

# Aula 2 - A Internet e Sua Arquitetura

Diego Passos

Universidade Federal Fluminense

Redes de Computadores

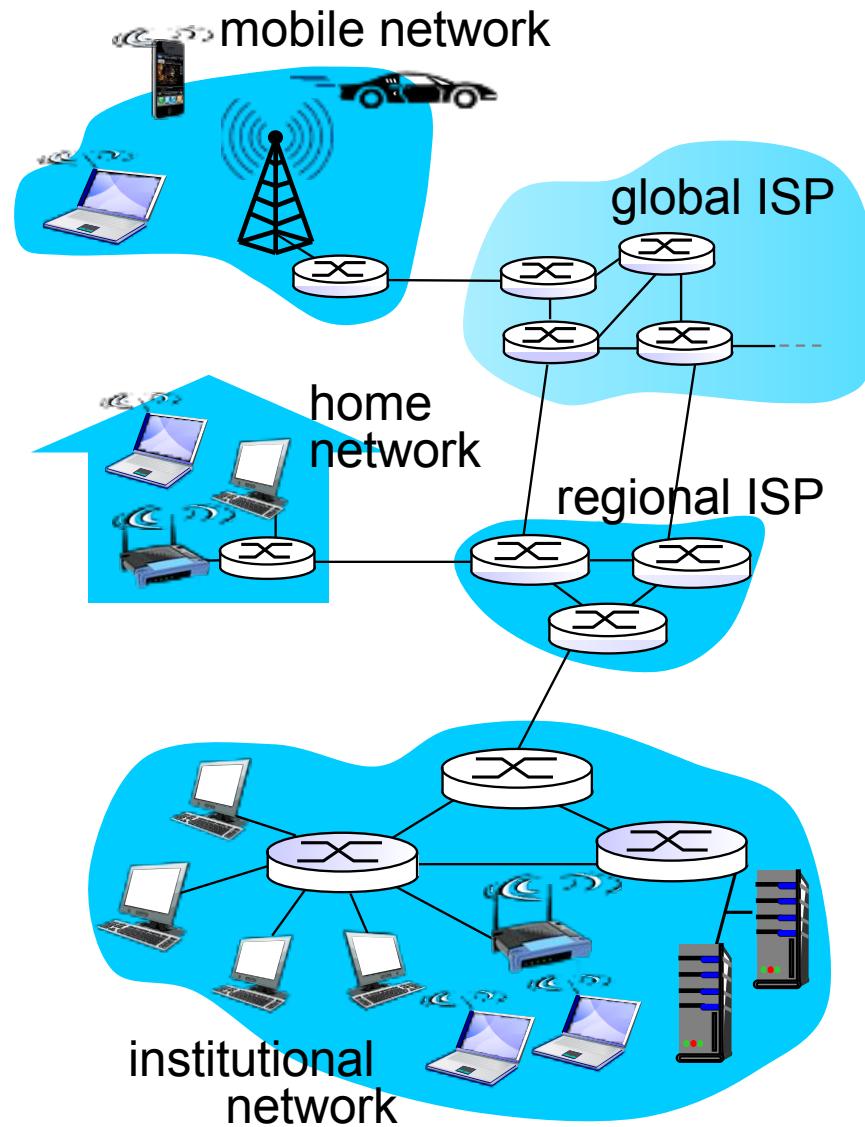
Material adaptado a partir dos slides  
originais de J.F Kurose and K.W. Ross.

# Conceitos Básicos

# O Que É a Internet: Componentes



- Milhões de dispositivos computacionais conectados:
  - **Hosts** = **Sistemas finais**.
  - Executam **aplicações de rede**.
- **Enlaces de comunicación.**
  - Fibra óptica, cobre, rádio, satélite, ...
  - Características variadas.
- **Comutadores de pacotes:**
  - Encaminham pacotes (unidade de dados).
  - Roteadores e switches.



# Aplicações “Divertidas” da Internet



IP picture frame  
<http://www.ceiva.com/>



Internet refrigerator



Web-enabled toaster +  
weather forecaster



Tweet-a-watt:  
monitor energy use



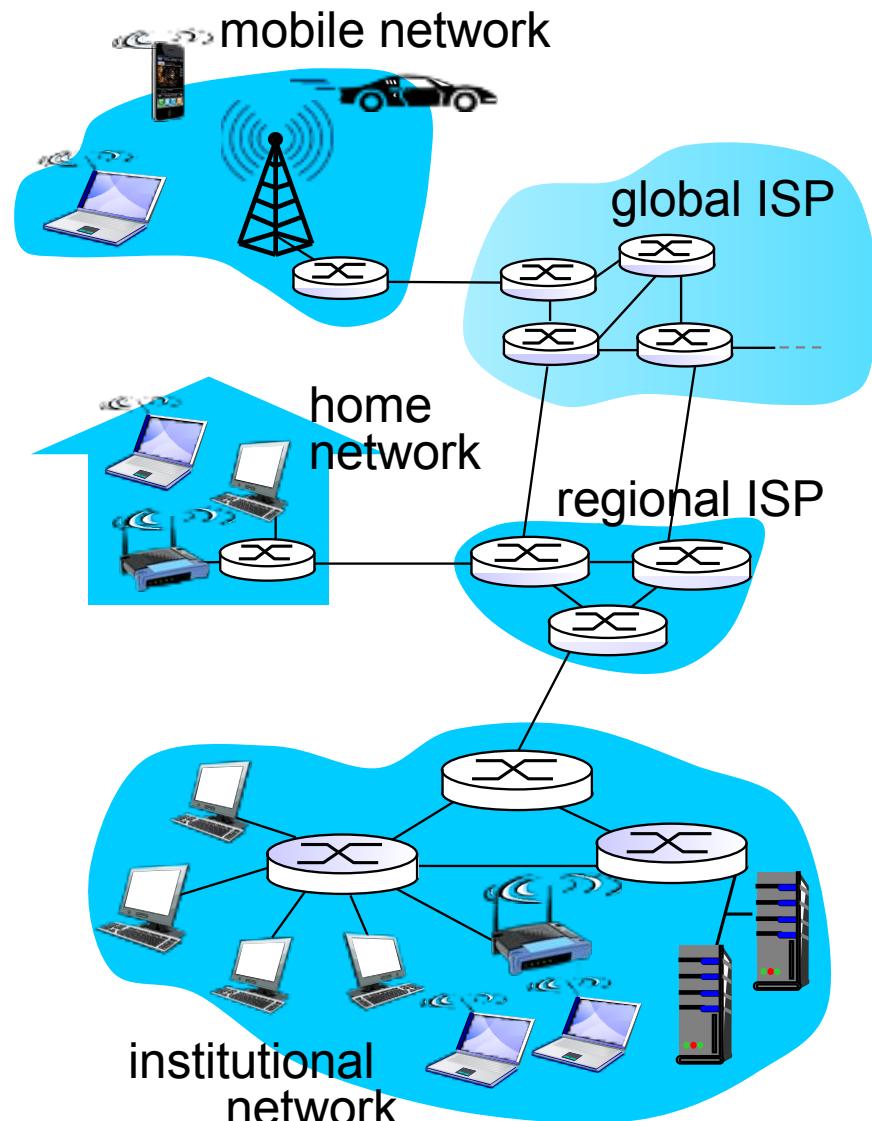
Slingbox: watch,  
control cable TV remotely



Internet phones

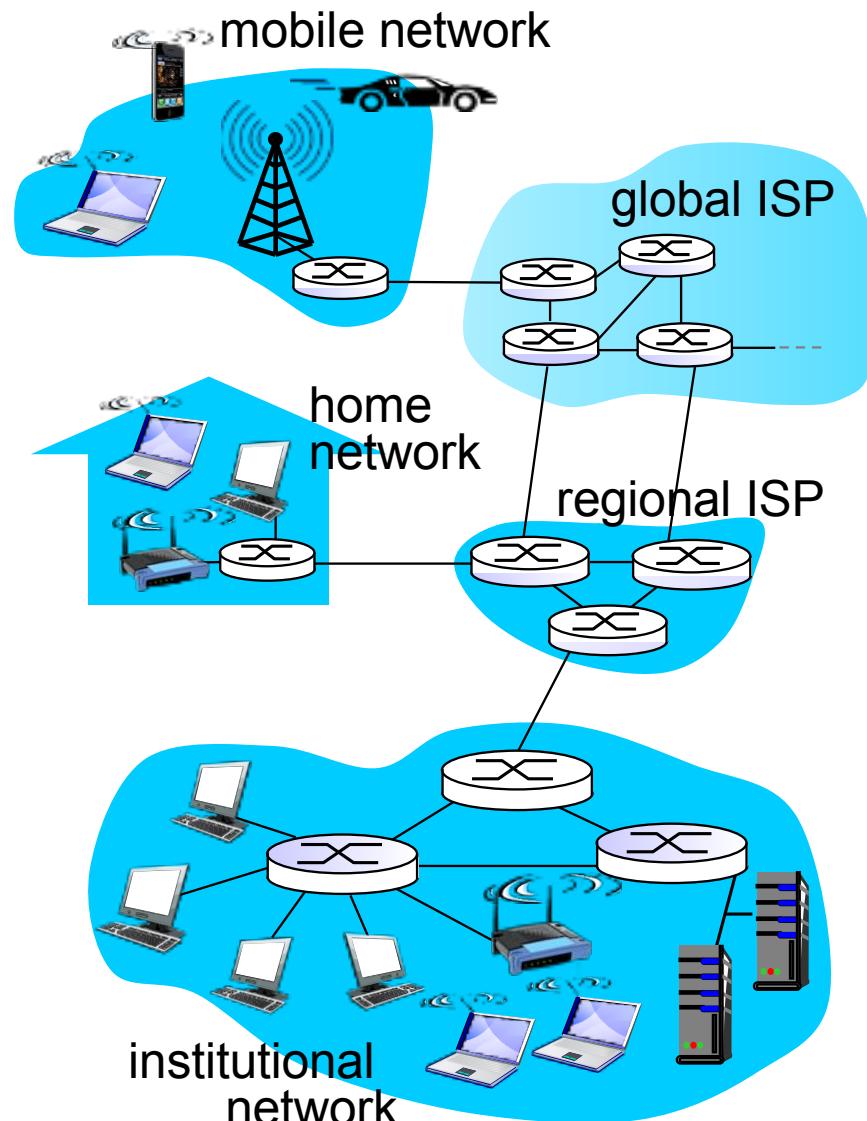
# O Que É a Internet: “Rede de Redes”

- Internet: Rede de Redes.
  - Conjunto de **ISPs** conectados.
- **Protocolos** controlam recebimento, envio de mensagens.
  - e.g., TCP, IP, HTTP, Skype, IEEE 802.11.
- **Padrões da Internet.**
  - RFC: Request For Comments.
  - IETF: Internet Engineering Task Force.



# O Que É a Internet: Visão de Serviço

- **Infraestrutura que provê serviços às aplicações:**
  - Web, VoIP, email, jogos, comércio eletrônico, redes sociais, ...
- **Provê interface de programação às aplicações:**
  - Chamadas que permitem a aplicações transmissoras e receptoras “conectar-se” à Internet.
  - Múltiplas opções de serviço, análogo ao serviço de correio.

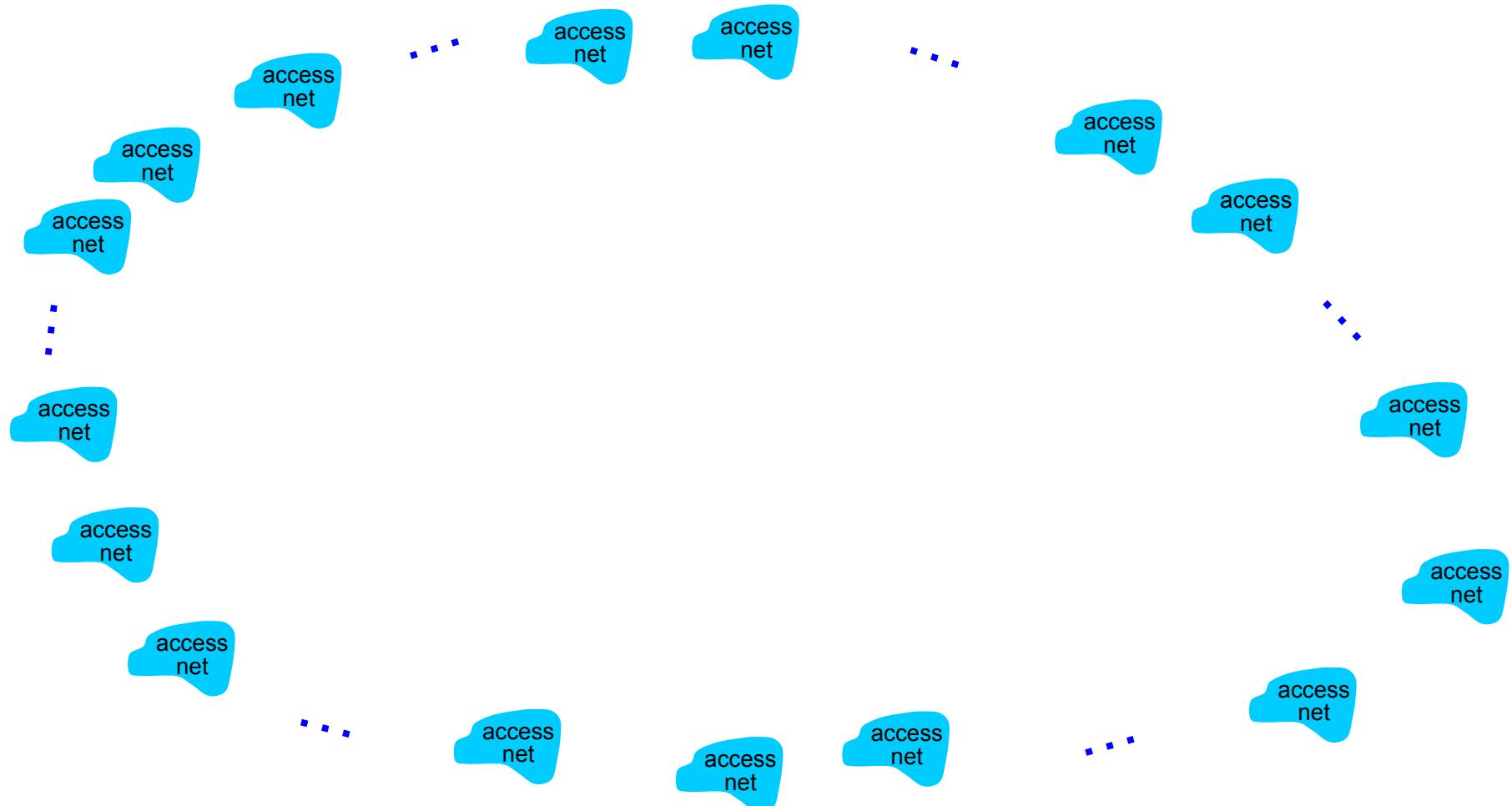


# Estrutura da Internet: Rede de Redes (I)

- Sistemas finais se conectam à Internet via **ISPs de acesso**.
  - ISP = *Internet Service Provider* (Provedor de Acesso).
  - ISP de acesso: residencias, empresas, universidades.
- ISPs de acesso precisar ser interconectados de alguma forma.
  - De forma que quaisquer dois hosts possam trocar informações.
- Rede resultante é muito complexa.
  - Evolução guiada por **fatores econômicos, políticas nacionais**.
- Vamos usar uma abordagem incremental para entender a estrutura atual da Internet.

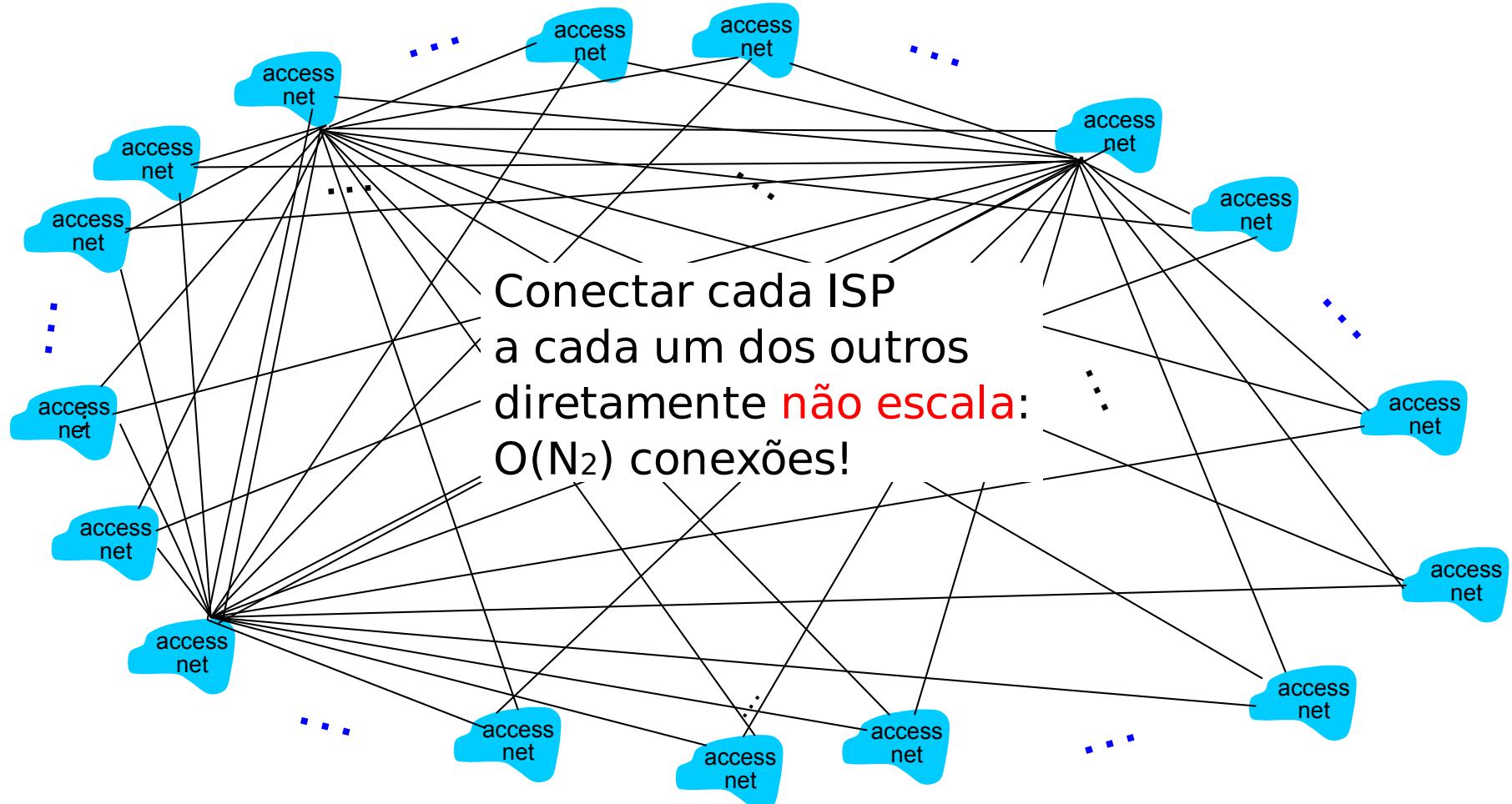
# Estrutura da Internet: Rede de Redes (II)

- **Pergunta:** como conectar **milhões** de ISPs?



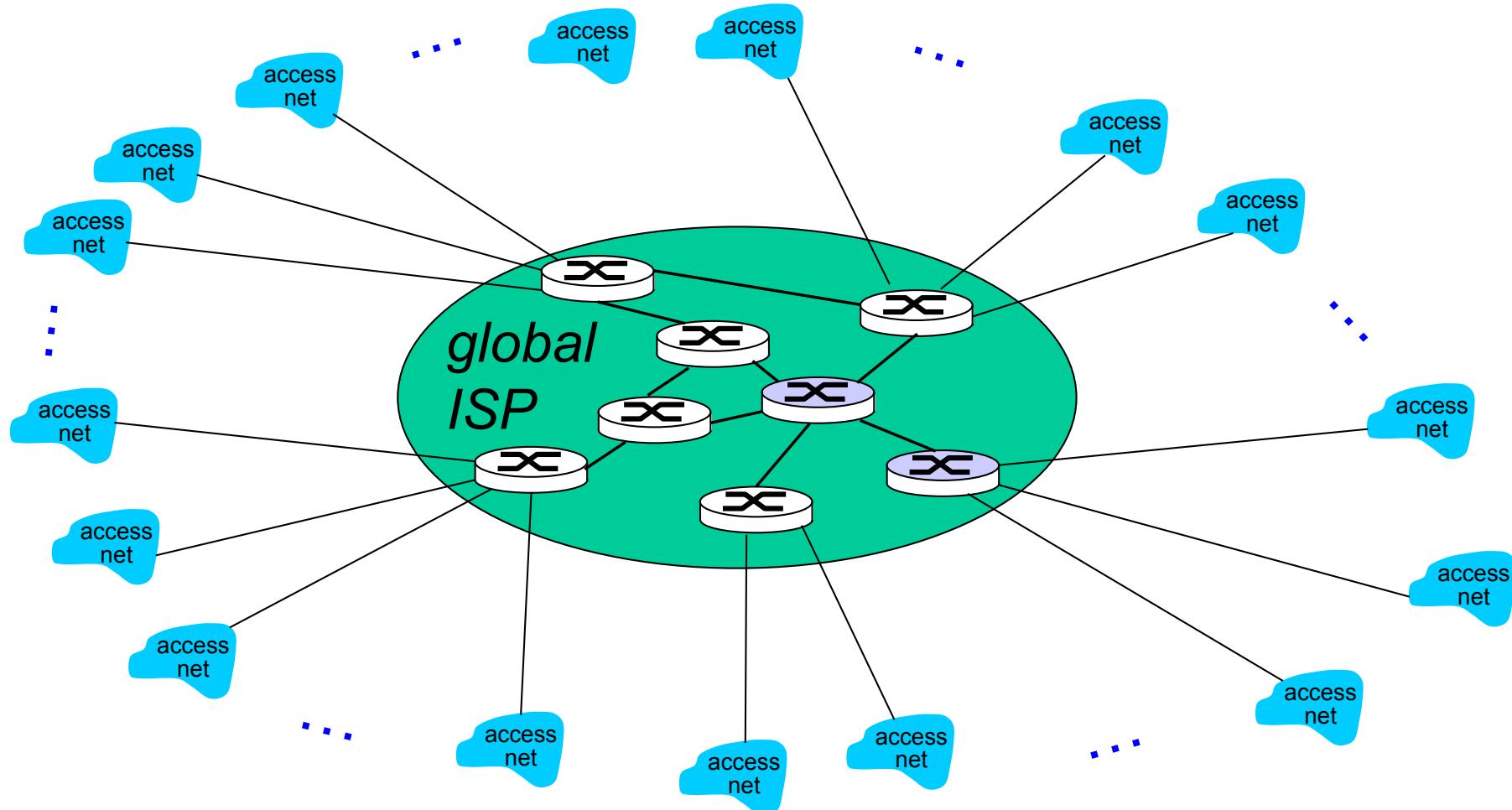
# Estrutura da Internet: Rede de Redes (III)

- **Opção 1:** conectar cada ISP a todos os outros diretamente?



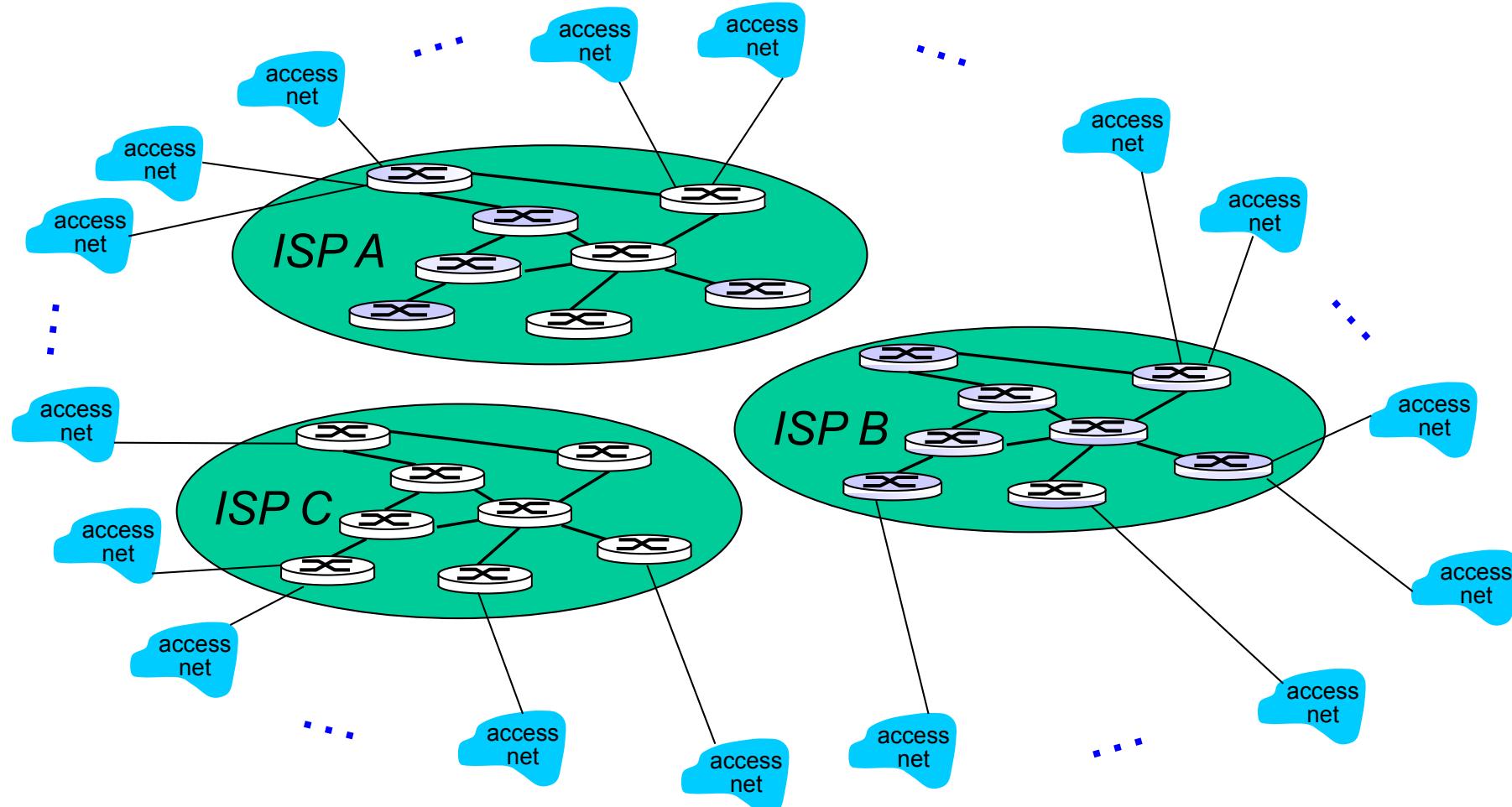
# Estrutura da Internet: Rede de Redes (IV)

- **Opção 2:** conectar cada ISP a um ISP Global?
  - ISP de acesso e global possuem acordo comercial.



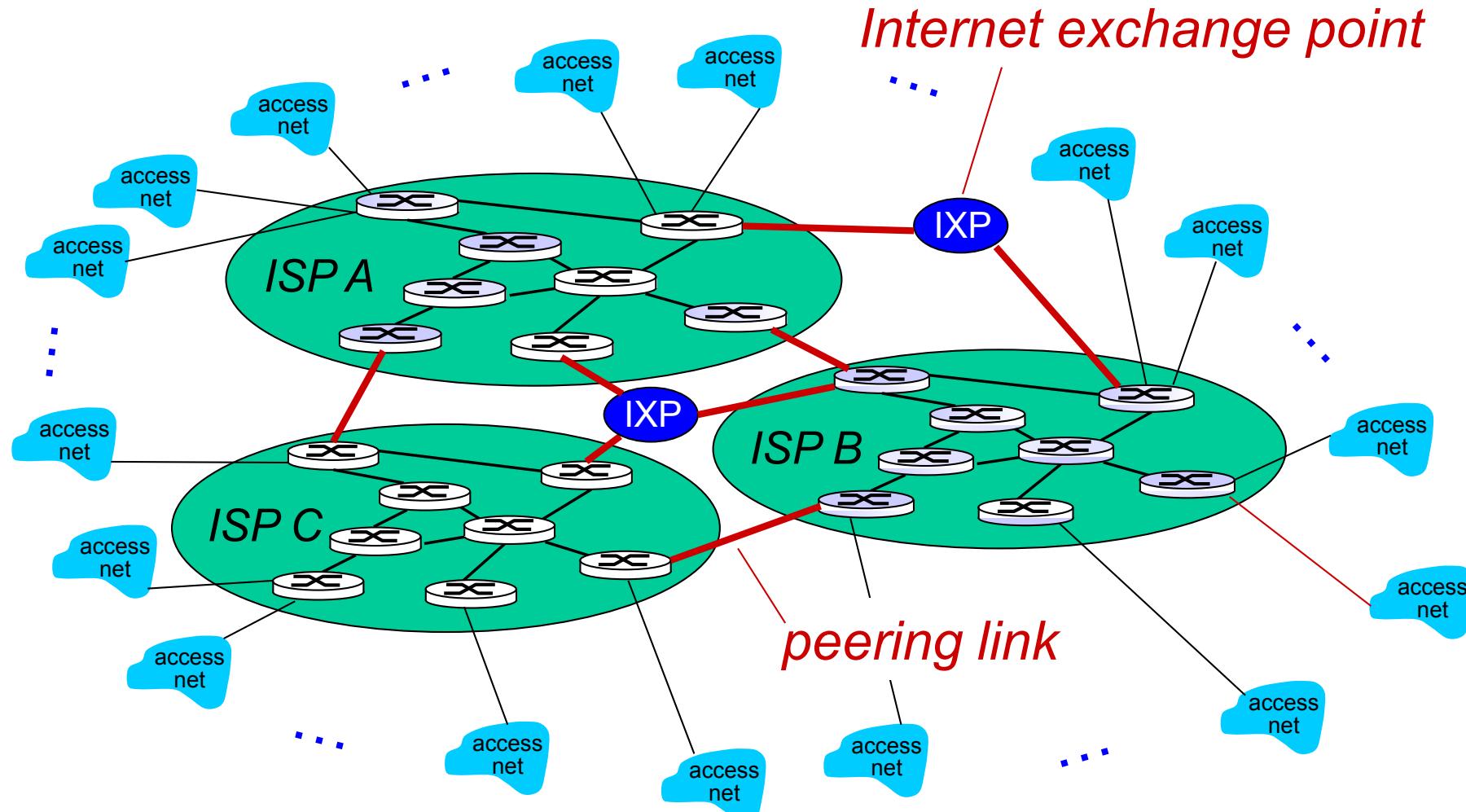
# Estrutura da Internet: Rede de Redes (V)

- Mas se um ISP global é um modelo de negócio viável, haverá competidores...



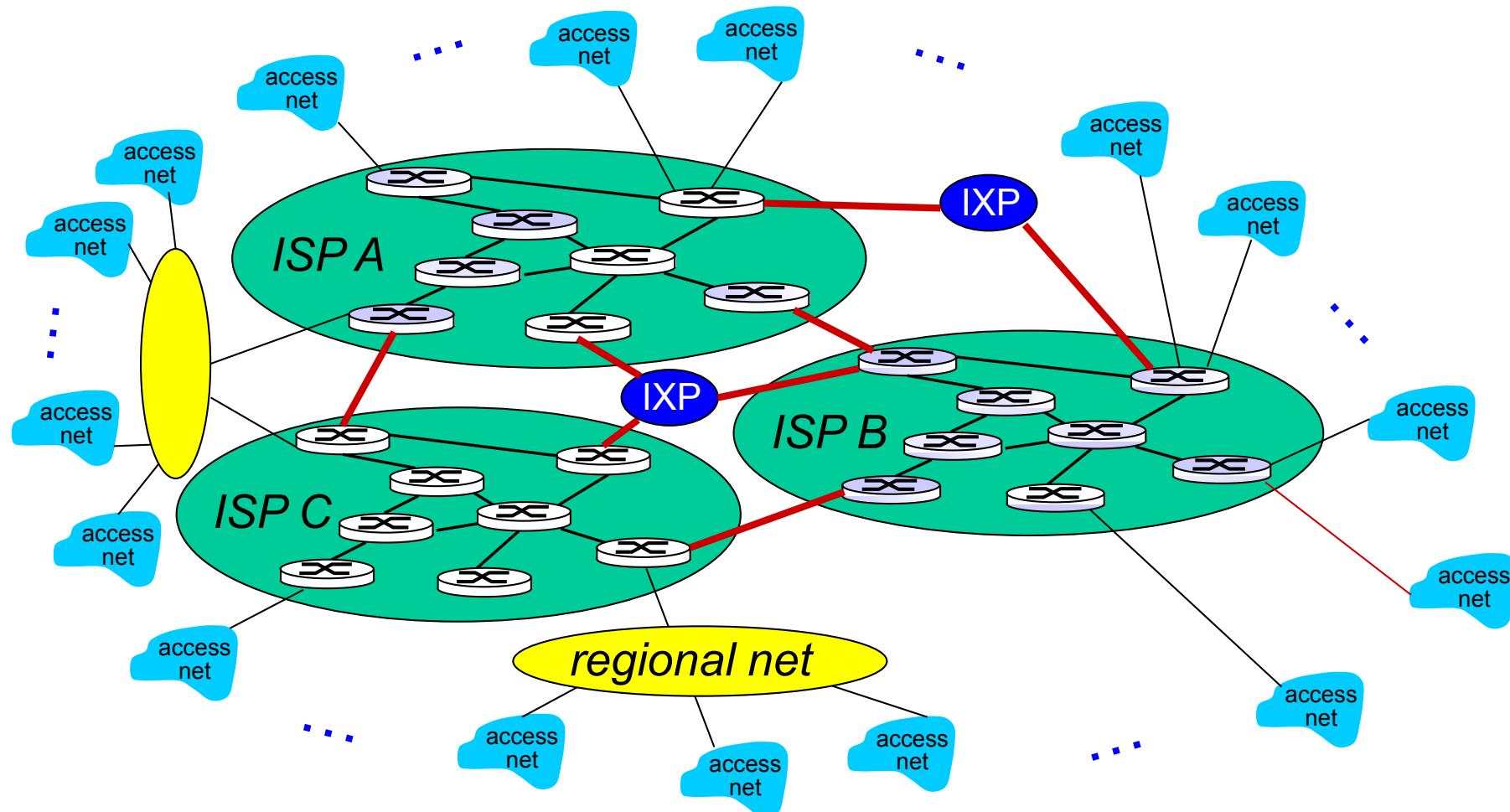
# Estrutura da Internet: Rede de Redes (VI)

- Mas se um ISP global é um modelo de negócio viável, haverá competidores...
  - ... que precisarão se interconectar de alguma forma.



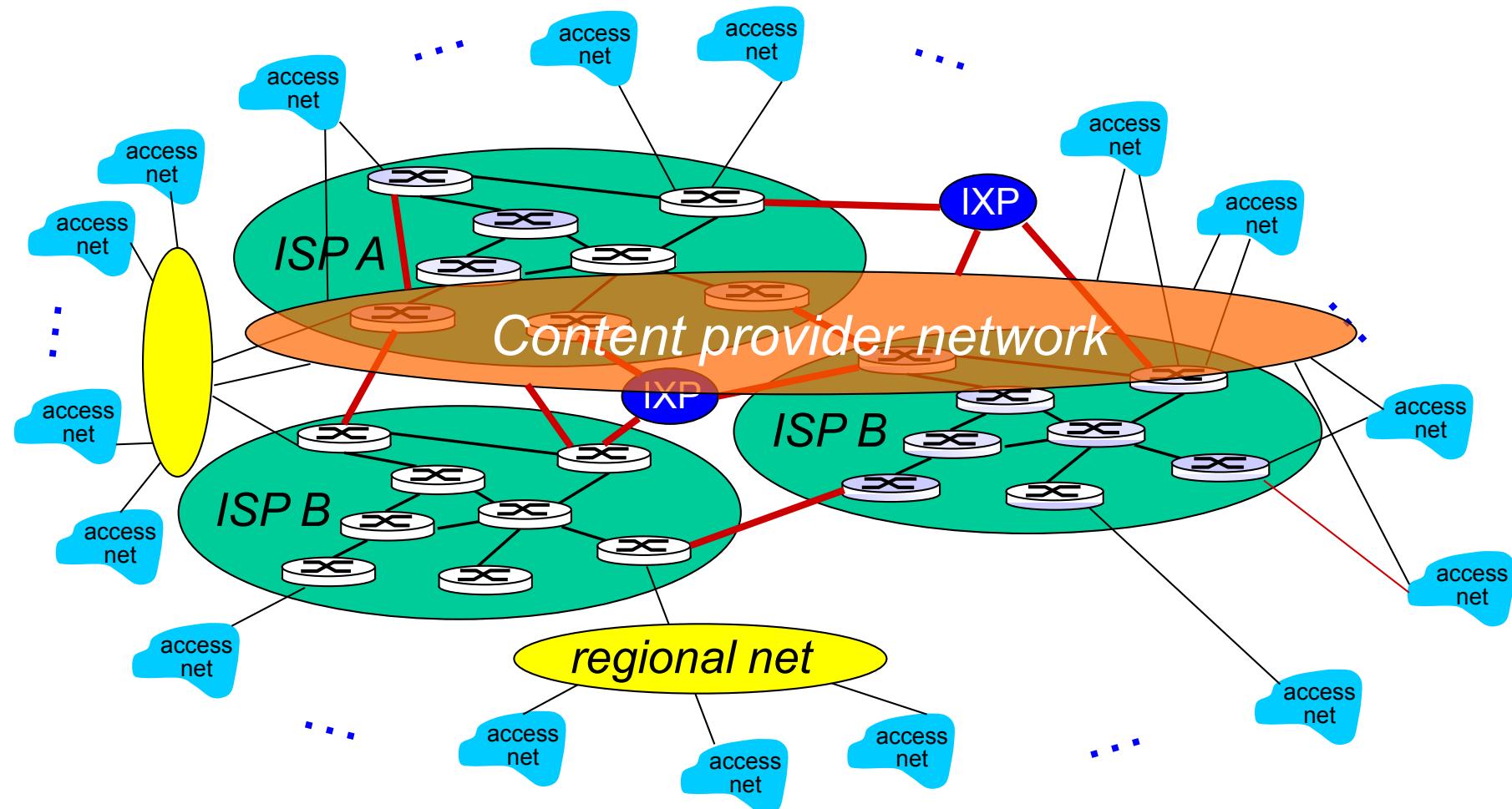
# Estrutura da Internet: Rede de Redes (VII)

- E talvez também haja espaço para **ISPs regionais**.
  - Interconectam ISPs de acesso aos ISPs globais.

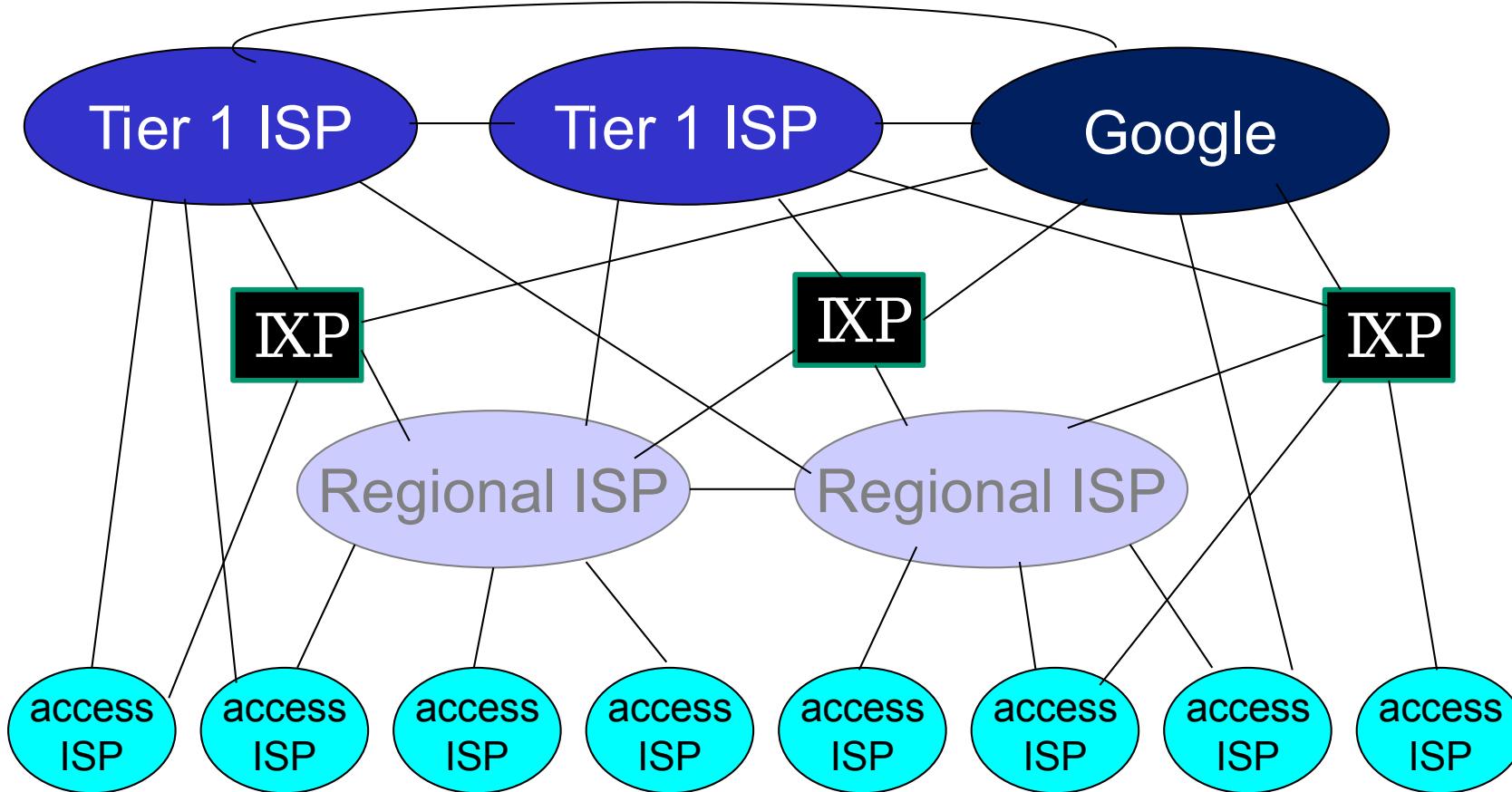


# Estrutura da Internet: Rede de Redes (VIII)

- E, quem sabe, **provedores de conteúdo** também queiram suas próprias redes.
  - Abrangência global, aproximam conteúdo dos usuários.

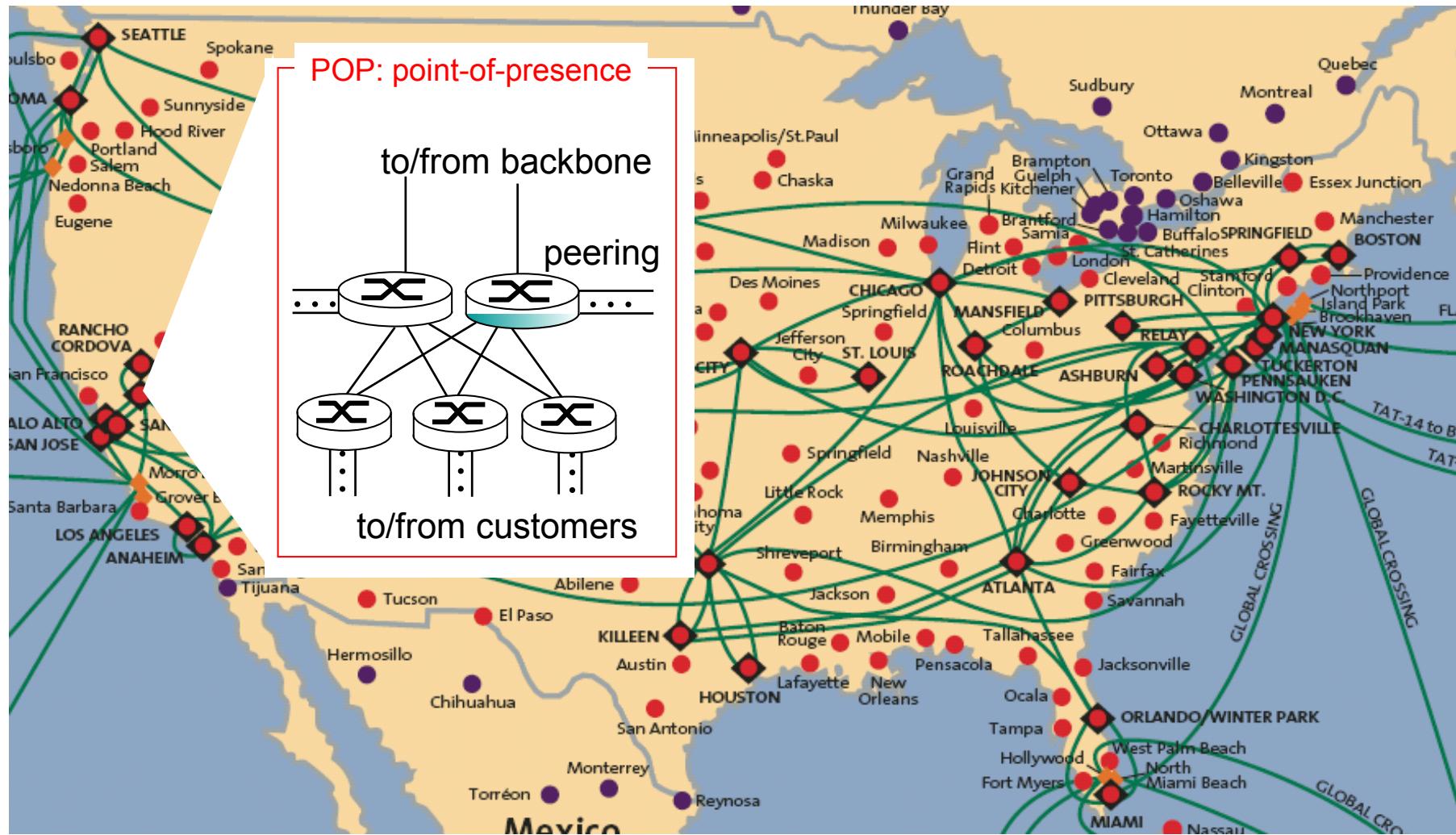


# Estrutura da Internet: Hierarquia dos ISPs



- No topo: pequeno número de grandes redes bem conectadas.
  - ISPs comerciais “tier-1” (e.g., Level 3, Sprint, AT&T), abrangência nacional e internacional.
  - **Redes de provedores de conteúdo** (e.g., Google): redes privadas, conectando *data centers* à Internet, geralmente pulando ISPs tier-1 e regionais.

# Estrutura da Internet: ISPs tier-1 (e.g., Sprint) e POPs



# O Que É um Protocolo?

- **Protocolos humanos:**

- “Que horas são?”
- “Posso fazer uma pergunta?”
- Apresentações.

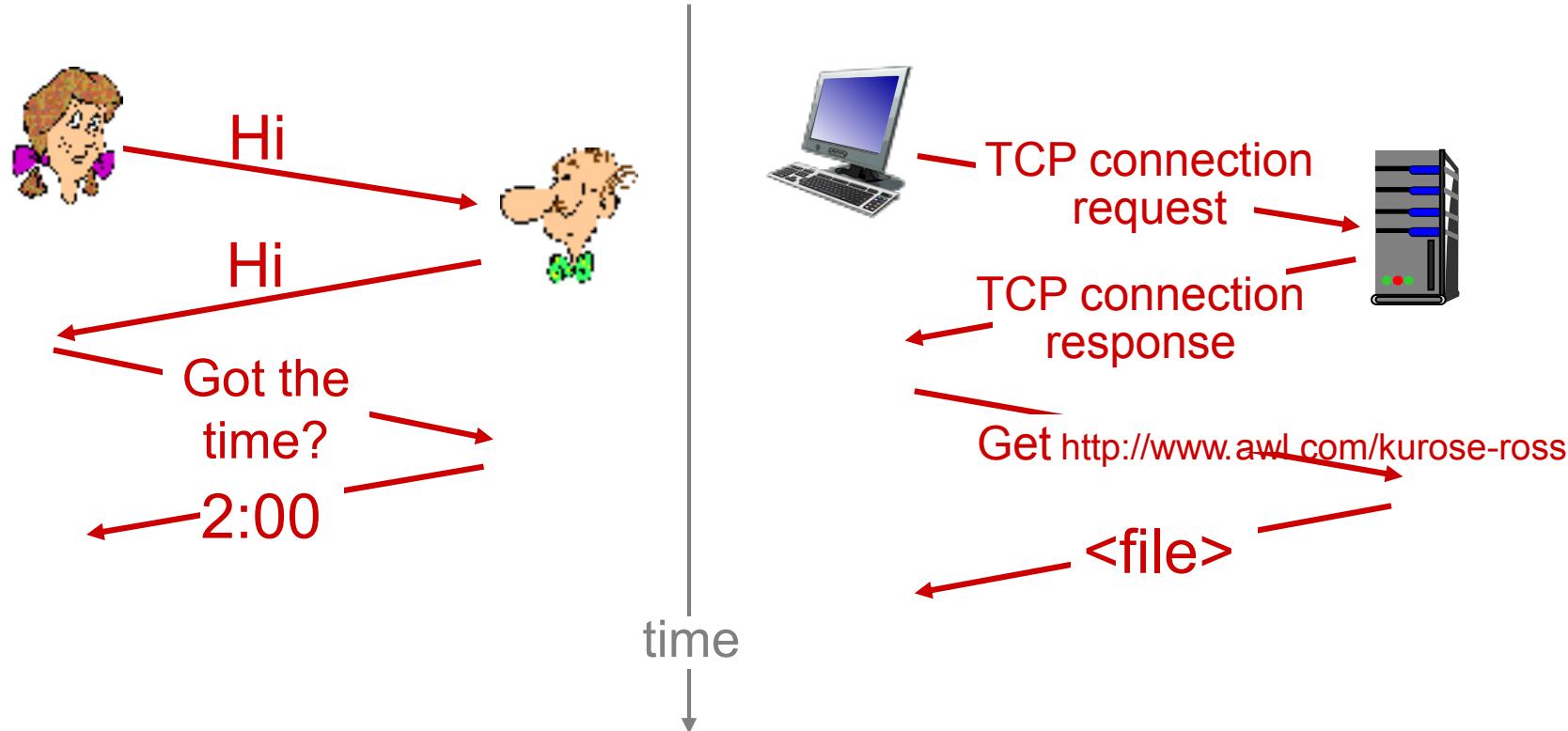
- Mensagens específicas são enviadas.
- Ações específicas são tomadas quando mensagens são recebidas, ou em outros eventos.

- **Protocolos de rede:**

- Computadores, ao invés de humanos.
  - Toda comunicação na Internet é governada por protocolos.
- **Garantem interoperabilidade** entre dispositivos heterogêneos.

Protocolos definem o **formato e a ordem** de **mensagens enviadas, recebidas** entre as entidades de rede, e quais **ações são tomadas** em cada evento.

# O Que São Protocolos: Exemplos



# Enlaces de Comunicação

- Ou *links*, em inglês.
- Interconectam **dois ou mais** dispositivos computacionais.
  - Ponto-a-ponto vs. compartilhados.
- Variam em termos de:
  - Meio físico.
  - Taxa de transmissão.
  - Comprimento/tempo de propagação.
  - Probabilidade de falhas na transmissão.
  - ...

# Enlaces de Comunicação: Meio Físico (I)

- O que existe “entre” transmissor e receptor.
- Transporta os bits.
  - Valor do bit transmitido corresponde a alguma **grandeza física mensurável**.
  - Tensão em um par de fios, intensidade luminosa, frequência de uma onda sonora, ...
- Transmissor manipula a grandeza, receptor a monitora.

- **Meios guiados:**

- Sinal se **propaga** ao longo de um meio sólido.
- Sinal é (praticamente) “confinado” ao meio.

- **Meios não-guiados:**

- Sinal se propaga de forma livre.
- Tende a se espalhar pelo espaço.

# Enlaces de Comunicação: Meio Físico (II)

- **Par-trançado:**

- Dois fios de cobre com isolamento.
- Categoria 5: Ethernet de 100 Mb/s, 1 Gb/s.
- Categoria 6: Ethernet de 10 Gb/s.



- **Cabo coaxial:**

- Dois condutores de cobre concêntricos.
- Bidirecional.
- Banda larga:
  - Múltiplos canais em um mesmo cabo.
  - HFC.



# Enlaces de Comunicação: Meio Físico

- **Fibra óptica:**

- Fibra de vidro carregando pulsos de luz, cada pulso um bit.
- Altas velocidade de transmissão ponto-a-ponto: dezenas a centenas de Gb/s.
  - Em laboratório, 15,5 Tb/s em enlace de 7000 Km.
- Baixa ocorrência de erros de transmissão.
  - Enlaces longos, com poucos repetidores.
  - Imune a interferências eletromagnéticas.



- **Rádio:**

- Sinal transportado no espectro eletromagnético.
- Sem “cabos”.
- Bidirecional.
- Susceptível a diversos fenômenos do ambiente:
  - Reflexão.
  - Obstrução.
  - Interferência.
- Diversos tipos:
  - Microondas terrestres.
  - LAN (e.g., Wi-Fi).
  - WAN (e.g., 3G, 4G, WiMax).
  - Satélite.

# Enlaces de Comunicação: Taxa de Transmissão

- O quanto rapidamente os bits são “colocados” no canal.
  - e.g., os quanto rápidos são os pulsos em uma fibra óptica.
- Também chamada de: capacidade do enlace, banda, largura de banda.
- Quanto maior a taxa de transmissão, **menor o tempo necessário para transmitir um pacote.**
  - Para um pacote de  $L$  bits, enlace de capacidade  $R$  b/s:

$$\text{Tempo para colocar bits no canal} = \frac{L(\text{bits})}{R(\text{bits/s})}$$

- **Importante: este tempo não é o tempo total de transmissão do pacote pelo enlace!!!**

# Enlaces de Comunicação: Propagação

- Uma vez colocado no enlace, bit **não** chega instantaneamente no receptor.
- Ele precisa se **propagar** pelo meio de transmissão.
  - e.g., uma onda sonora que se propaga no ar a 340 m/s.
- Cada meio de transmissão tem sua velocidade de propagação do sinal.
  - Depende do tipo de sinal, características do meio, ...
- Dado o **comprimento do canal (d)** e velocidade de propagação (s), tem-se o tempo de propagação:

$$\text{Tempo de propagação de um bit} = \frac{d}{s}$$

- **Importante: completamente independente da capacidade do enlace e do número de bits do pacote!!!**

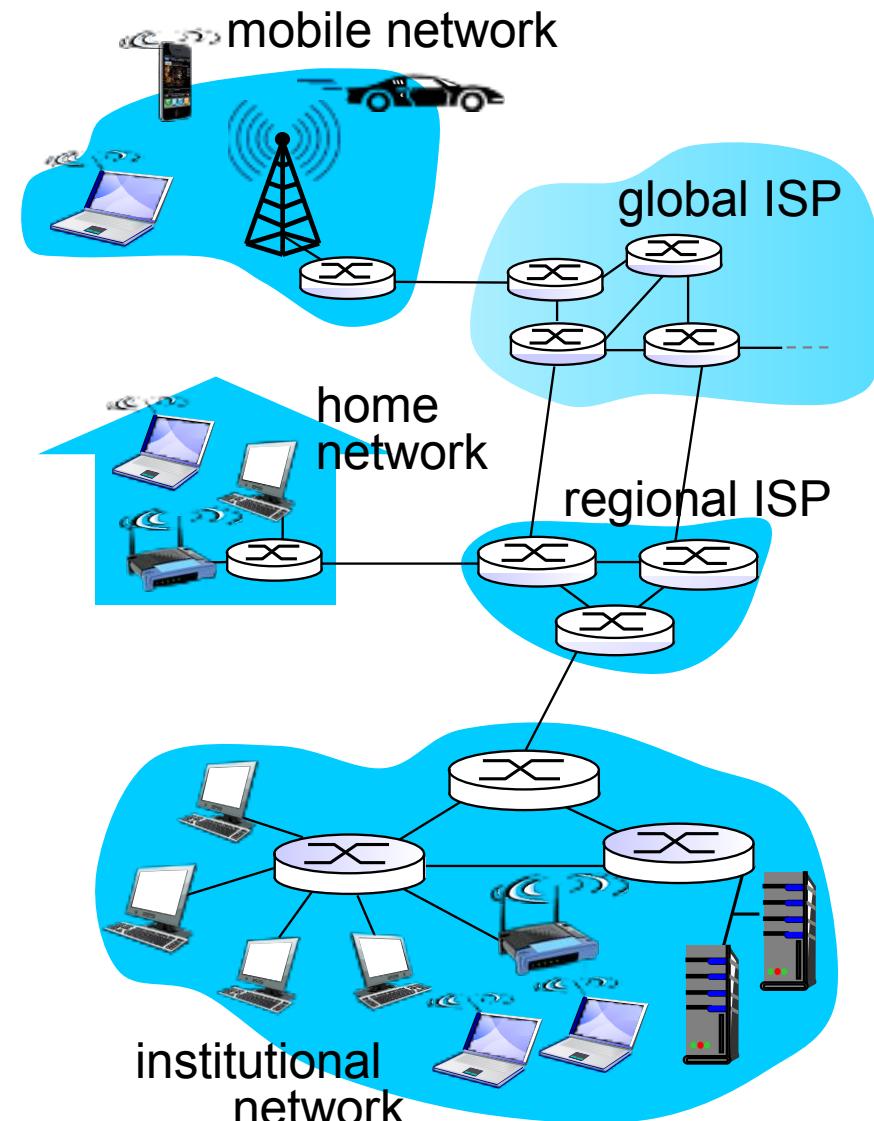
# Enlaces de Comunicação: Probabilidade de Falha

- Toda transmissão em um enlace **pode falhar**.
  - Interferências, mau-contato, falhas de *hardware*, ...
- Por qualquer motivo, receptor **não é capaz de entender conteúdo do pacote**.
- Em redes de **comutação de pacotes**, pacote transmitido é **completamente perdido**.
- Alguns enlaces são mais propensos a falhas que outros.
  - e.g., enlaces de rádio são muito propensos, enlaces de fibra óptica são pouco propensos.
- Transmissões mal-sucedidas reduzem o desempenho do enlace.

# Arquitetura da Internet

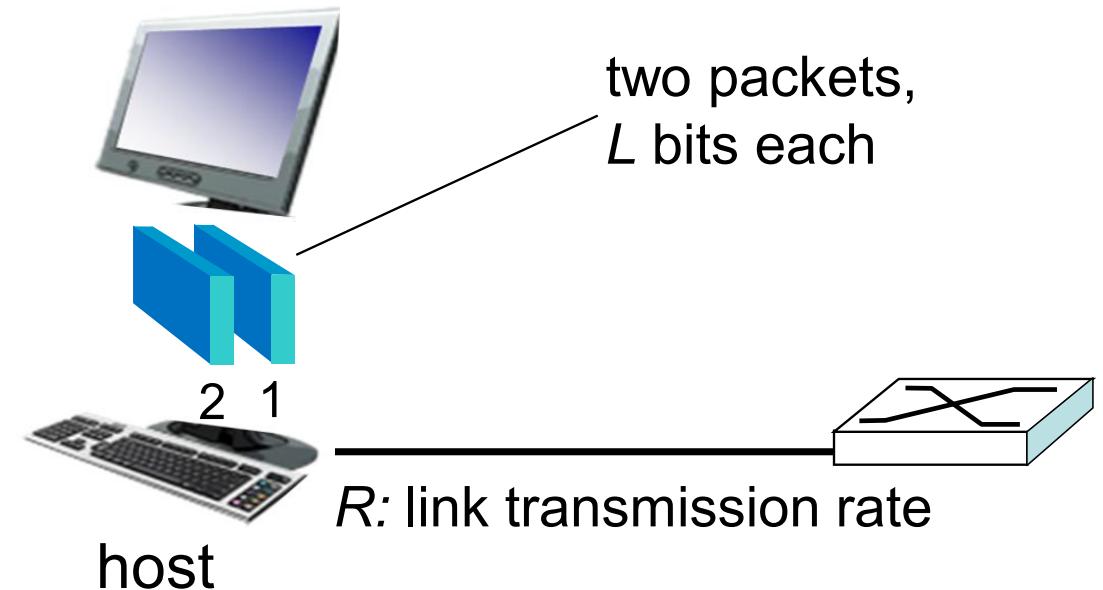
# Olhando Mais de Perto para a Estrutura da Rede

- Internet pode ser dividida em duas “zonas”:
  - Borda da rede.
  - Núcleo da rede.
- **Borda da rede:**
  - Hosts: clientes e servidores.
  - Redes de acesso: interconectam hosts ao resto da Internet.
- **Núcleo da rede:**
  - Roteadores interconectados.
  - Rede de redes.
- **Roteadores de borda:** conectam elementos da borda ao núcleo da Internet.



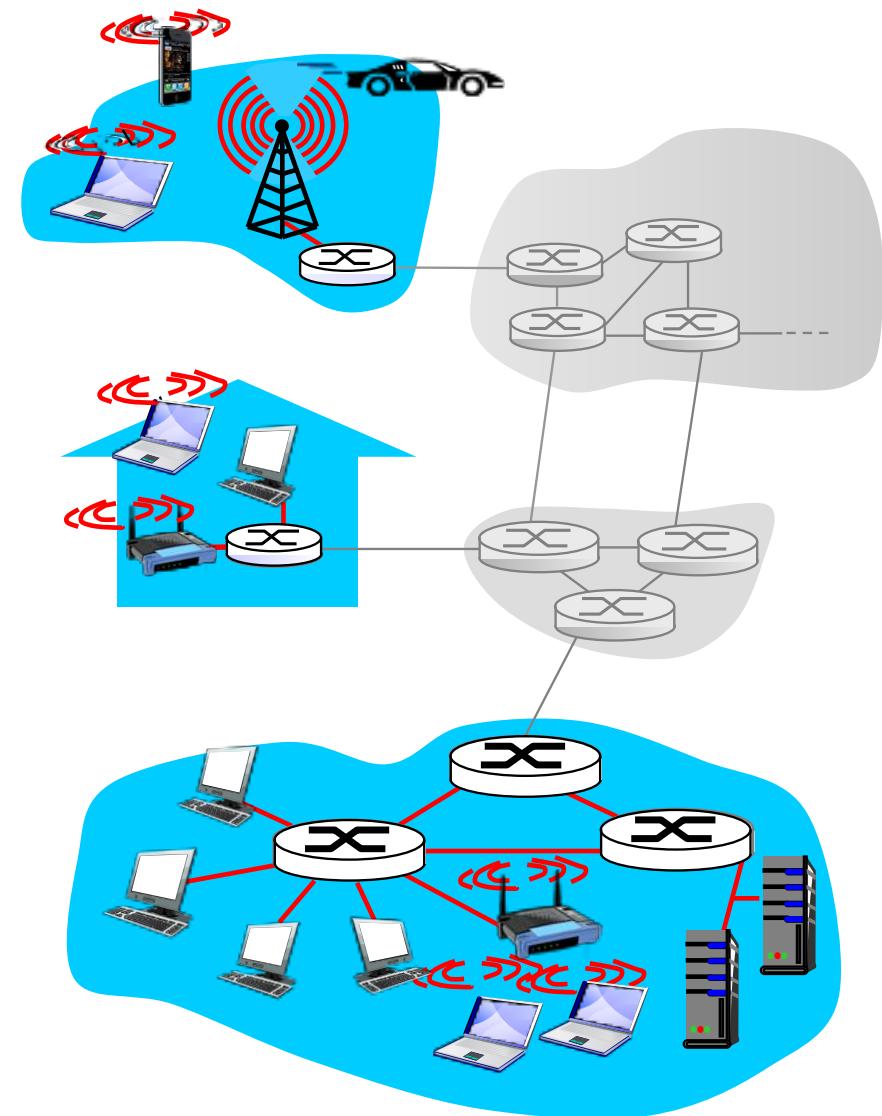
# Borda da Rede: Hosts

- Executam as aplicações.
- Aplicações geram mensagens.
- Host quebra mensagem em unidades menores, chamadas **pacotes**.
- Pacotes são transmitidos através do enlace **na sua taxa de transmissão**.

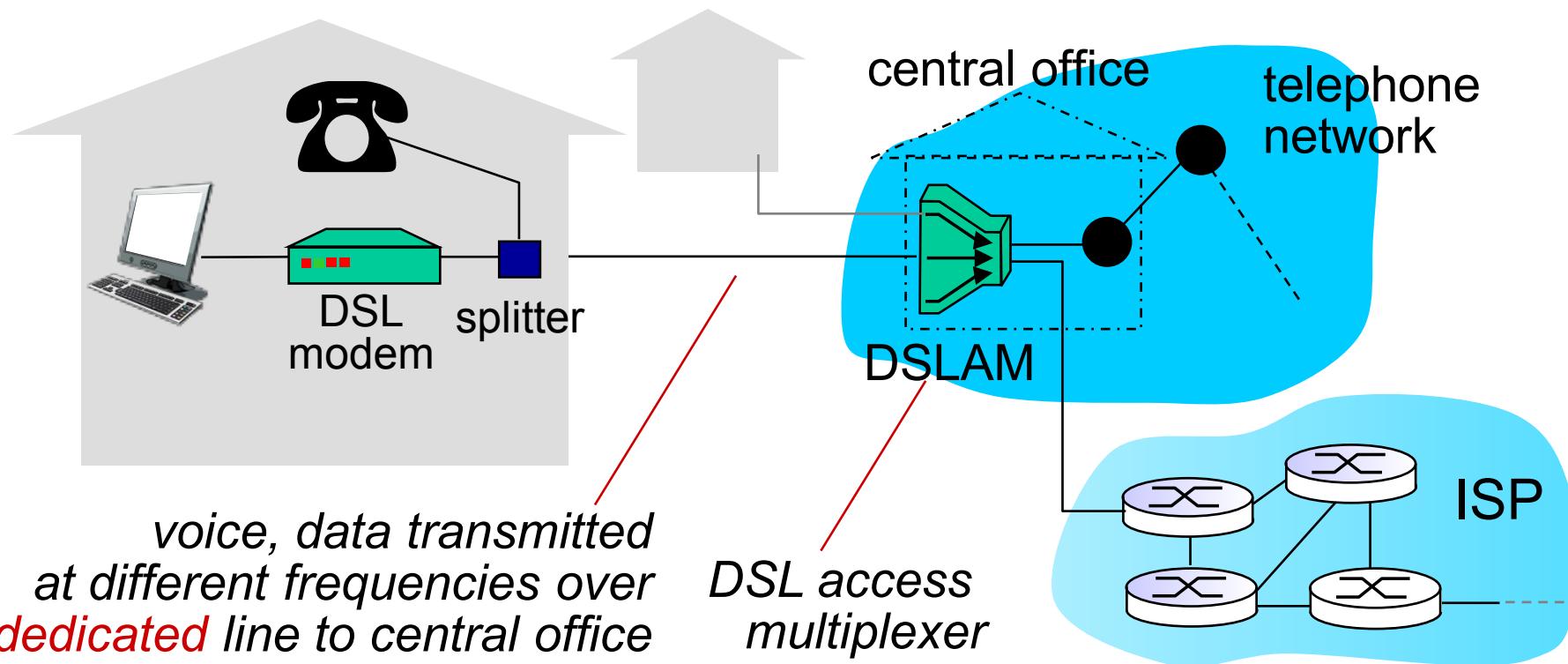


# Borda da Rede: Redes de Acesso

- Interconectam hosts ao roteador de borda.
  - Redes de acesso residenciais.
  - Redes de acesso institucionais (Universidades, empresas).
  - Redes de acesso móveis.
- Aspectos importantes:
  - Capacidade da rede de acesso.
  - Dedicada ou compartilhada?

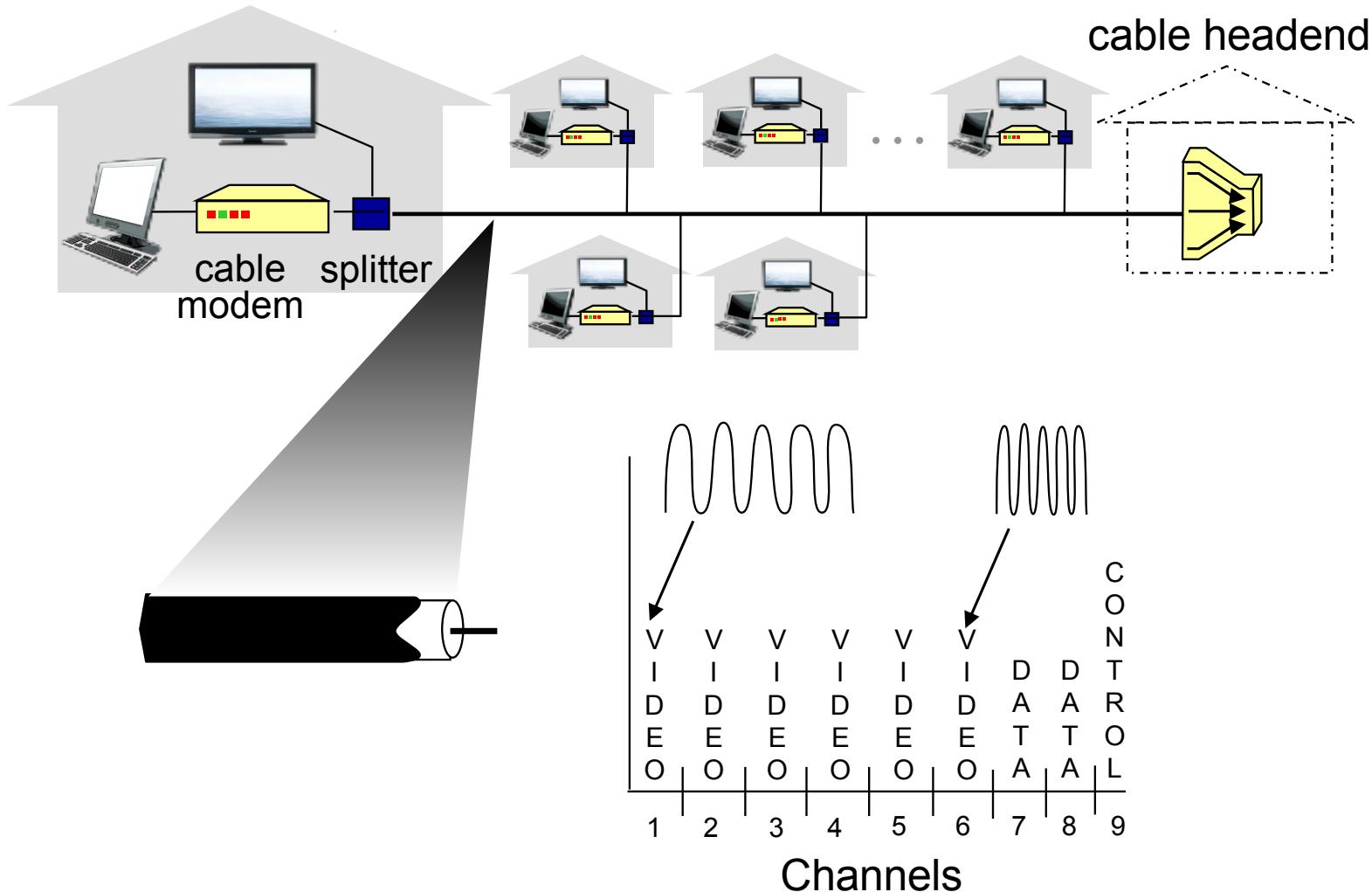


# Redes de Acesso: DSL



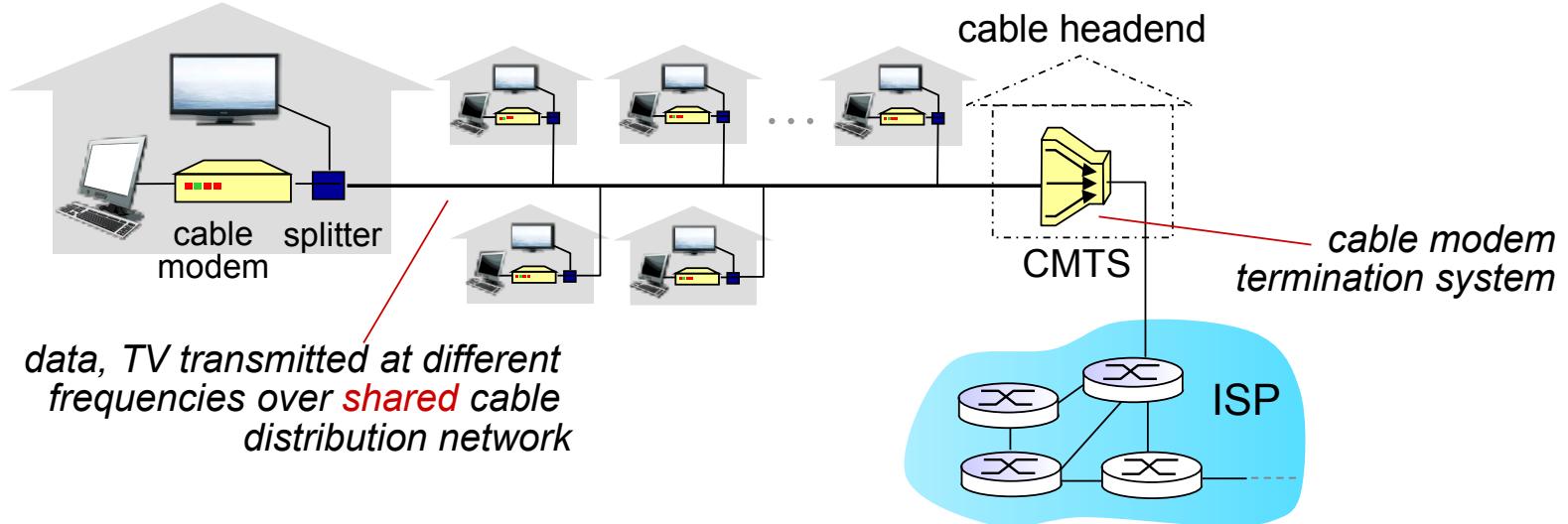
- Utiliza infraestrutura de telefonia **existente** até o DSLAM.
  - Dados vão para a Internet.
  - Voz vai para a rede telefônica.
- $\leq 3.3$  Mb/s de taxa upstream.
- $\leq 24$  Mb/s de taxa downstream.

# Redes de Acesso: HFC (I)



- **Multiplexação por divisão na frequência:** diferentes canais transmitidos em diferentes bandas de frequência.

# Redes de Acesso: HFC (II)



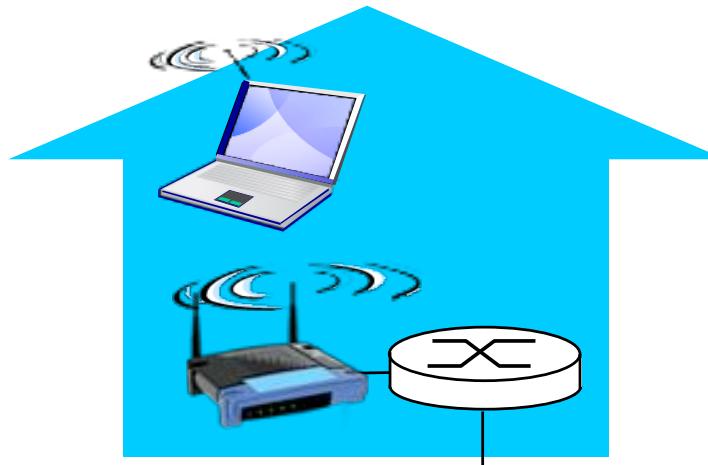
- **HFC:** Hybrid Fiber Coax.
  - Assimetria: até 30 Mb/s de *download*, 2 Mb/s de *upload*.
  - Rede híbrida de cabos coaxiais, fibra óptica, conecta casas a roteador do ISP.
    - Casas **compartilham rede de acesso** até a central.
    - Diferente do DSL, que possui acesso dedicado.

# Redes de Acesso: Redes Sem Fio

- Rede de acesso sem fio compartilhada conecta hosts a roteador.
  - Através de **estação base**, também denominada “ponto de acesso”.

- **LANs sem fio:**

- Normalmente usadas dentro de edifícios (dezenas de metros).
- IEEE 802.11b/g/n/ac: 11 Mb/s, 54 Mb/s, 300 Mb/s, 1,69 Gb/s.



*to Internet*

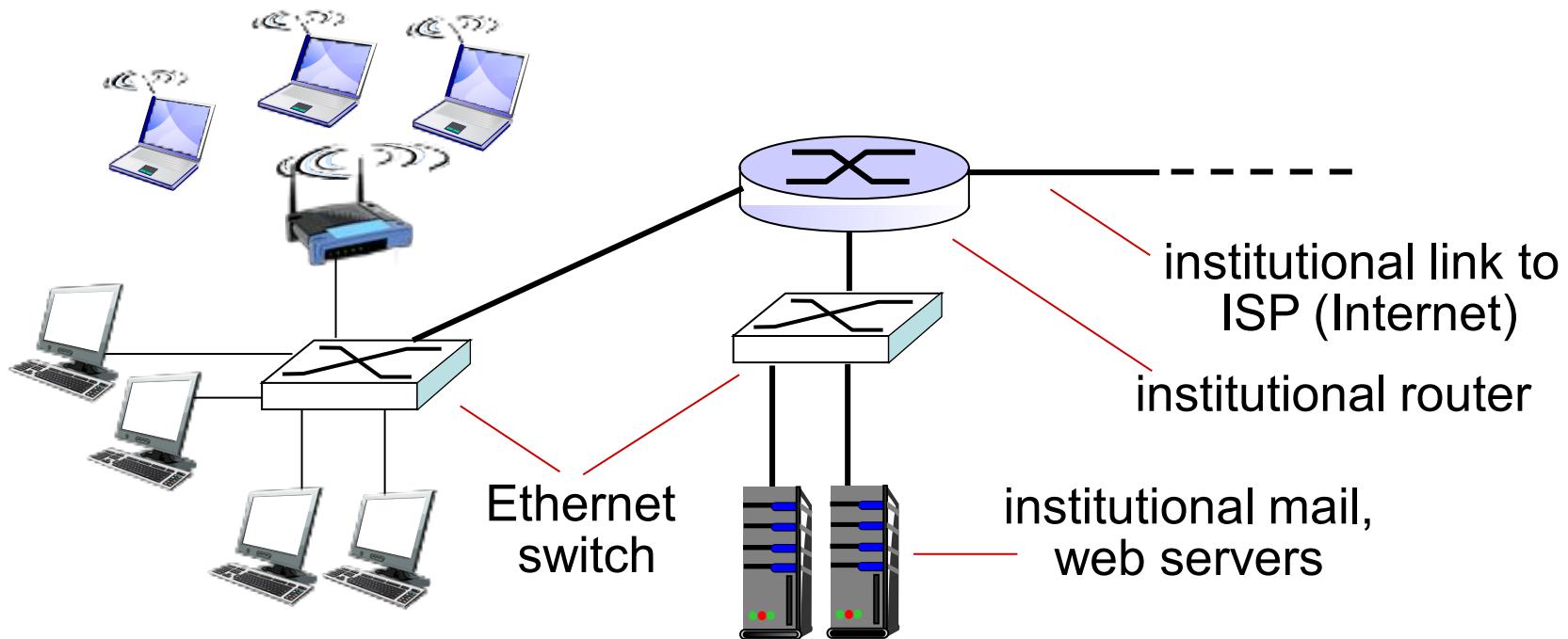
- **WAN sem fio:**

- Providas por operadoras de celular (dezenas de quilômetros).
- Entre 1 e 10 Mb/s.
- 3G, 4G: LTE.



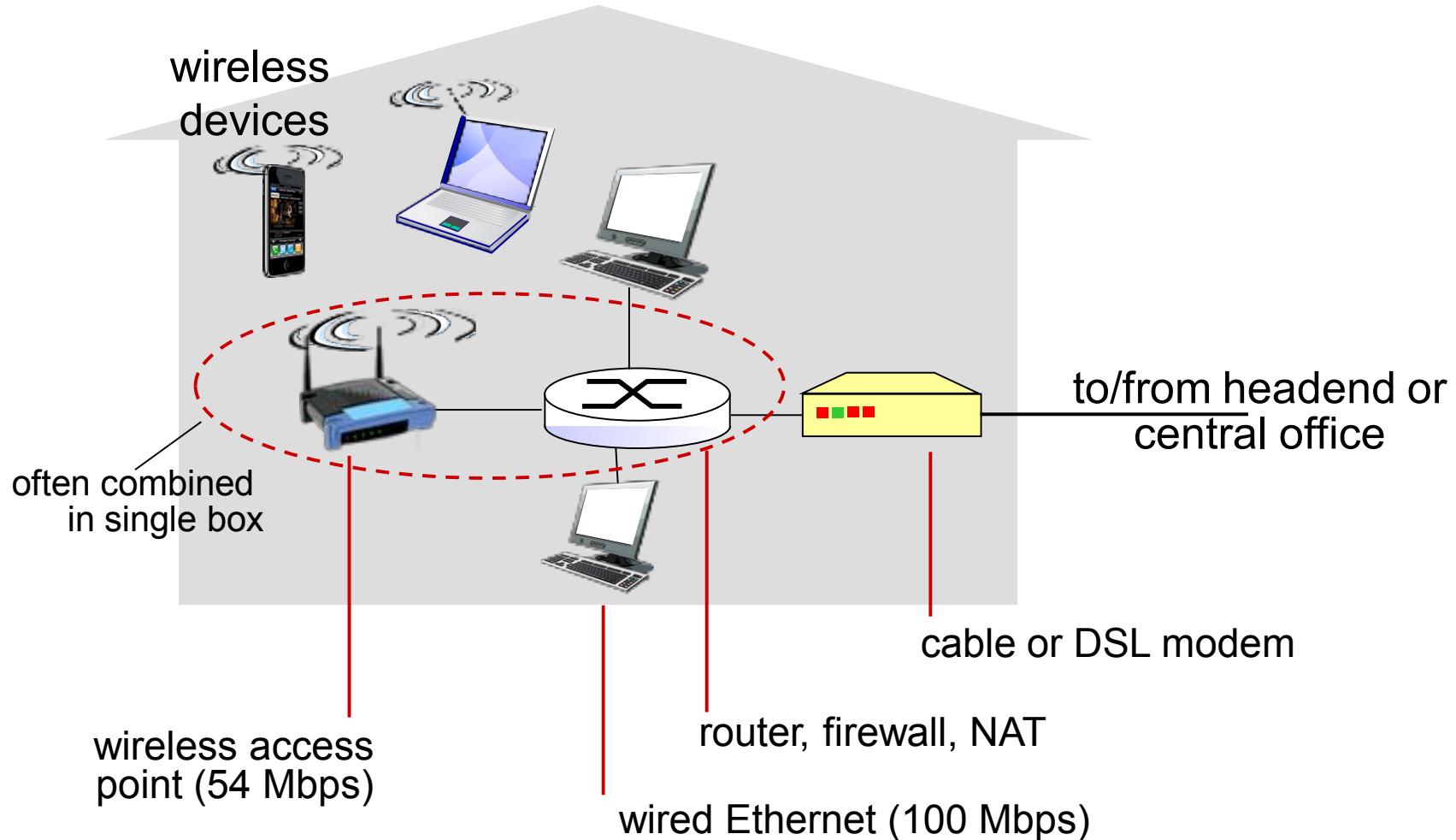
*to Internet*

# Redes de Acesso Institucionais



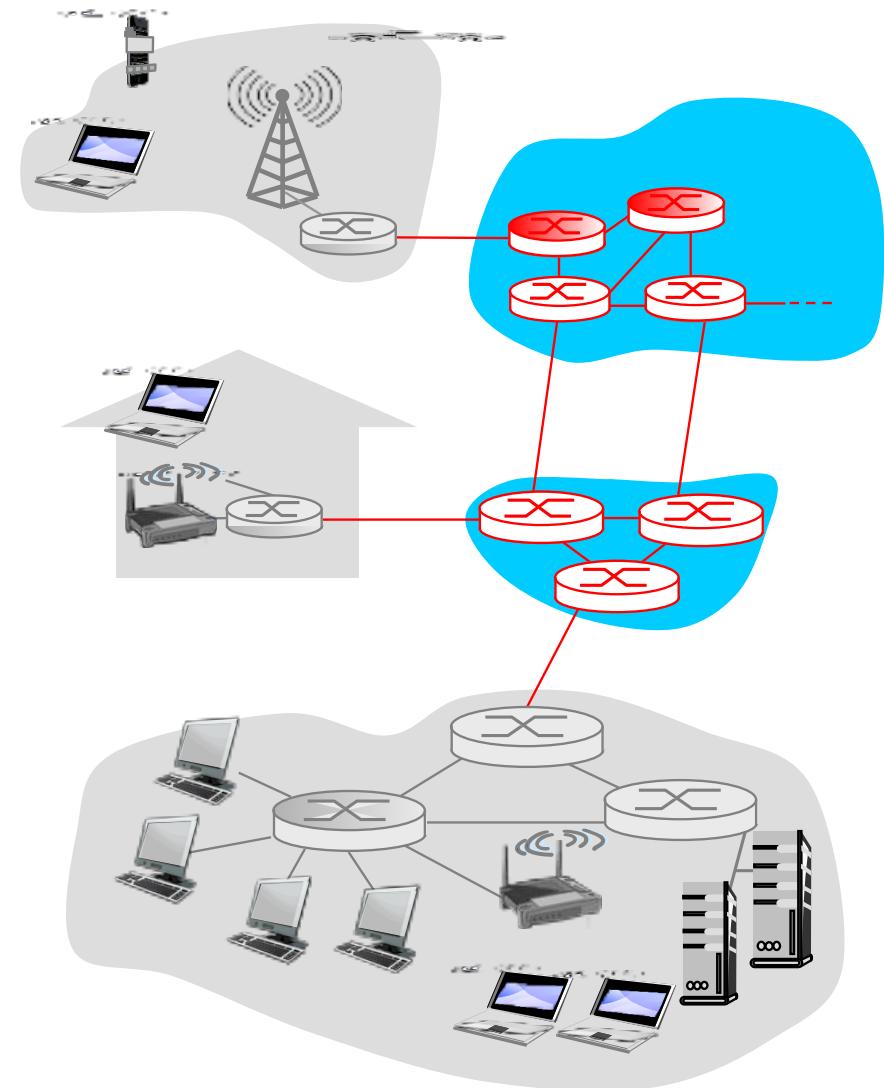
- Tipicamente usadas em empresas, universidades.
- Taxas de transmissão de 10 Mb/s, 100 Mb/s, 1 Gb/s, 10 Gb/s.
- Hoje, hosts comumente se conectam a switches Ethernet.
  - Outro tipo de comutador, tópico de Redes II.

# Redes de Acesso Domésticas



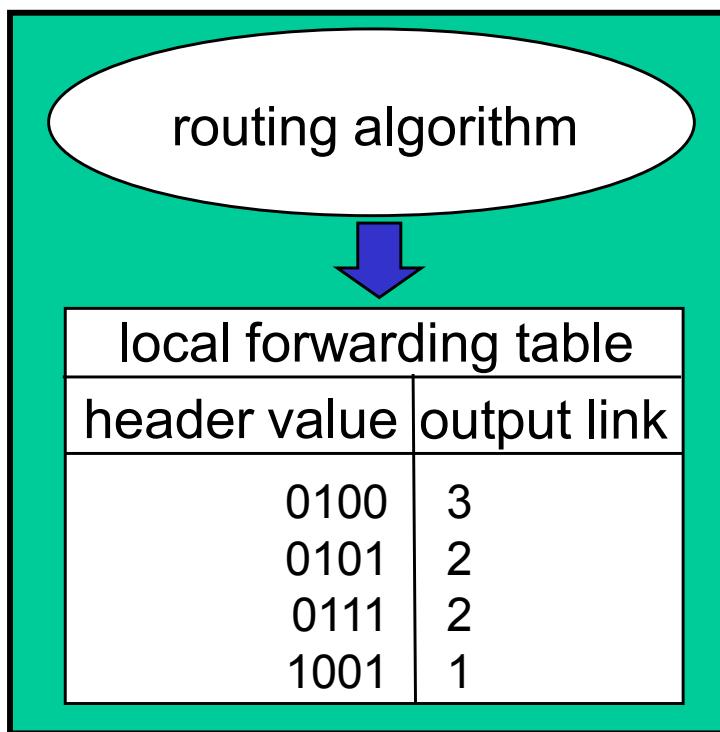
# Núcleo da Rede

- Malha de **roteadores** interconectados.
  - Malha = múltiplos caminhos possíveis.
- **Comutação de pacotes:** hosts quebram mensagens das aplicações em **pacotes**.
  - Pacotes **encaminhados** de um roteador para o próximo, passando pelos enlaces entre origem e destino.
  - Cada pacote transmitido na capacidade máxima do enlace.

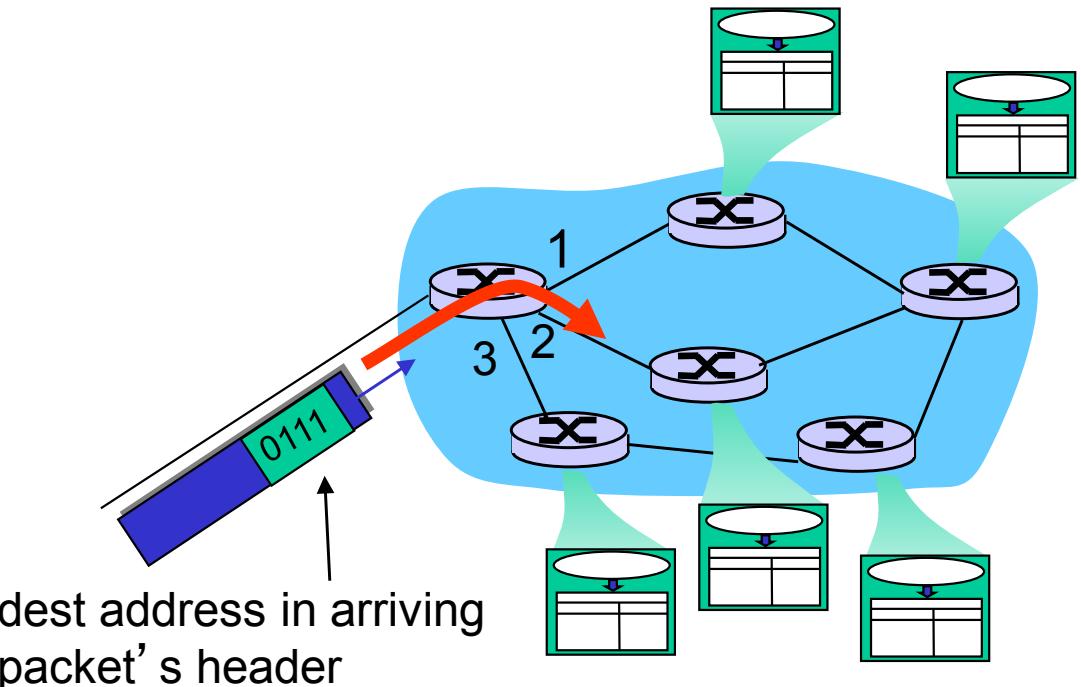


# Núcleo da Rede: Encaminhamento vs. Roteamento

- **Roteamento:** determina rota entre origem e destino usada pelos pacotes.
  - Algoritmos de roteamento.

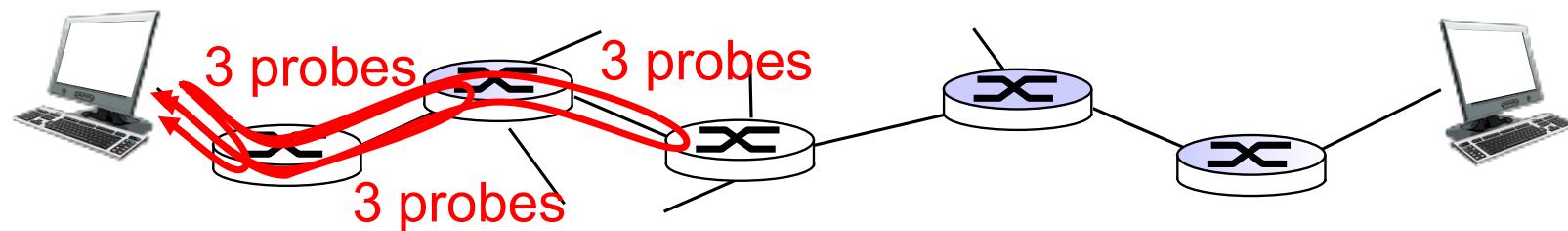


- **Encaminhamento:** mover pacotes de um **enlace de entrada** para um **enlace de saída** do roteador.



# Rotas na Internet (I)

- Com o que rotas “reais” da Internet se parecem?
- **traceroute**: programa capaz de “descobrir” rotas usadas por pacotes entre uma origem e um destino.
- Para cada **salto** i:
  - Envia pacote até o i-ésimo roteador no caminho.
  - Roteador intermediário retorna resposta.
  - Transmissor cronometra intervalo entre transmissão e resposta.
  - Processo é repetido três vezes.

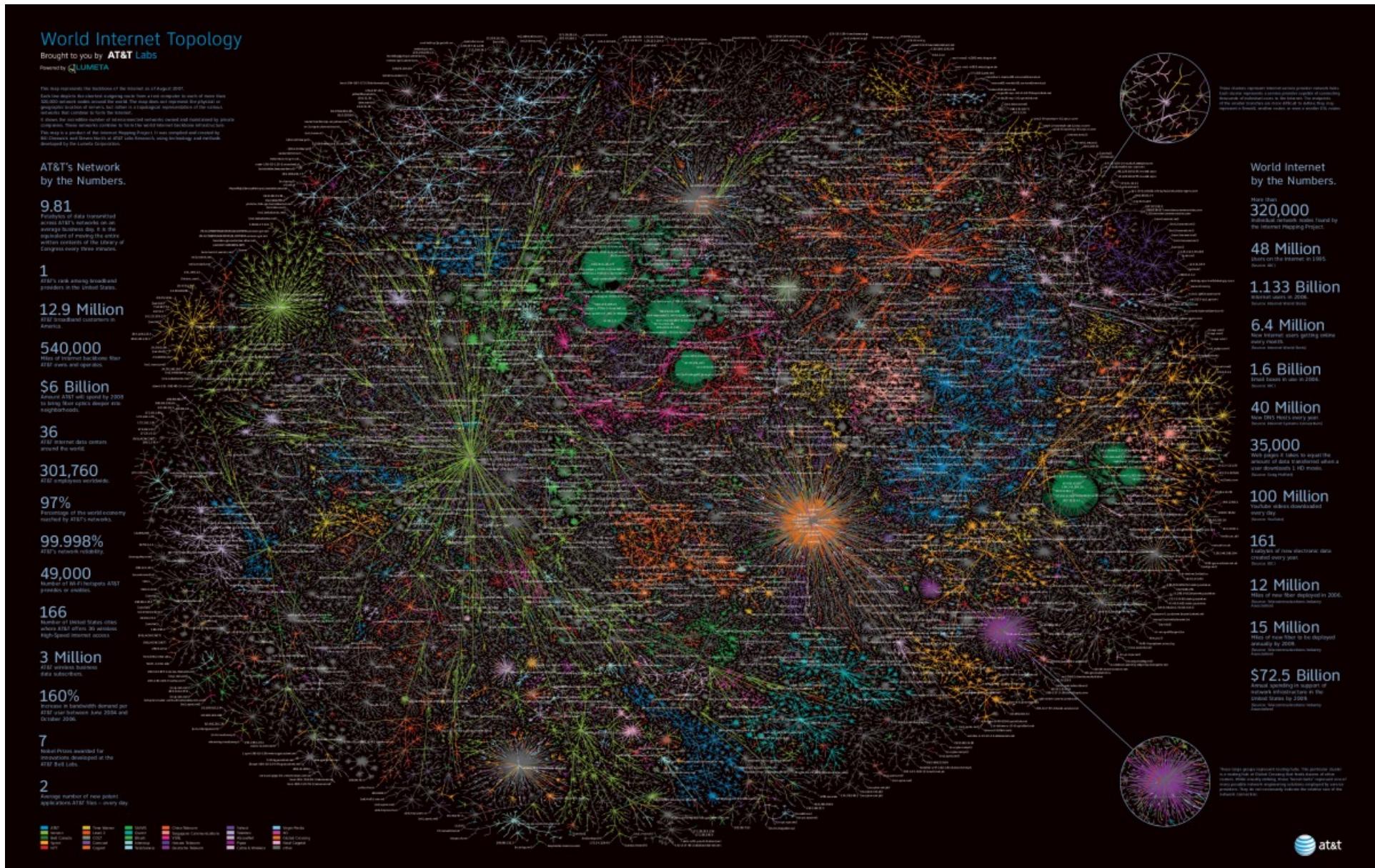


# Rotas na Internet (II)

- Exemplo: de `gaia.cs.umass.edu` para `www.eurecom.fr`.

```
1 cs-gw (128.119.240.254) 1 ms 1 ms 2 ms
2 border1-rt-fa5-1-0.gw.umass.edu (128.119.3.145) 1 ms 1 ms 2 ms
3 cht-vbns.gw.umass.edu (128.119.3.130) 6 ms 5 ms 5 ms
4 jn1-at1-0-0-19.wor.vbns.net (204.147.132.129) 16 ms 11 ms 13 ms
5 jn1-so7-0-0-0.wae.vbns.net (204.147.136.136) 21 ms 18 ms 18 ms
6 abilene-vbns.abilene.ucaid.edu (198.32.11.9) 22 ms 18 ms 22 ms
7 nycm-wash.abilene.ucaid.edu (198.32.8.46) 22 ms 22 ms 22 ms
8 62.40.103.253 (62.40.103.253) 104 ms 109 ms 106 ms
9 de2-1.de1.de.geant.net (62.40.96.129) 109 ms 102 ms 104 ms
10 de.frl.fr.geant.net (62.40.96.50) 113 ms 121 ms 114 ms
11 renater-gw.frl.fr.geant.net (62.40.103.54) 112 ms 114 ms 112 ms
12 nio-n2.cssi.renater.fr (193.51.206.13) 111 ms 114 ms 116 ms
13 nice.cssi.renater.fr (195.220.98.102) 123 ms 125 ms 124 ms
14 r3t2-nice.cssi.renater.fr (195.220.98.110) 126 ms 126 ms 124 ms
15 eurecom-valbonne.r3t2.ft.net (193.48.50.54) 135 ms 128 ms 133 ms
16 194.214.211.25 (194.214.211.25) 126 ms 128 ms 126 ms
17 * * *
18 * * *
19 fantasia.eurecom.fr (193.55.113.142) 132 ms 128 ms 136 ms
```

# Uma “Foto” da Internet



(Fonte: [http://www.research.att.com/export/sites/att\\_labs/groups/infovis/news/img/ATT\\_Labs\\_InternetMap\\_0730\\_10.pdf](http://www.research.att.com/export/sites/att_labs/groups/infovis/news/img/ATT_Labs_InternetMap_0730_10.pdf))