

Camada de Rede

Redes de Computadores

Profa. Kalinka Castelo Branco

Universidade de São Paulo

Maio de 2020

Camada de Rede

Profa.
Kalinka
Branco

ICMP

Entrega de
pacotes

Protocolos de
Roteamento

Tabela de
roteamento
Gateway padrão
Sumarização de
rotas
Exemplos de
Protocolos

① ICMP

② Entrega de pacotes

③ Protocolos de Roteamento

Tabela de roteamento

Gateway padrão

Sumarização de rotas

Exemplos de Protocolos

- A operação de uma rede IP é monitorada rigorosamente pelos roteadores;
- Quando algo inesperado ocorre, o evento é reportado pelo protocolo **ICMP** (*Internet Control Message Protocol*) definido na RFC 729;
- O protocolo ICMP também é utilizado para testes de rede através do comando *ping*.

- O ICMP utiliza mensagens para realizar suas tarefas. Na sua RFC são definidas 16 mensagens, sendo as mais importantes:
 - *Destination Unreachable* – Utilizado quando a sub-rede ou o roteador não podem localizar o destino;
 - *Time Exceeded* – Notifica o descarte do pacote, pois seu TTL atingiu o valor zero;
 - *Source Quench* – Essa mensagem solicita ao emissor uma redução dos dados enviados;
 - *Redirect* – Um roteador envia esta mensagem quando, ao receber um pacote, detecta-se a existência de uma rota melhor através de outro roteador;
 - *Echo* – Usado pelo comando *ping* para verificar conectividade;
 - *Echo Reply* – Resposta à requisição *Echo*.

Camada de Rede

Profa.
Kalinka
Branco

ICMP

Entrega de pacotes

Protocolos de Roteamento

Tabela de roteamento

Gateway padrão
Sumarização de rotas

Exemplos de Protocolos

- A entrega de pacotes na camada de rede pode ser dividida em dois tipos:
 - **Entrega Direta:** entrega de dados quando o remetente e o destinatário se encontram na mesma rede lógica. Também conhecida como Entrega Local, IP do destino é repassado para a Camada de Enlace.
 - **Entrega Indireta:** entrega de dados quando o destinatário e o remetente se encontram em redes lógicas diferente e se faz necessário a utilização de um roteador. Também conhecida como Entrega Remota, IP do roteador é repassado para a Camada de Enlace.

- Para saber se o host irá executar uma entrega local ou remota, basta saber se o remetente encontra-se na mesma rede que o destinatário;
- Tal verificação é feita pelo remetente com base em dois dados:
 - O resultado da operação lógica “sua máscara de rede AND seu endereço”;
 - E da operação lógica “sua máscara de rede AND o endereço do destino.”
- Estes dois dados são comparados. Se iguais, ambos estão na mesma rede; caso contrário, estão em redes distintas.

Exemplo 1

O host 192.168.1.10/24 quer enviar uma mensagem para o host 192.168.1.32.

- ① O host de origem calcula a sua própria rede através de um AND entre o seu endereço IP (192.168.1.10) e a sua máscara (255.255.255.0) e obtém o resultado 192.168.1.0.
- ② Depois ele calcula a rede do host de destino realizando um AND entre o endereço IP de destino (192.168.1.32) e a sua máscara (255.255.255.0), obtendo o resultado 192.168.1.0.
- ③ Como os dois resultados são **idênticos**, o host de origem sabe que ambos estão na mesma rede lógica e que pode realizar uma **entrega direta/local**.

Exemplo 2

O host 192.168.1.10/24 quer enviar uma mensagem para o host 192.168.2.20.

- ① Primeiro o host de origem calcula a sua própria rede através de um AND entre o seu endereço IP (192.168.1.10) e a sua máscara (255.255.255.0) e obtém o resultado 192.168.1.0.
- ② Depois ele calcula a rede do host de destino realizando um AND entre o endereço IP de destino (192.168.2.20) e a sua máscara (255.255.255.0), obtendo o resultado 192.168.2.0.
- ③ Como os dois resultados são **distintos**, o host de origem sabe que ambos não estão na mesma rede lógica e que pode realizar uma **entrega indireta/remota**.

- Um protocolo de roteamento é a comunicação usada entre os roteadores (pode-se dizer que é uma linguagem entre roteadores);
- Um protocolo de roteamento permite que um roteador compartilhe informações com outros roteadores a respeito das redes que ele conhece. Essas informações são usadas para construir e manter uma tabela de roteamento de forma dinâmica.

- As decisões são tomadas com base nas rotas contidas em sua tabela de roteamento. Essas rotas podem ser estabelecidas através da utilização de duas classes dos protocolos de roteamento: Protocolos de Roteamento Dinâmicos e Estáticos:
 - Ao se utilizar um protocolo de **roteamento dinâmico**, essa informação é obtida dos outros roteadores;
 - Já em um protocolo de **roteamento estático**, as informações sobre as redes remotas são configuradas manualmente por meio de comandos na CLI (*Command Line Interface*) ou pela interface gráfica de um roteador.

- Sempre que houver alteração na topologia de uma rede devido à expansão, reconfiguração ou falha, a base de conhecimentos da rede (*network knowledge base*) também deve mudar;
- Quando todos os roteadores de um grupo de redes interconectadas estiverem operando com as mesmas informações sobre a topologia da rede, diz-se que esse grupo **convergiu**. É desejável uma convergência rápida, pois isso reduz o período durante o qual os roteadores tomam decisões de roteamento incorretas.

- Um protocolo de roteamento dinâmico escolhe a melhor rota com base em um fator chamado **métrica de roteamento**;
- A métrica pode ser composta de vários fatores:
 - Latência;
 - Largura de banda;
 - Confiabilidade;
 - Carga;
 - Contagem de saltos; e
 - Custo.
- Cada protocolo de roteamento dinâmico determina quais e como estes valores serão utilizados no cálculo da métrica.

- Uma tabela de roteamento tem, pelo menos, as seguintes informações:

Rede de destino	Próximo salto	Interface de saída
192.168.1.0/24	Diretamente conectado	eth0
192.168.2.0/24	Diretamente conectado	eth1
172.16.32.0/24	Diretamente conectado	eth2
10.1.100.0/24	172.16.32.254	eth2
10.1.200.0/24	172.16.32.254	eth2

- A tabela de roteamento pode dizer muitas coisas sobre um roteador. Por exemplo, olhando a tabela, percebemos que esse roteador tem, pelo menos, 3 interfaces (*eth0*, *eth1* e *eth2*) e muito provavelmente ele está conectado a duas redes locais (192.168.1.0/24 e 192.168.2.0/24) e apenas uma saída (172.16.32.0/24).

Camada de Rede

Profa.
Kalinka
Branco

ICMP

Entrega de pacotes

Protocolos de Roteamento

Tabela de roteamento

Gateway padrão Sumarização de rotas

Exemplos de Protocolos

- Vemos o conceito de “roteador mais inteligente.” Esse roteador considera que o 172.16.32.254 é mais inteligente que ele e pode encontrar as redes 10.1.100.0/24 e 10.1.200.0/24. Ele não precisa se preocupar como esse outro roteador vai fazer isso; ele simplesmente acredita que ele consegue!
- Aqui entra o conceito de *gateway*. Dizemos que o *gateway* da rede 10.1.200.0 é o roteador 172.16.32.254. O *gateway* é o próximo salto. Traduzindo ao pé da letra, *gateway* é um portal, nesse caso o portal de acesso para uma determinada rede. Diferente de *default gateway*.

- Essas duas últimas regras poderiam ser simplificadas utilizando um *Default Gateway*;
- As rotas *default* são usadas para rotear pacotes com destinos que não correspondem a nenhuma das outras rotas da tabela de roteamento;
- Geralmente, os roteadores são configurados com uma rota *default* para o tráfego dirigido à Internet, já que normalmente é impraticável ou desnecessário manter rotas para todas as redes na Internet;
- Uma rota *default*, na verdade, é uma rota estática especial endereçada a 0.0.0.0 e com máscara 0.0.0.0. Quando um IP de destino é submetido à operação lógica AND com a máscara definida resultará sempre na rede 0.0.0.0.

- Utilizando o exemplo anterior podemos reescrever a tabela:

Antes:

Rede de destino	Próximo salto	Interface de saída
192.168.1.0/24	Diretamente conectado	eth0
192.168.2.0/24	Diretamente conectado	eth1
172.16.32.0/24	Diretamente conectado	eth2
10.1.100.0/24	172.16.32.254	eth2
10.1.200.0/24	172.16.32.254	eth2

Depois:

Rede de destino	Próximo salto	Interface de saída
192.168.1.0/24	Diretamente conectado	eth0
192.168.2.0/24	Diretamente conectado	eth1
172.16.32.0/24	Diretamente conectado	eth2
0.0.0.0/0	172.16.32.254	eth2

- Vamos a outro exemplo:

Rede de destino	Próximo salto	Interface de saída
192.168.1.0/24	Diretamente conectado	eth0
192.168.2.0/24	Diretamente conectado	eth1
192.168.3.0/24	Diretamente conectado	eth2
172.16.32.0/24	192.168.2.254	eth1
10.1.100.0/24	192.168.3.254	eth2
0.0.0.0/0	192.168.1.254	eth0

- Tenha em mente que o roteador varre a tabela de cima para baixo em busca de uma ocorrência. Nesse caso, vamos ver o que acontece ...

Exemplo 1:

Pacote com destino 192.168.3.12:

- ① Olha na primeira linha: 192.168.3.0/24 é igual a 192.168.1.0/24? **Não...**
- ② Olha na segunda linha: 192.168.3.0/24 é igual a 192.168.2.0/24? **Não...**
- ③ Olha na terceira linha: 192.168.3.0/24 é igual a 192.168.3.0/24? **Sim!**
- ④ Como sou diretamente conectado a essa rede, só envio o pacote pela eth2.

Exemplo 2:

Pacote com destino a 10.1.100.33:

- ① Olha a primeira linha: 10.1.100.0/24 é igual a 192.168.1.0/24? **Não...**
- ② Olha a segunda linha: 10.1.100.0/24 é igual a 192.168.2.0/24? **Não...**
- ③ Olha a terceira linha: 10.1.100.0/24 é igual a 192.168.3.0/24? **Não...**
- ④ Olha a quarta linha: 10.1.100.0/24 é igual a 172.16.32.0/24? **Não...**
- ⑤ Olha a quinta linha: 10.1.100.0/24 é igual a 10.1.100.0/24? **Sim!**
- ⑥ Não sou diretamente conectado... Envio ao próximo salto: 192.168.3.254.

Exemplo 3:

Pacote com destino a 13.1.1.23:

- ① Olha a primeira linha: 13.1.1.0/24 é igual a 192.168.1.0/24? **Não...**
- ② Olha a segunda linha: 13.1.1.0/24 é igual a 192.168.2.0/24? **Não...**
- ③ Olha a terceira linha: 13.1.1.0/24 é igual a 192.168.3.0/24? **Não...**
- ④ Olha a quarta linha: 13.1.1.0/24 é igual a 172.16.32.0/24? **Não...**
- ⑤ Olha a quinta linha: 13.1.1.0/24 é igual a 10.1.100.0/24? **Não...**
- ⑥ Acabou minha tabela... O meu *Default Gateway* deve saber como chegar nessa rede. Encaminha para 192.168.1.254.

Camada de Rede

Profa.
Kalinka
Branco

ICMP

Entrega de pacotes

Protocolos de Roteamento

Tabela de roteamento

Gateway padrão
Sumarização de rotas

Exemplos de Protocolos

- A sumarização de rotas é a “abreviação” de rotas. Ela serve para manter uma tabela de roteamento mais limpa;
- Quanto mais a rede cresce, mais complexa será a tabela de roteamento;
- Se utilizarmos a sumarização de rotas podemos ter tabelas mais consistentes e simples.

Camada de Rede

Profa.
Kalinka
Branco

ICMP

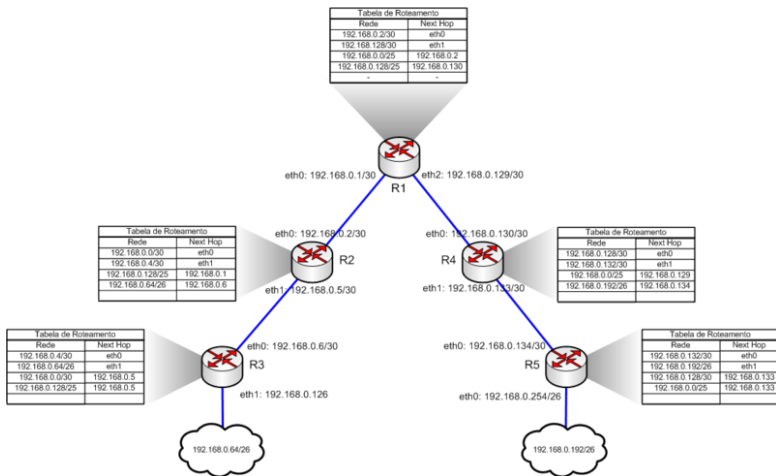
Entrega de pacotes

Protocolos de Roteamento

Tabela de roteamento

Gateway padrão
Sumarização de rotas

Exemplos de Protocolos



- **Como fazer essa sumarização?**
- Pega-se a tabela de roteamento de um roteador e analisa-se as rotas;
- Por exemplo, um roteador R1. Sua tabela de roteamento seria a seguinte:

Destino	Próximo salto
192.168.0.0/30	eth0
192.168.0.128/30	eth1
192.168.0.4/30	192.168.0.2
192.168.0.64/26	192.168.0.2
192.168.0.132	192.168.0.130
192.168.0.192	192.168.0.130

- Vamos “agrupar” as rede 192.168.0.0/30, 192.168.0.4/30 e 192.168.0.64/26. Esse agrupamento só pode ser feito quando todos possuem o mesmo *gateway*.

Destino	Próximo salto
192.168.0.0/30	eth0
192.168.0.128/30	eth1
192.168.0.4/30	192.168.0.2
192.168.0.64/26	192.168.0.2
192.168.0.132	192.168.0.130
192.168.0.192	192.168.0.130

- Convertendo para binário:

Endereço	Octeto 1	Octeto 2	Octeto 3	Octeto 4
192.168.0.0	1100 0000	1010 1000	0000 0000	0000 0000
192.168.0.4	1100 0000	1010 1000	0000 0000	0000 0100
192.168.0.64	1100 0000	1010 1000	0000 0000	0100 0000

- Até onde esses 3 endereços IP são iguais?
- Todos os bits em verde (25 primeiros bits) são comuns aos 3 endereços IP, logo podemos sumarizar essas 3 redes em uma única rede: 192.168.0.0/25.
- Magicamente 3 rotas viram uma!

- Fazemos o mesmo com os IPs 192.168.0.128, 192.168.0.132 e 192.168.0.192:

Endereço	Octeto 1	Octeto 2	Octeto 3	Octeto 4
192.168.0.128	1100 0000	1010 1000	0000 0000	1000 0000
192.168.0.132	1100 0000	1010 1000	0000 0000	1000 0100
192.168.0.192	1100 0000	1010 1000	0000 0000	1100 0000

- Novamente os 25 primeiro bits são iguais, logo pode-se resumir essas três redes em uma: 192.168.0.128/25.

- Repetindo esse mesmo processo para os outros roteadores, vamos sumarizar todas as tabelas;
- Muita atenção é requerida pois só se pode sumarizar rotas que possuem o mesmo *gateway*;
- Muitos roteadores fazem a sumarização de rotas automaticamente, mas isso depende do fabricante e da versão do *firmware*.

- Relembrando: o **IP** é um protocolo da camada de rede e, devido a isso, pode ser roteado por uma *internetwork*, que é uma rede de redes;
- Os protocolos que definem a estrutura do pacote e o endereçamento lógico na camada de rede são chamados **protocolos roteados ou roteáveis**;
- Exemplo: IPv4 e IPv6.

- Os **protocolos de roteamento** permitem que os roteadores conectados criem um mapa, internamente, de outros roteadores na rede ou na Internet;
- Os roteadores usam protocolos de roteamento para trocar tabelas de roteamento e compartilhar informações de roteamento. Em outras palavras, protocolos de roteamento determinam como os protocolos roteáveis são encaminhados.

Camada de Rede

Profa.
Kalinka
Branco

ICMP

Entrega de
pacotes

Protocolos de
Roteamento

Tabela de
roteamento

Gateway padrão
Sumarização de
rotas

Exemplos de
Protocolos

- Os roteadores são capazes de suportar vários protocolos de roteamento independentes e de manter tabelas de roteamento de vários protocolos roteados, simultaneamente.

- As tabelas de roteamento contêm:
 - **Tipo de protocolo:** protocolo de roteamento que criou a entrada da tabela de roteamento;
 - **Associação destino/próximo salto:** indica se um destino específico está diretamente ligado ao roteador ou se pode ser alcançado com o recurso a outro roteador, chamado próximo salto.

- As tabelas de roteamento contêm:
 - **Métrica:** protocolos de roteamento diferentes utilizam métricas de roteamento diferentes:
 - RIP (*Routing Information Protocol*): utiliza a contagem de saltos como única métrica de roteamento;
 - IGRP (*Interior Gateway Routing Protocol*): utiliza uma combinação de métricas (largura de banda, carga, atraso e confiabilidade) para criar um valor de métrica composto.
 - **Interface de saída:** a interface na qual os dados devem ser enviados para que cheguem ao destino final.

- As métricas de roteamento são os valores utilizados para a determinação do melhor caminho até o próximo salto.

Protocolo	Métrica	Número máximo de saltos	Origem
RIP	Contagem de saltos	15	Xerox
IGRP	Largura de banda, carga, atraso, confiabilidade	255	Cisco

Camada de Rede

Profa.
Kalinka
Branco

ICMP

Entrega de
pacotes

Protocolos de
Roteamento

Tabela de
roteamento

Gateway padrão
Sumarização de
rotas

Exemplos de
Protocolos

- Os protocolos de roteamento são separados em duas classes:
 - Quanto ao local onde ele é utilizado (IGP ou EGP);
 - E quanto ao comportamento da lógica do protocolo (Vetor de Distância ou Estado de Enlace).

- Um protocolo de roteamento do tipo IGP (*Interior Gateway Protocol* – Protocolo de Roteamento Interno) é utilizado na intercomunicação de redes dentro de um mesmo Sistema Autônomo;
- Um protocolo de roteamento EGP (*Exterior Gateway Protocol* – Protocolo de Roteamento Externo) é utilizado, dentre outras coisas, para a intercomunicação de diferentes Sistemas Autônomos.

Camada de
Rede

Profa.
Kalinka
Branco

ICMP

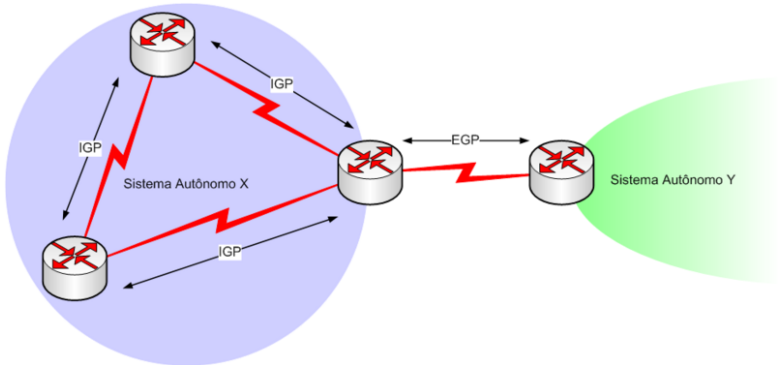
Entrega de
pacotes

Protocolos de
Roteamento

Tabela de
roteamento

Gateway padrão
Sumarização de
rotas

Exemplos de
Protocolos



- Exemplo único de EGP: BGP (*Border Gateway Protocol*), o principal protocolo de roteamento externo da Internet;
- Exemplos de protocolos IGP: RIP, IGRP, EIGRP, OSPF e ISIS.

- Os IGP's podem ser descritos como protocolos de vetor de distância ou de estado de enlace.

- **RIP** (*Routing Information Protocol*):
 - É o IGP mais tradicionalmente usado;
 - Baseado no algoritmo de roteamento por Vetor de Distância;
 - Seleciona o caminho com o menor número de saltos. No entanto, como a contagem de saltos é a única métrica de roteamento, nem sempre é selecionado o caminho mais rápido;
 - Não pode encaminhar um pacote além de 15 saltos;

- **IGRP** (*Interior Gateway Routing Protocol*):
 - Este IGP foi criado pela Cisco para atacar problemas associados ao roteamento em redes grandes e heterogêneas;
 - Baseado no algoritmo de roteamento por Vetor de Distância;
 - Pode selecionar o caminho mais rápido disponível com base no atraso, na carga e na confiabilidade:
 - O administrador de rede pode determinar a importância dada a qualquer uma dessas medidas, ou permitir que o IGRP calcule o melhor caminho automaticamente.
 - Tem um limite máximo para a contagem de saltos mais alto do que o RIP;
 - Utiliza somente roteamento por classes (*classful routing*).

- **EIGRP** (*Enhanced IGRP*):

- Como o IGRP, o EIGRP é um protocolo exclusivo da Cisco;
- Trata-se de uma versão avançada do IGRP;
- Baseado no algoritmo de roteamento por Vetor de Distância;
- É mais eficiente, converge mais rapidamente e gasta menos largura de banda;
- É um protocolo de vetor de distância avançado que também utiliza funções de protocolos de estado de enlace. Deste modo, é por vezes considerado como um protocolo de roteamento **híbrido**.

- **OSPF** (*Open Shortest Path First*):

- Em tradução livre, “o caminho livre mais curto primeiro”;
- Uma descrição melhor, entretanto, pode ser “determinação de um caminho ótimo”, pois esse protocolo realmente usa vários critérios para determinar a melhor rota para um destino;
- Baseado no algoritmo de roteamento por Estado de Enlace;
- Esses critérios incluem as medidas de custo, que são subdivididas em itens como a velocidade de rota, o tráfego, a confiança e a segurança;
- Foi escrito para atender às necessidades de redes de grande porte o que não podia ser feito pelo RIP;
- Atualmente é o protocolo mais utilizado em sistemas autônomos, juntamente com o ISIS.

Camada de
Rede

Profa.
Kalinka
Branco

ICMP

Entrega de
pacotes

Protocolos de
Roteamento

Tabela de
roteamento

Gateway padrão
Sumarização de
rotas

Exemplos de
Protocolos

- **ISIS** (*Intermediate System to Intermediate System*):
 - Bastante similar ao OSPF;
 - Baseado no algoritmo de roteamento por Estado de Enlace;
 - É usado para protocolos roteados que não sejam o IP;
 - Porém, na versão *Integrated ISIS*, uma implementação expandida do ISIS, consegue suportar vários protocolos roteados, inclusive o IP.

- **BGP** (*Border Gateway Protocol*):
 - O BGP é considerado “*the glue that keeps the Internet together*” (a “cola” que mantém a Internet ligada);
 - É um protocolo EGP que permite a troca de informações de roteamento entre sistemas autônomos, ao mesmo tempo que garante a seleção de caminhos livre de *loops*;
 - O BGP é o principal protocolo de roteamento utilizado pelas maiores empresas e ISPs (*Internet Service Providers*) na Internet.

Camada de Rede

Profa.
Kalinka
Branco

ICMP

Entrega de
pacotes

Protocolos de
Roteamento

Tabela de
roteamento

Gateway padrão
Sumarização de
rotas

Exemplos de
Protocolos

- **BGP** (*Border Gateway Protocol*):
 - Ao contrário dos protocolos IGP como o RIP, OSPF e EIGRP, o BGP **não** utiliza métricas como a contagem de saltos, largura de banda ou atraso;
 - O BGP toma decisões de roteamento com base em políticas de rede ou regras.