

Aula 2 - Internet: Arquitetura e Filosofias de Projeto

Diego Passos

Universidade Federal Fluminense

Redes de Computadores I

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

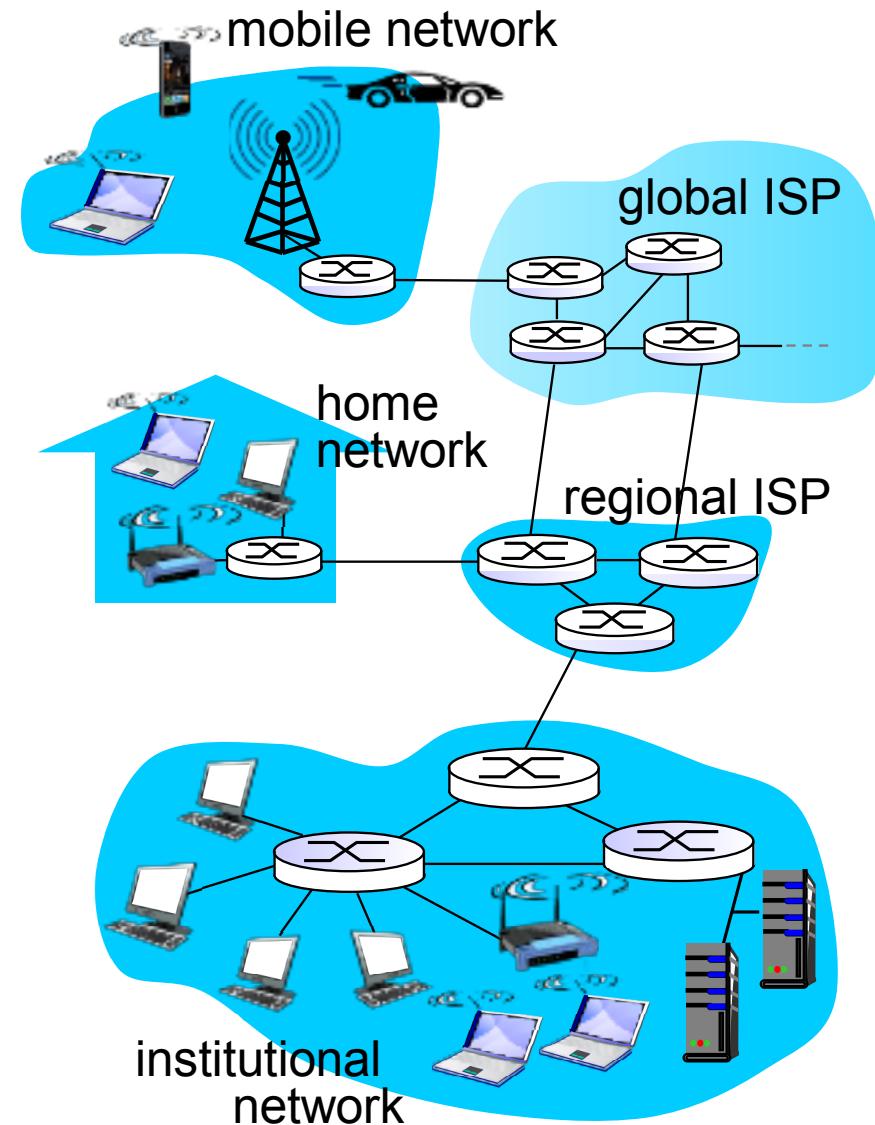
Revisão da Última Aula...

- Componentes da Internet:
 - Hosts, comutadores, (roteadores), enlaces.
- Várias visões da Internet:
 - Rede de redes, **ISPs** interconectados.
 - Serviço para aplicações.
- Estrutura da Internet:
 - ISPs de acesso, regionais, tier-1.
 - Redes de provedores de conteúdo.
 - PoP: Point-of-Presence.
 - Interconexão entre ISP e outras redes.
- Protocolos:
 - Convenções de comunicação.
 - Definem formatos de mensagens, ações.
 - Necessários para possibilitar comunicação entre elementos heterogêneos.
- Enlaces:
 - Interligam dois ou mais dispositivos computacionais.
 - Variam em: meio físico, taxa de transmissão, comprimento/propagação, confiabilidade, ...

Arquitetura da Internet

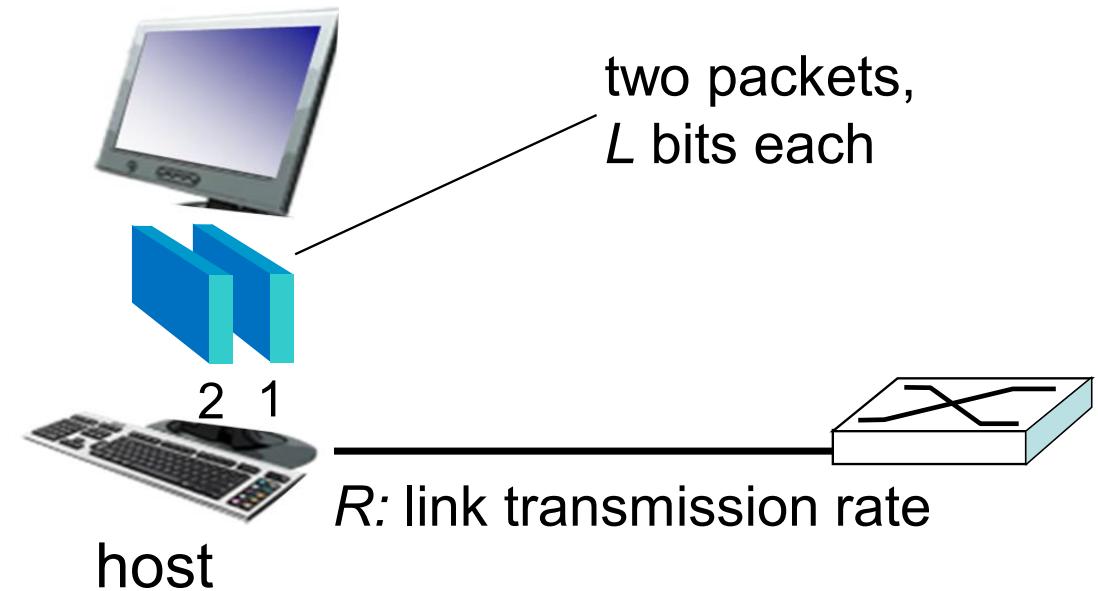
Olhando Mais de Perto para a Estrutura da Rede

- 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.



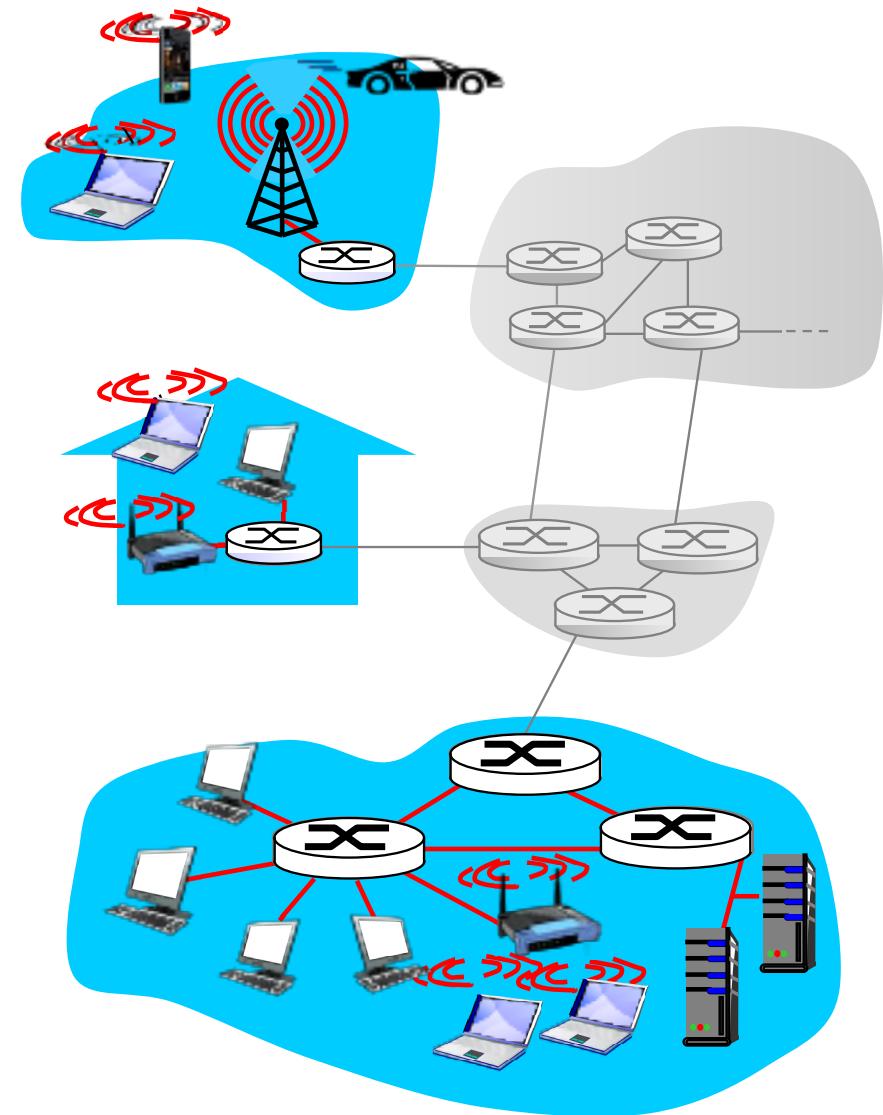
Borda da Rede: Hosts

- 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**.

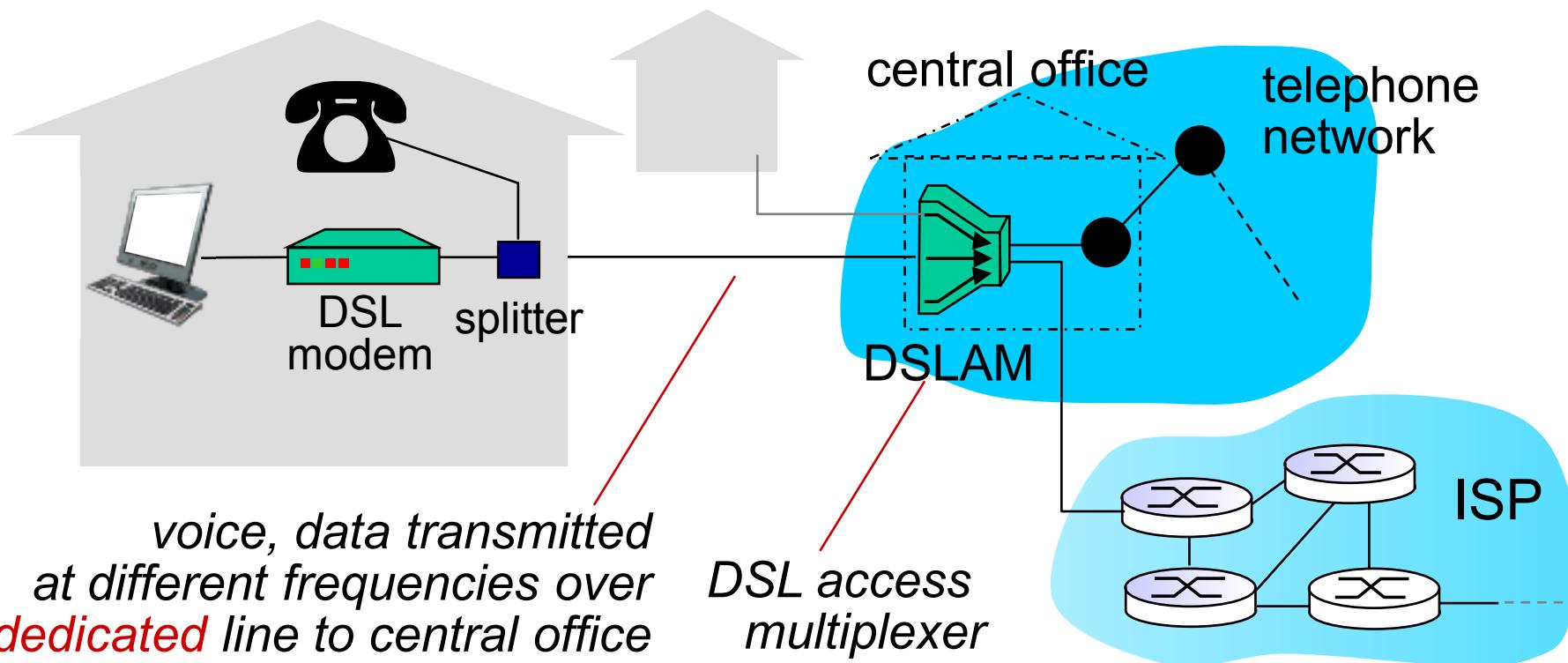


Borda da Rede: Redes de Acesso

- 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?

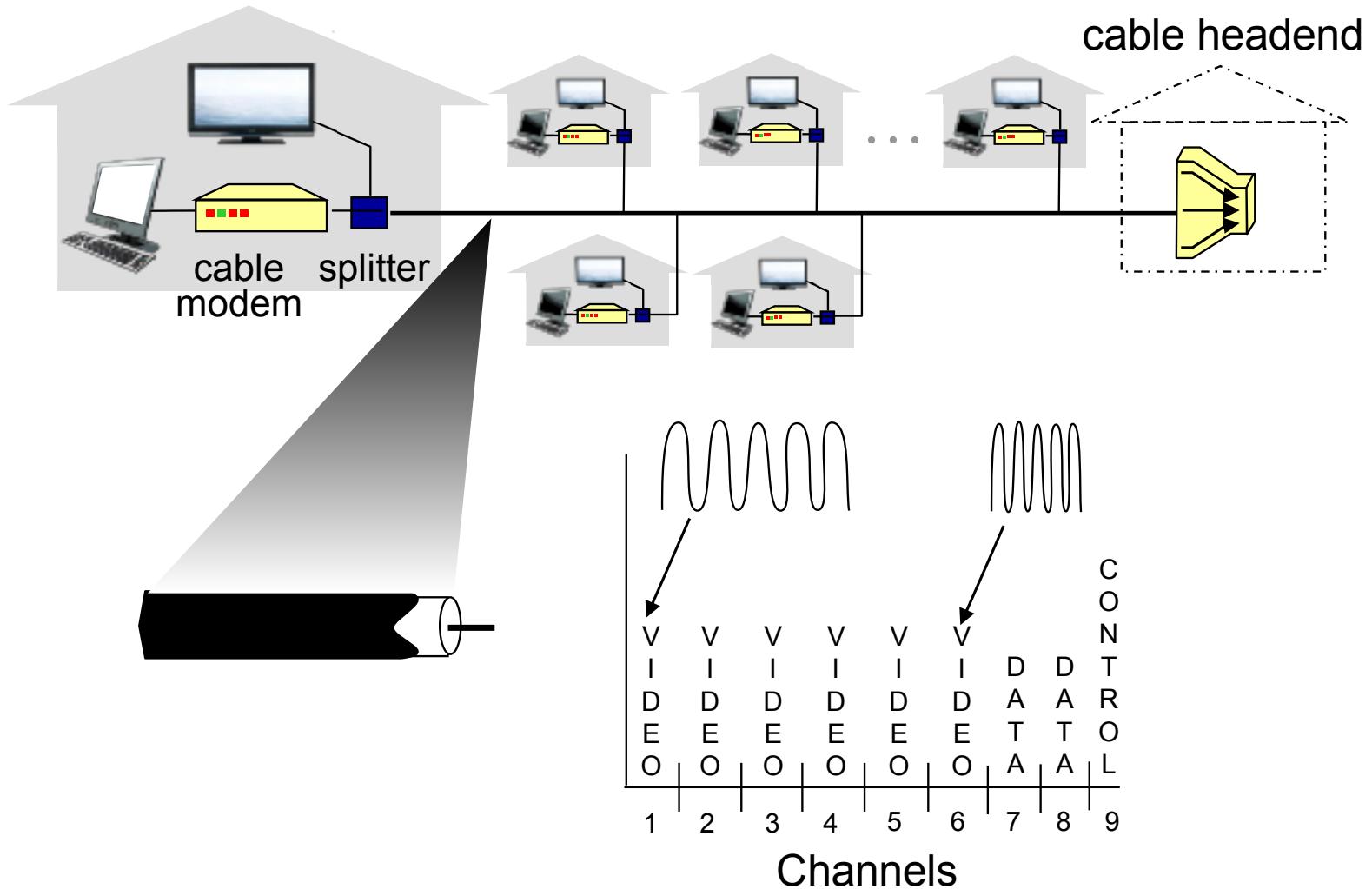


Redes de Acesso: DSL



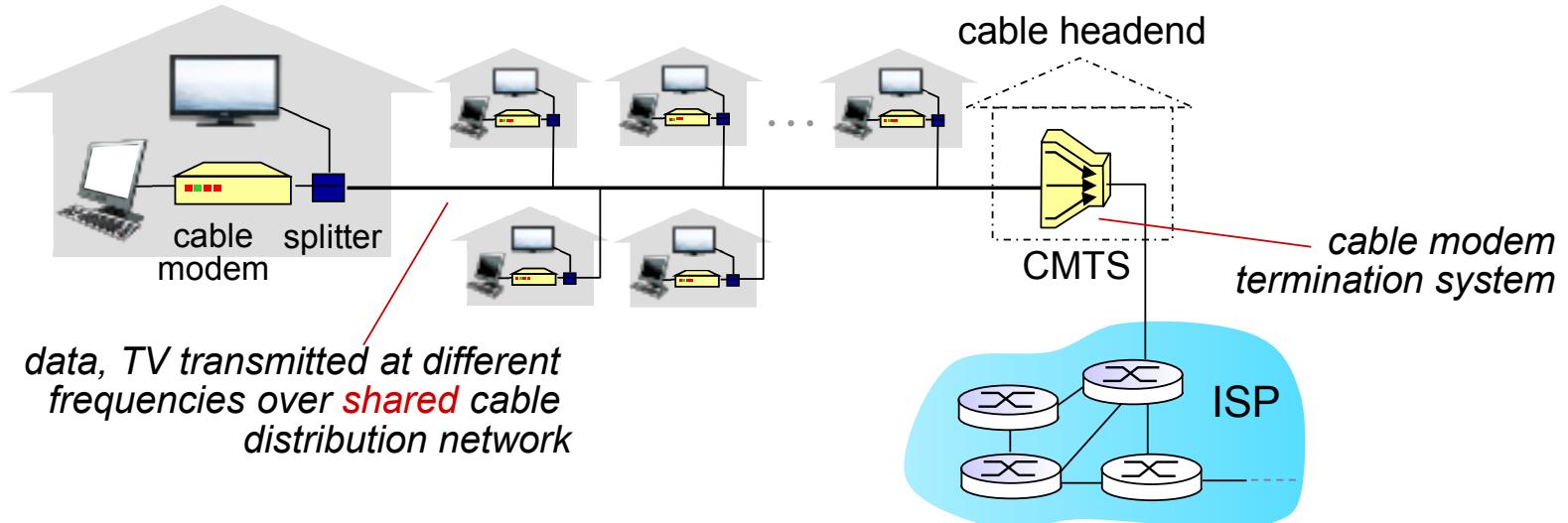
- Utiliza infraestrutura de telefonia **existente** até o DSLAM.
 - Dados vão para a Internet.
 - Voz vai para a rede telefônica.
- ≤ 3.3 Mb/s de taxa upstream.
- ≤ 24 Mb/s de taxa downstream.

Redes de Acesso: HFC (I)



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

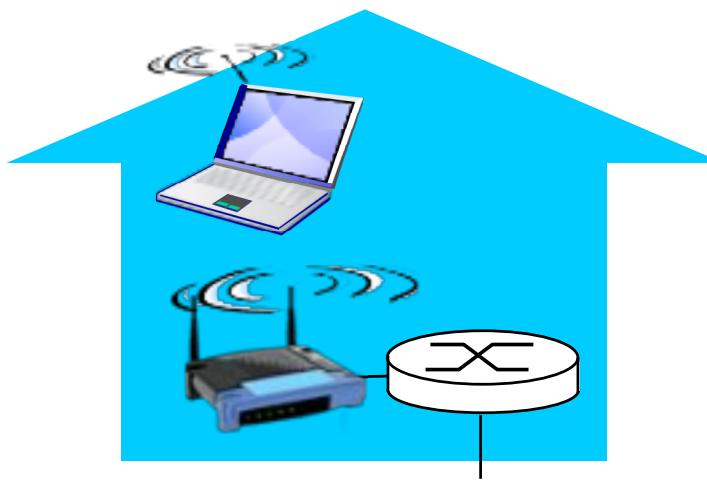
Redes de Acesso: HFC (II)



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

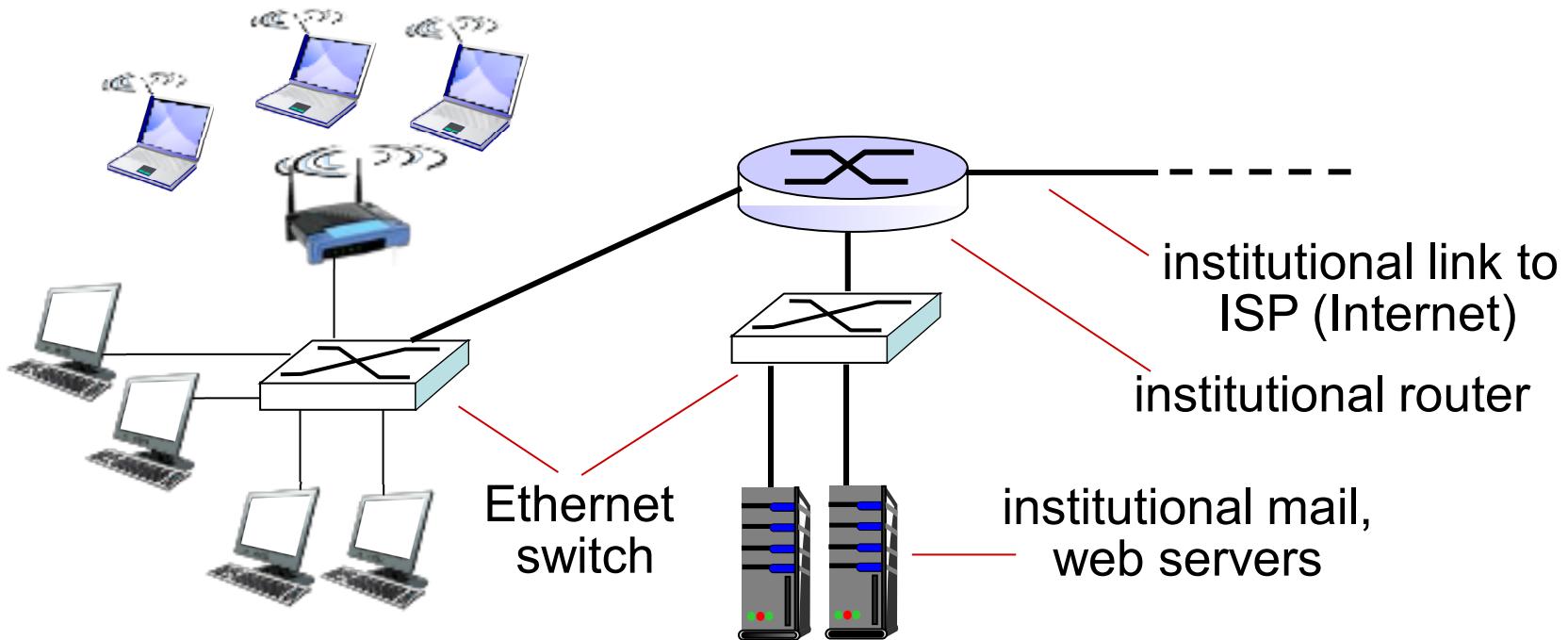


to Internet



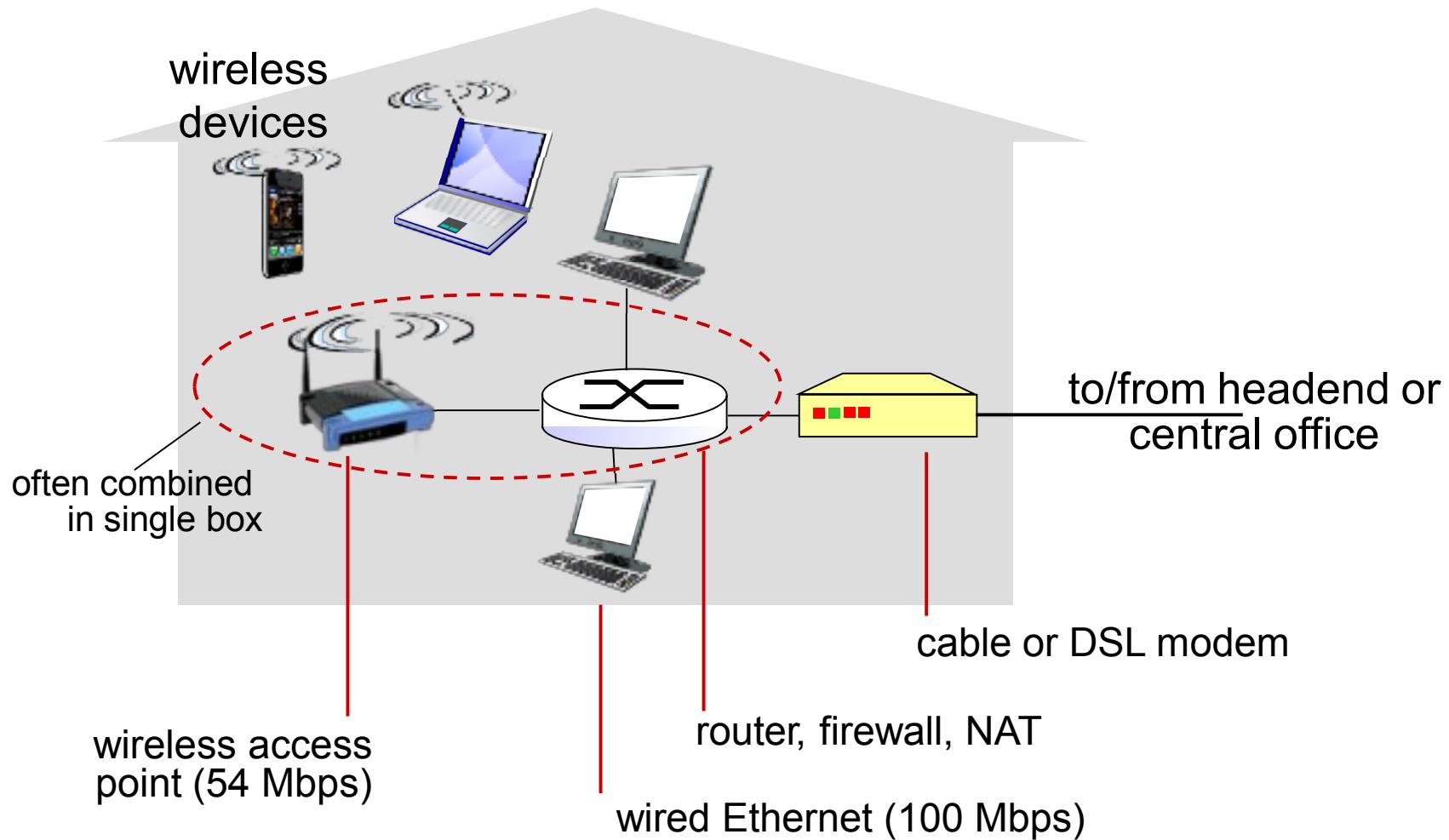
to Internet

Redes de Acesso Institucionais



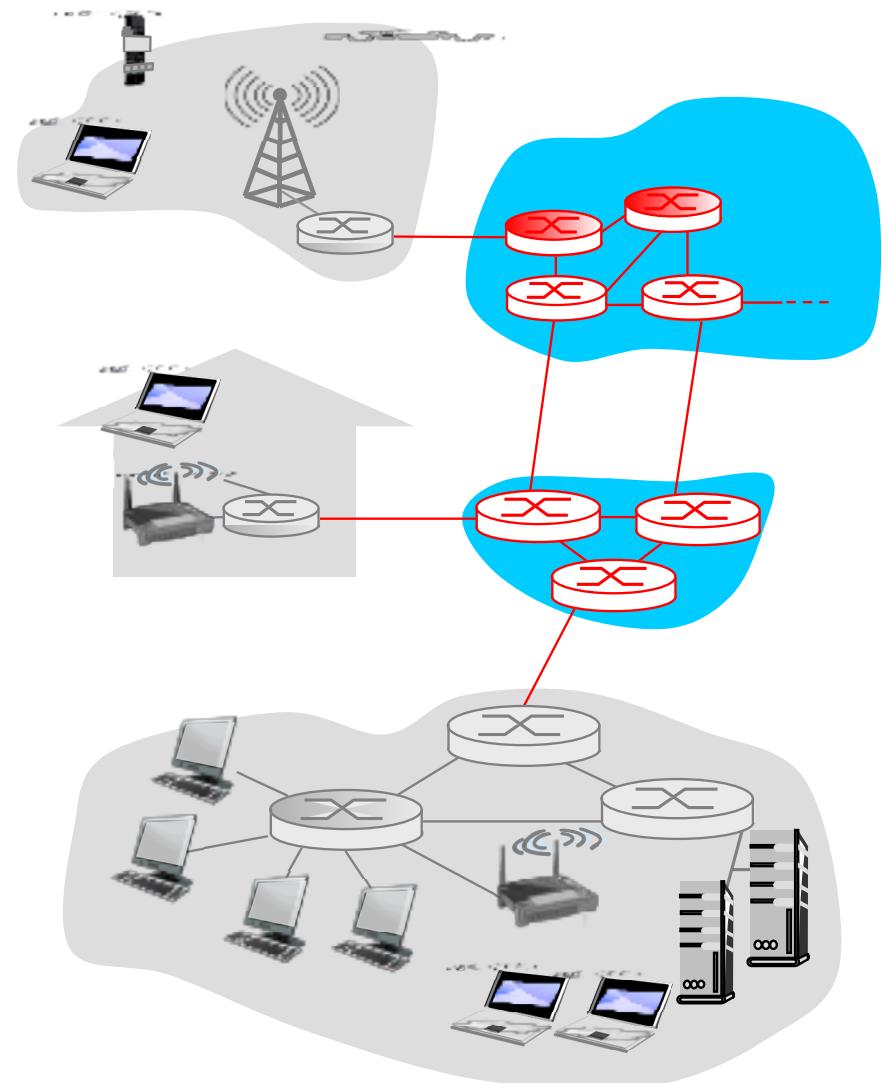
- Tipicamente usadas em empresas, universidades.
- Taxas de transmissão de 10 Mb/s, 100 Mb/s, 1 Gb/s, 10 Gb/s.
- Hoje, hosts comumente se conectam a switches Ethernet.
 - Outro tipo de comutador, tópico de Redes II.

Redes de Acesso Domésticas



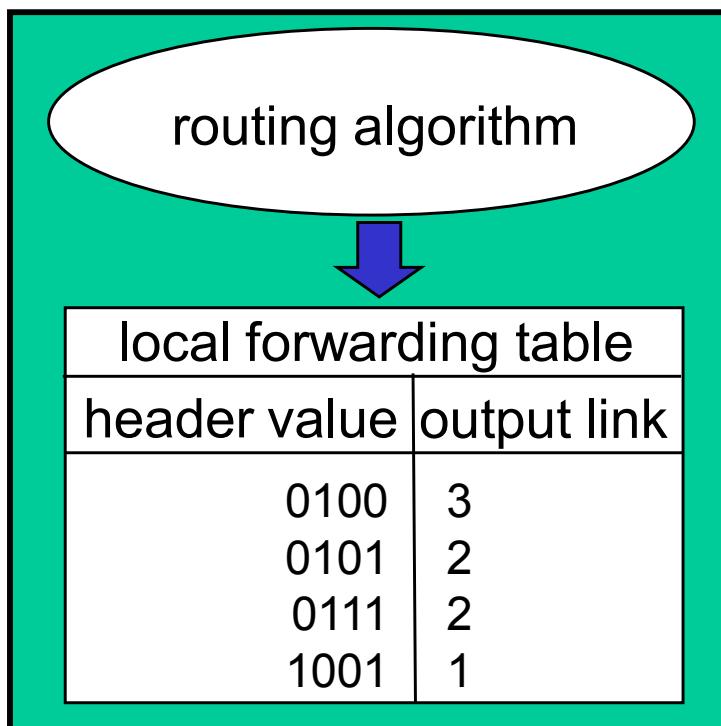
Núcleo da Rede

- 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.

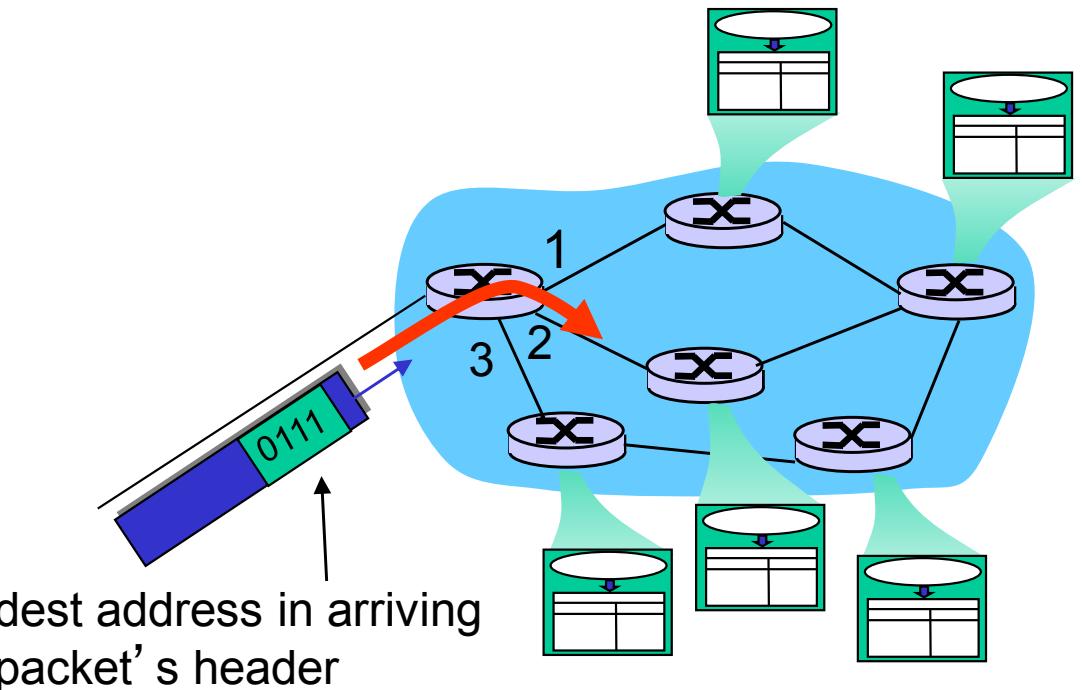


Núcleo da Rede: Encaminhamento vs. Roteamento

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

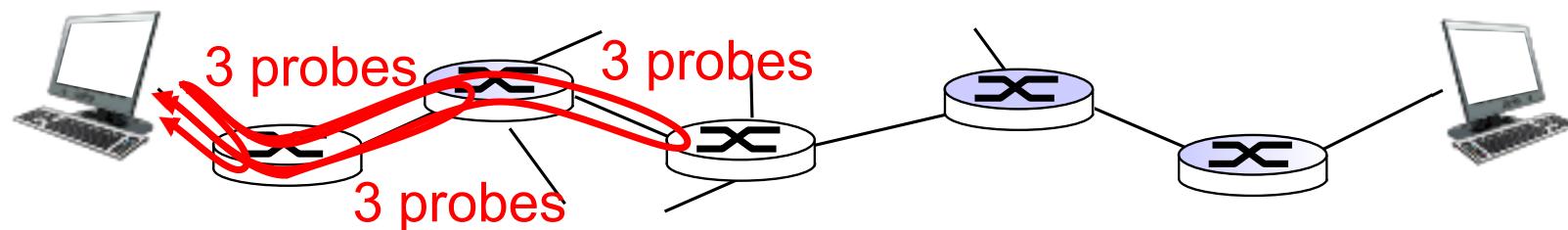


- **Encaminhamento:** mover pacotes de um **enlace de entrada** para um **enlace de saída** do roteador.



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.

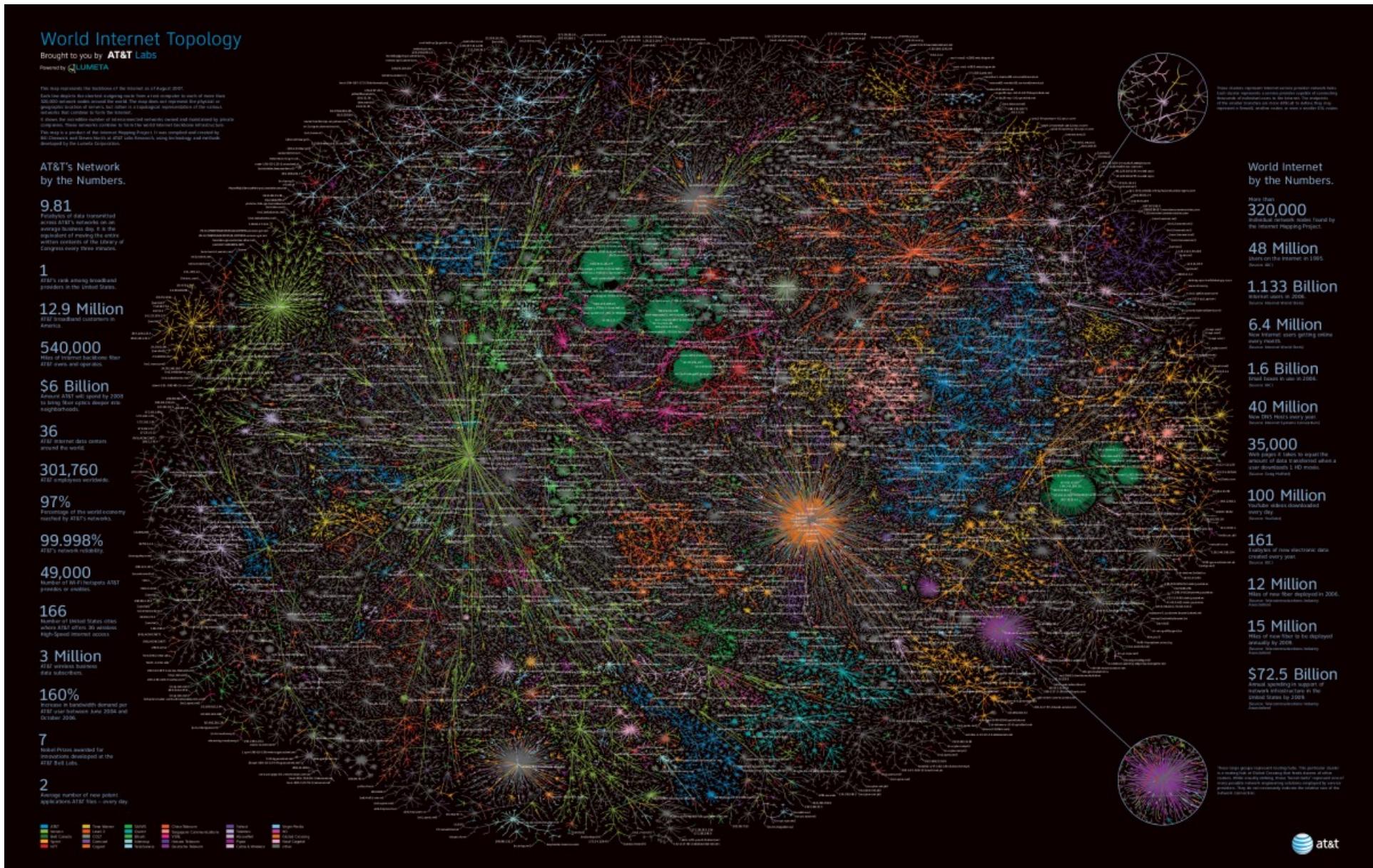


Rotas na Internet (II)

- 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 jnl-at1-0-0-19.wor.vbns.net (204.147.132.129) 16 ms 11 ms 13 ms
5 jnl-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.fr1.fr.geant.net (62.40.96.50) 113 ms 121 ms 114 ms
11 renater-gw.fr1.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)

Filosofias e Princípios de Projeto da Internet

Princípios e Filosofias: Motivação

- **Administração descentralizada:**

- A Internet é, em princípio, um esforço coletivo.
- Múltiplas entidades **colaboram** para um objetivo maior.
 - Interconexão entre elementos computacionais.
- Mas estas entidades possuem metodologias, objetivos individuais diferentes.
 - Algumas vezes conflitantes.
- Necessidade de **uniformização**.
 - Estabelecimento de princípios básicos seguidos por todos.

Heterogeneidade

- Por **projeto**, a Internet é heterogênea.
 - e.g., enlaces de tecnologias, capacidades diferentes.
 - e.g., ISPs com políticas diferentes.
 - e.g., dispositivos computacionais com arquiteturas diferentes.
- Consequências:
 - São necessários protocolos **comuns a todos os dispositivos**.
 - Uma suíte de protocolos da Internet.
 - Estes protocolos devem ser **flexíveis**.
 - i.e., não devem assumir muitas características da rede.

O Argumento Fim-a-Fim (I)

- Argumento apresentado por David Clark em 1981.
 - Chefe do desenvolvimento da arquitetura de protocolos na Internet entre 1981 e 1989.
- Guiou o desenvolvimento arquitetural da Internet.
 - Embora haja exceções.

Argumento Fim-a-Fim

Uma funcionalidade só pode ser implementada de forma **correta e completa** se isto for feito com o auxílio das aplicações executadas nas pontas do sistema de comunicação.

O Argumento Fim-a-Fim (II)

- Exemplo: transmissão de um arquivo entre dois computadores.
- Hipóteses:
 - Computadores interconectados por uma rede de comunicação.
 - Arquivo transmitido quebrado em uma série de pacotes.
 - Pacotes podem ser entregues pela rede com erros.
 - Pacotes podem ser completamente perdidos e descartados.
- Objetivo:
 - Garantir que arquivo chegue **íntegro** ao destinatário.

O Argumento Fim-a-Fim (III)

- Primeira abordagem: rede “garantirá” a integridade dos dados.
 - Todo roteador/host, ao receber um pacote por um enlace, verificará sua integridade.
 - Como?
 - Caso pacote não seja íntegro, roteador/host requisitará uma **retransmissão**.
 - A rede também garantirá que pacotes **não cheguem fora de ordem**.
- Pergunta: isto é suficiente?

O Argumento Fim-a-Fim (IV)

- Não, por uma série de motivos.
 - Quem garante que arquivo que saiu do host estava originalmente íntegro?
 - Quem garante que verificação de integridade dos pacotes não falhou?
 - Quem garante que as implementações dos roteadores/hosts estão corretas?
 - Em resumo: em última instância, receptor **ainda precisa verificar integridade**.
- Além disso, **é desejável que a rede faça este tipo de função?**
 - Adiciona complexidade.
 - Assume certas funcionalidades de **todos os roteadores intermediários**.
 - Mas a rede é heterogênea!
 - Tem **efeitos colaterais indesejados** para certas aplicações.

O Argumento Fim-a-Fim (V)

- **Alternativa:** deixar que sistemas finais lidem com o problema.
 - Façam as verificações.
 - Requisitem retransmissões, se necessário.
 - A partir do host de origem!
- Vantagem:
 - Já que as pontas precisam da funcionalidade, esta é mantida **apenas lá**.
 - Não há redundância de implementações.

O Argumento Fim-a-Fim: Desempenho

- Nunca há vantagens em se implementar funcionalidades nas redes?
 - Pode haver, por conta de desempenho.
 - Exemplo: pode ser mais rápido retransmitir pacotes por um único enlace que em um caminho fim-a-fim.
 - Há exemplos destas **otimizações** na Internet.
- Mas como princípio geral, estas são evitadas.

O Argumento Fim-a-Fim: Analogias

- RISC vs. CISC.
 - Processador (rede) deve implementar um grande número de funcionalidades?
 - Ou apenas um subconjunto básico, suficiente?
 - Emulando instruções (funcionalidades) mais complexas em software (nos hosts).
- Navalha de Occam.
 - Princípio lógico que guia a escolha de explicações para fenômenos.
 - Se há múltiplas explicações plausíveis, opta-se pela mais simples.

O Argumento Fim-a-Fim: Inteligência nas Bordas

- Consequência direta: na Internet, procura-se manter a complexidade nas bordas.
 - “Inteligência nas bordas”.
 - “Núcleo simples”.
- Núcleo processa volume enorme de pacotes.
 - Mantê-lo simples, especializado, **rápido**.
 - Objetivo maior: **escalabilidade**.
- Volume de tráfego nas bordas é menor.
 - Processamentos mais complexos são mais viáveis.
 - Escalabilidade não é tão problemática.
- Oposição às redes telefônicas.
 - Núcleo complexo, bordas simples.

Princípio KISS

- KISS: *Keep It Simple, Stupid!*
- Princípio originado na Marinha Americana, na década de 1960.
 - Incorporado nas filosofias que guiam a Internet.

Princípio KISS

Sistemas funcionam melhor quando são mantidos simples. Logo, simplicidade deve ser um objetivo de projeto, evitando complexidades desnecessárias.

- Aplicado à Internet:
 - Protocolos “simples”.
 - Relativamente, falando.
 - Fáceis de implementar, depurar.
 - Relativamente, falando.

Resumo da Aula...

- Arquitetura da Internet pode ser dividida:
 - **Borda**: hosts, redes de acesso.
 - **Núcleo**: roteadores, ISPs interconectados.
- Redes de acesso:
 - Múltiplas tecnologias: DSL, HFC, Ethernet, Wi-Fi, ...
 - Algumas vezes combinadas.
 - Se conectam ao núcleo através de um **roteador de borda**.
- Roteamento e encaminhamento:
 - Responsabilidades do núcleo.
 - Tarefas ligadas ao repasse dos pacotes entre roteadores, hosts.
- Princípios e filosofias:
 - Rede heterogênea.
 - Necessita **conjunto de protocolos comuns**.
 - **Não se deve assumir muito** sobre a rede.
 - Argumento fim-a-fim.
 - Funcionalidades fim-a-fim dependem das pontas.
 - Logo, tentar mantê-las nas pontas.
 - Corolário: **inteligência nas bordas, núcleo simples**.
 - Princípio KISS.
 - Evitar complexidades desnecessárias.
 - Sistemas mais simples são melhores que equivalentes complexos.

Próxima Aula...

- Estudaremos alguns dos mecanismos fundamentais da Internet.
 - Comutação de pacotes.
 - *Store-and-forward*.
 - Multiplexação estatística.
- E algumas de suas consequências.
 - Enfileiramento.
 - Perdas de pacotes.
 - Atrasos.