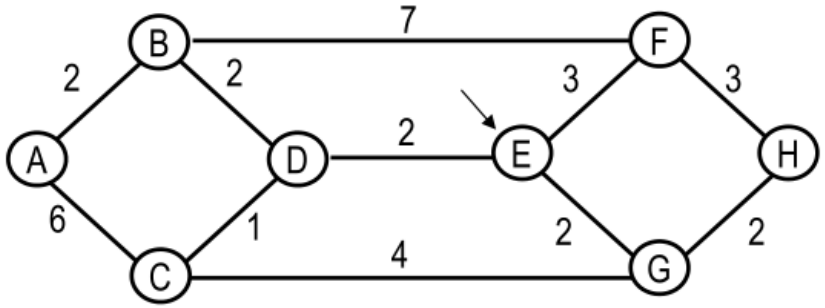
Algoritmo

```
Bellman-Ford(G, w, s)
Initialize-Single-Source(G, s)
for i ← 1 to |V[G]| - 1 do
    for all (u, v) ← E[G] do
        Relax(u, v)
    end for
end for
for all (u, v) ← E[G] do
    if d[v] > d[u] + w(u, v) then
        return FALSE
    end if
end for
return TRUE
```

Algoritmo

Bellman-Ford(G, w, s)
Initialize-Single-Source(G, s)
for i $\leftarrow$ 1 to $|V[G]|$ - 1 **do**
  for all (u, v) $\leftarrow$ E[G] **do**
    Relax(u, v)
  end for
end for
for all (u, v) $\leftarrow$ E[G] **do**
  if d[v] > d[u] + w(u, v) **then**
    return FALSE
  end if
end for
return TRUE

Vetor Distância



$C^E(v)$

D	2
F	3
G	2

Custo do enlace

$C^D(d)$

A	4
B	2
C	1
D	0
E	2
F	9
G	5
H	7

$C^F(d)$

A	9
B	7
C	9
D	9
E	3
F	0
G	5
H	4

$C^G(d)$

A	9
B	7
C	4
D	5
E	2
F	5
G	0
H	2

Vetores de distância vizinhos imediatos

$D^E(d,v)$

	D	F	G
A	6	12	11
B	4	10	9
C	3	12	6
D	2	12	7
E	-	-	-
F	11	3	7
G	7	8	2
H	9	7	4

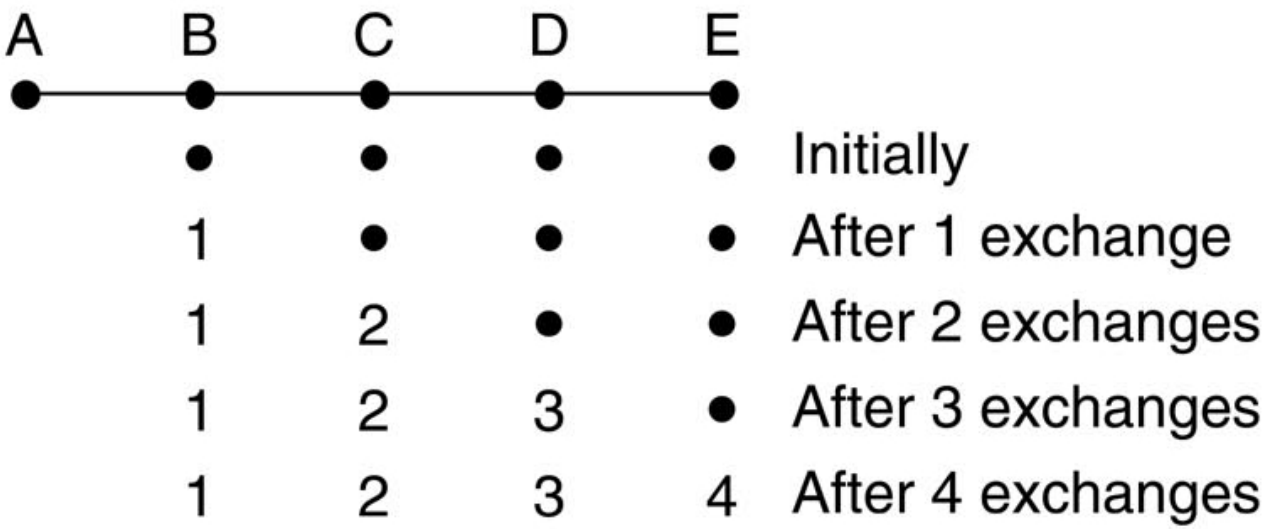
$C^E(D)+C^D(d)$ $C^E(F)+C^F(d)$ $C^E(G)+C^G(d)$

Tabela de Roteamento E

Dst	custo, via
A	6,D
B	4,D
C	3,D
D	2,D
E	-,-
F	3,F
G	2,G
H	4,G

Convergência do Vetor Distância

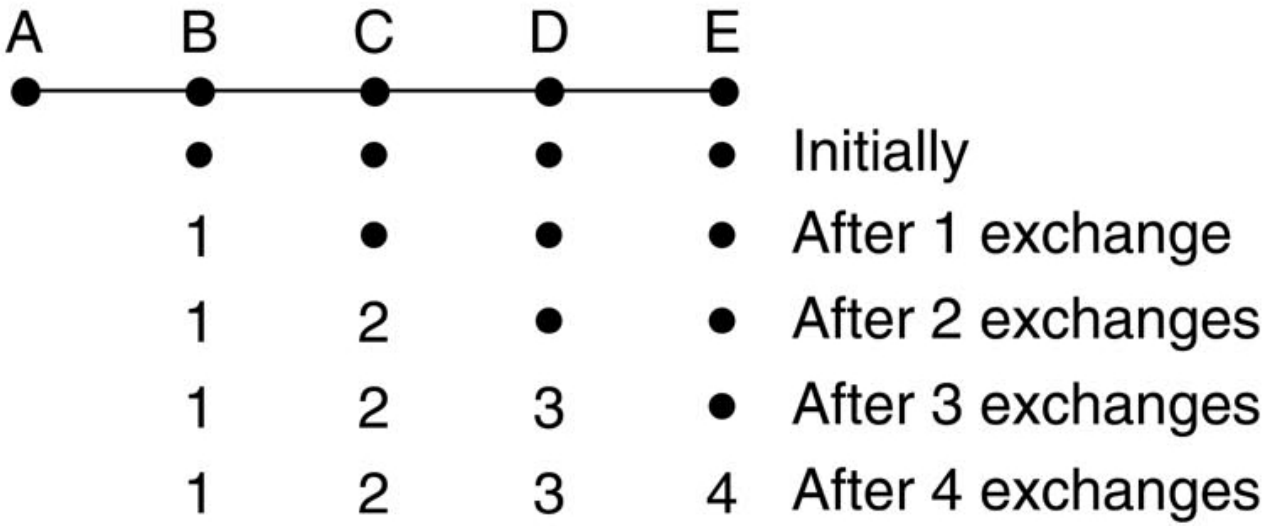
- Vetor distância reage bem (linearmente) a boas notícias:



- Já a más notícias...

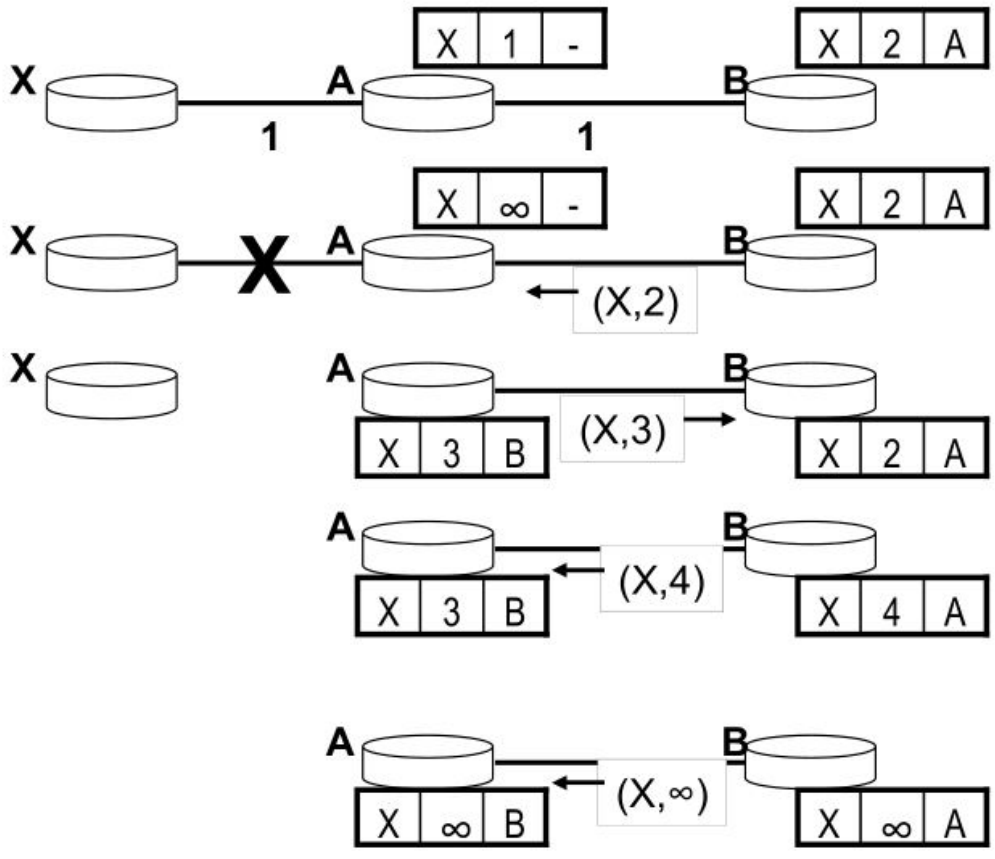
Convergência do Vetor Distância

- Vetor distância reage bem (linearmente) a boas notícias:



- Já a más notícias. . .

Problema da Contagem ao Infinito



Não daria problema **se** *A* enviasse o vetor de distância **antes** de *B*, pois declararia que seu custo até *X* seria infinito.

Estado do *Link*

- Descobrir vizinhos
- Propagar informação
  - Quem
  - Vizinhos
  - Número de sequência
- Criação do mapa da rede
- Recalcular e reenviar em caso de falha
- Cálculo da melhor rota é independente
- OSPF - Open Shortest Path First:
  - Protocolo muito utilizado em redes internas, baseado em link-state.

Estado do *Link*

- Descobrir vizinhos
- Propagar informação
  - Quem
  - Vizinhos
  - Número de sequência
- Criação do mapa da rede
- Recalcular e reenviar em caso de falha
- Cálculo da melhor rota é independente
- OSPF - Open Shortest Path First:
  - Protocolo muito utilizado em redes internas, baseado em link-state.

Estado do *Link*

- Descobrir vizinhos
- Propagar informação
  - Quem
    - Vizinhos
    - Número de sequência
- Criação do mapa da rede
- Recalcular e reenviar em caso de falha
- Cálculo da melhor rota é independente
- OSPF - Open Shortest Path First:
  - Protocolo muito utilizado em redes internas, baseado em link-state.

Estado do *Link*

- Descobrir vizinhos
- Propagar informação
  - Quem
  - Vizinhos
  - Número de sequência
- Criação do mapa da rede
- Recalcular e reenviar em caso de falha
- Cálculo da melhor rota é independente
- OSPF - Open Shortest Path First:
  - Protocolo muito utilizado em redes internas, baseado em link-state.

Estado do *Link*

- Descobrir vizinhos
- Propagar informação
  - Quem
  - Vizinhos
  - Número de sequência
- Criação do mapa da rede
- Recalcular e reenviar em caso de falha
- Cálculo da melhor rota é independente
- OSPF - Open Shortest Path First:
  - Protocolo muito utilizado em redes internas, baseado em link-state.

Estado do *Link*

- Descobrir vizinhos
- Propagar informação
  - Quem
  - Vizinhos
  - Número de sequência
- Criação do mapa da rede
- Recalcular e reenviar em caso de falha
- Cálculo da melhor rota é independente
- OSPF - Open Shortest Path First:
  - Protocolo muito utilizado em redes internas, baseado em link-state.

Estado do *Link*

- Descobrir vizinhos
- Propagar informação
  - Quem
  - Vizinhos
  - Número de sequência
- Criação do mapa da rede
- Recalcular e reenviar em caso de falha
- Cálculo da melhor rota é independente
- OSPF - Open Shortest Path First:
  - Protocolo muito utilizado em redes internas, baseado em link-state.

Estado do *Link*

- Descobrir vizinhos
- Propagar informação
  - Quem
  - Vizinhos
  - Número de sequência
- Criação do mapa da rede
- Recalcular e reenviar em caso de falha
- Cálculo da melhor rota é independente
- OSPF - Open Shortest Path First:
  - Protocolo muito utilizado em redes internas, baseado em link-state.

Estado do *Link*

- Descobrir vizinhos
- Propagar informação
  - Quem
  - Vizinhos
  - Número de sequência
- Criação do mapa da rede
- Recalcular e reenviar em caso de falha
- Cálculo da melhor rota é independente
- OSPF - Open Shortest Path First:
  - Protocolo muito utilizado em redes internas, baseado em link-state.

Estado do *Link*

- Descobrir vizinhos
- Propagar informação
  - Quem
  - Vizinhos
  - Número de sequência
- Criação do mapa da rede
- Recalcular e reenviar em caso de falha
- Cálculo da melhor rota é independente
- OSPF - Open Shortest Path First:
  - Protocolo muito utilizado em redes internas, baseado em link-state.

Roteamento Hierárquico

- Utilizado no roteamento externo (inter-rede)
- ~2bi de dispositivos $\rightarrow$ 35.000 Sistemas Autônomos (2010)
- Exemplo: Border Gateway Protocol (BGP)
- Responsável por tornar a Internet uma aplicação verdadeiramente distribuída.
- Obediência a leis internacionais e decisões políticas

Roteamento Hierárquico

- Utilizado no roteamento externo (inter-rede)
- ~2bi de dispositivos $\rightarrow$ 35.000 Sistemas Autônomos (2010)
- Exemplo: Border Gateway Protocol (BGP)
- Responsável por tornar a Internet uma aplicação verdadeiramente distribuída.
- Obediência a leis internacionais e decisões políticas

Roteamento Hierárquico

- Utilizado no roteamento externo (inter-rede)
- ~2bi de dispositivos $\rightarrow$ 35.000 Sistemas Autônomos (2010)
- Exemplo: Border Gateway Protocol (BGP)
- Responsável por tornar a Internet uma aplicação verdadeiramente distribuída.
- Obediência a leis internacionais e decisões políticas

Roteamento Hierárquico

- Utilizado no roteamento externo (inter-rede)
- ~2bi de dispositivos $\rightarrow$ 35.000 Sistemas Autônomos (2010)
- Exemplo: Border Gateway Protocol (BGP)
- Responsável por tornar a Internet uma aplicação verdadeiramente distribuída.
- Obediência a leis internacionais e decisões políticas

Roteamento Hierárquico

- Utilizado no roteamento externo (inter-rede)
- ~2bi de dispositivos $\rightarrow$ 35.000 Sistemas Autônomos (2010)
- Exemplo: Border Gateway Protocol (BGP)
- Responsável por tornar a Internet uma aplicação verdadeiramente distribuída.
- Obediência a leis internacionais e decisões políticas

Roteamento Hierárquico

- Funcionamento básico: Similar ao vetor distância. Roteadores enviam uns aos outros duas informações:
  - Que eles estão vivos e quais redes (Faixas de IPs) estão sob sua responsabilidade.
  - Qual a rota completa que utilizam para chegar ao destino (Solução para o problema da contagem ao infinito!)

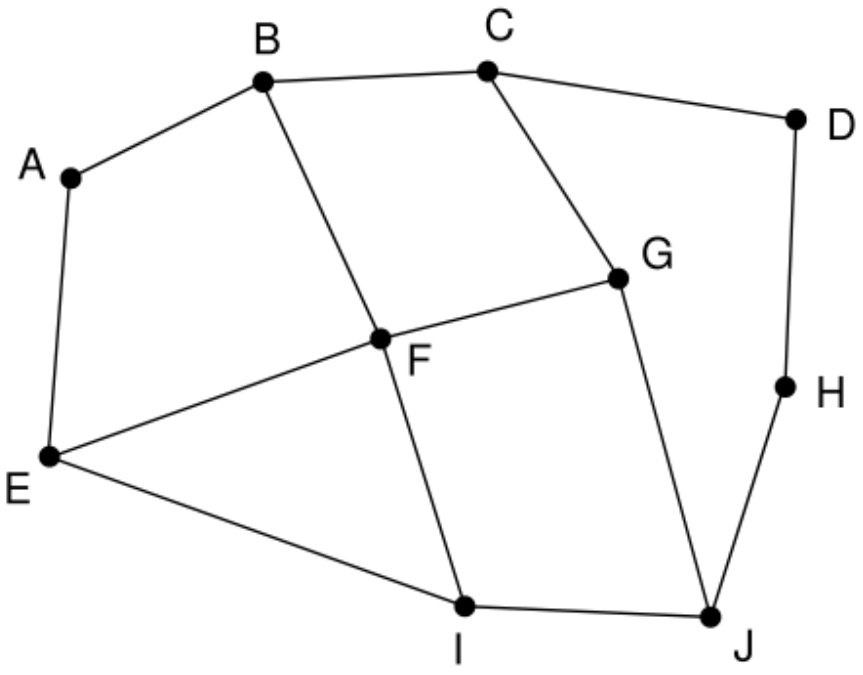
Roteamento Hierárquico

- Funcionamento básico: Similar ao vetor distância. Roteadores enviam uns aos outros duas informações:
  - Que eles estão vivos e quais redes (Faixas de IPs) estão sob sua responsabilidade.
  - Qual a rota completa que utilizam para chegar ao destino (Solução para o problema da contagem ao infinito!)

Roteamento Hierárquico

- Funcionamento básico: Similar ao vetor distância. Roteadores enviam uns aos outros duas informações:
  - Que eles estão vivos e quais redes (Faixas de IPs) estão sob sua responsabilidade.
  - Qual a rota completa que utilizam para chegar ao destino (Solução para o problema da contagem ao infinito!)

Roteamento Hierárquico



Informações sobre D que
F recebe de seus vizinhos

De B: "Eu utilizo BCD"
De G: "Eu utilizo GCD"
De I: "Eu utilizo IFGCD"
De E: "Eu utilizo EFGCD"

- O que acontece se G cair?

Sumário

Conclusão

- Grafos e seus algoritmos são ferramentas extremamente úteis em redes de computadores. Permitem a modelagem e solução de diferentes situações encontradas na área.
- A Internet como a conhecemos só existe hoje graças aos avanços no desenvolvimento de melhores e mais eficientes algoritmos de roteamento.
- Não há uma "bala de prata", diferentes algoritmos servem a diferentes propósitos

Conclusão

- Grafos e seus algoritmos são ferramentas extremamente úteis em redes de computadores. Permitem a modelagem e solução de diferentes situações encontradas na área.
- A Internet como a conhecemos só existe hoje graças aos avanços no desenvolvimento de melhores e mais eficientes algoritmos de roteamento.
- Não há uma "bala de prata", diferentes algoritmos servem a diferentes propósitos

Conclusão

- Grafos e seus algoritmos são ferramentas extremamente úteis em redes de computadores. Permitem a modelagem e solução de diferentes situações encontradas na área.
- A Internet como a conhecemos só existe hoje graças aos avanços no desenvolvimento de melhores e mais eficientes algoritmos de roteamento.
- Não há uma "bala de prata", diferentes algoritmos servem a diferentes propósitos

Bibliografia

- TANENBAUM, A. S. Redes de Computadores. 4 ed. São Paulo: Elsevier, 2003.
- DE CASTRO, M. C. F. Redes Comutadas. setembro de 2002. Disponível em: <http://www.ee.pucrs.br/~decastro/download.html>.
- CARISSIMI, A. Algoritmos de roteamento. 2008. Disponível em: <http://www.inf.ufrgs.br/~asc/redes/pdf/aula21.pdf>.
- CAMPONOGARA, E. Caminhos Mínimos Com Uma Fonte. abril de 2009. Disponível em: <http://www.das.ufsc.br/~camponog/Disciplinas/DAS-9003/slides_CLR/l14-shortest-path.pdf>

Bibliografia

- TANENBAUM, A. S. Redes de Computadores. 4 ed. São Paulo: Elsevier, 2003.
- DE CASTRO, M. C. F. Redes Comutadas. setembro de 2002. Disponível em: <http://www.ee.pucrs.br/~decastro/download.html>.
- CARISSIMI, A. Algoritmos de roteamento. 2008. Disponível em: <http://www.inf.ufrgs.br/~asc/redes/pdf/aula21.pdf>.
- CAMPONOGARA, E. Caminhos Mínimos Com Uma Fonte. abril de 2009. Disponível em: <http://www.das.ufsc.br/~camponog/Disciplinas/DAS-9003/slides_CLR/l14-shortest-path.pdf>

Bibliografia

- TANENBAUM, A. S. Redes de Computadores. 4 ed. São Paulo: Elsevier, 2003.
- DE CASTRO, M. C. F. Redes Comutadas. setembro de 2002. Disponível em: <http://www.ee.pucrs.br/~decastro/download.html>.
- CARISSIMI, A. Algoritmos de roteamento. 2008. Disponível em: <http://www.inf.ufrgs.br/~asc/redes/pdf/aula21.pdf>.
- CAMPONOGARA, E. Caminhos Mínimos Com Uma Fonte. abril de 2009. Disponível em: <http://www.das.ufsc.br/~camponog/Disciplinas/DAS-9003/slides_CLR/l14-shortest-path.pdf>

Bibliografia

- TANENBAUM, A. S. Redes de Computadores. 4 ed. São Paulo: Elsevier, 2003.
- DE CASTRO, M. C. F. Redes Comutadas. setembro de 2002. Disponível em: <http://www.ee.pucrs.br/~decastro/download.html>.
- CARISSIMI, A. Algoritmos de roteamento. 2008. Disponível em: <http://www.inf.ufrgs.br/~asc/redes/pdf/aula21.pdf>.
- CAMPONOGARA, E. Caminhos Mínimos Com Uma Fonte. abril de 2009. Disponível em: <http://www.das.ufsc.br/~camponog/Disciplinas/DAS-9003/slides_CLR/l14-shortest-path.pdf>