

**Grupo de Pesquisa em Redes e Telecomunicações**





## Arquiteturas de Rede para a Próxima Geração da Internet

Djamel Sadok  
Carlos Kamienski  
Dênio Mariz  
Stênio Fernandes

1

## Objetivos do Minicurso

- Ajudar os participantes a ...
  - Compreender a necessidade de mudanças na arquitetura da Internet para suportar novos serviços
  - Compreender a complexidade de se mudar a Internet
  - Identificar os princípios básicos do projeto da Internet
  - Identificar os principais problemas atuais da arquitetura da Internet e a sua dificuldade para cumprir novos objetivos
  - Conhecer as principais propostas da comunidade científica para mudanças arquiteturais na Internet
  - Identificar impacto dessas propostas sobre a Internet atual
  - Perceber que freqüentemente novas propostas novas são propostas antigas revestidas de nova roupagem.
  - Perceber as dificuldades de se promover grandes modificações na Internet atual

2

## Roteiro

- Introdução
- Princípios da Arquitetura da Internet
- Principais Questões de Projeto
- Propostas de Mudança da Arquitetura da Internet
- Síntese das Propostas
- Comentários Finais

3

## Introdução

- Um Pouco de História
- Por que o Modelo da Internet não Evoluiu?
- Novos Desafios que Exigem Mudanças

**Pradigmas: Telecom Vs. Internet**

4

## Um Pouco de História...

1961: Leonard Kleinrock (UCLA) introduz o conceito de "Packet Switching"

1966: Projeto ARPAnet se inicia

1968: Bob Karn constrói um *Interface Message Processor (IMP)*, depois conhecido como o primeiro "roteador"

1969: A primeira RFC é escrita. ARPAnet tem 4 hosts.

1970: ARPAnet começa a usar o Network Control Protocol (NCP), o primeiro protocolo host-a-host. ARPAnet se "espalha" nos EUA: 10 hosts

5

## Um Pouco de História...

1971: ARPAnet com 23 hosts

1972: Primeira aplicação de E-mail. ARPAnet tem 40 hosts. RFC 318 especifica o Telnet.

1973: Bob Metcalfe (Xerox) projeta o Ethernet. RFC 454 especifica o embrião do FTP. E-mail é 75% do tráfego da ARPAnet.

1974: Publicada a primeira versão do TCP. Telenet: versão comercial da ARPAnet.

1975: Enlaces de satélite conectam Havaí e Stanford para testes do TCP

1976: Surge o UUCP (Unix-to-Unix CoPy) (Bell Labs)

6

### Um Pouco de História...

- 1978: TCP é dividido em TCP e IP
- 1980: ARPANet se divide em NSFnet e MILNET  
Virus acidentalmente propagado para a ARPANet.
- 1981: BITNET: "Because It's Time NETWORK"
- 1982: ARPANET adota oficialmente o TCP e o IP e os chama de TCP/IP.  
Nome "Internet" é usado para redes conectadas via TCP/IP.
- 1983: Name Server desenvolvido: usuários não precisavam mais saber endereços dos hosts
- 1983: UC Berkeley integra o TCP/IP no UNIX 4.2 BSD e desenvolve utilitários de rede e a API sockets.

7

### Um Pouco de História...

- 1984: Domain Name System (DNS) introduzido  
ARPANet tem mais de 1000 hosts
- 1985: Primeiros domínios registrados
- 1986: NSFnet criada (backbone de 56kbps).  
Primeira reunião da IETF.
- 1987: Gerenciamento da NSFnet é privatizado.  
Internet tem mais de 10.000 hosts.
- 1988: Backbone NSFNET atualizado (1.544Mbps)
- 1989: 15 países conectados a NSFnet.  
Mais de 100 mil hosts.
- 1990: TCP ajustado para lidar com congestionamento.  
Surge primeiro provedor comercial para acesso discado.

8

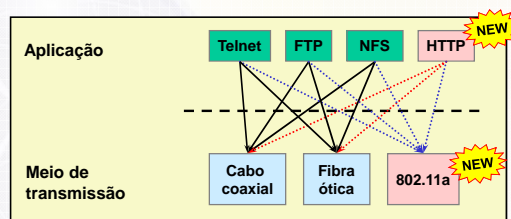
### Um Pouco de História...

- 1991: Brasil (Fapesp) se conecta a NSFnet a 9600bps.  
Surge a World Wide Web.
- 1993: Marc Andresson escreve o primeiro browser (Mosaic for X).
- 1995: Primeira condenação judicial por uso malicioso da Internet (EUA)
- 2001: RNP2 se conecta a Internet2 (45Mbps)  
TCP é ~97% do tráfego da Internet.
- 2002: Abilene implementa IPv6
- 2005: Internet alcança 888 milhões de usuários e 312 milhões de hosts

9

### Nem tudo era como hoje...

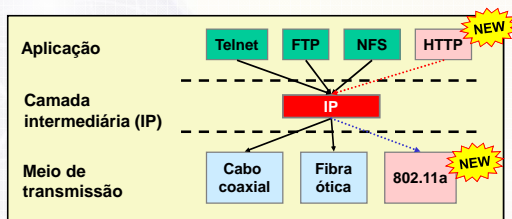
- Não havia separação entre transporte (TCP) e rede (IP).  
Aplicação usava API conjunta.
- Cada nova aplicação tinha escrever uma adaptação para cada tecnologia de rede!



10

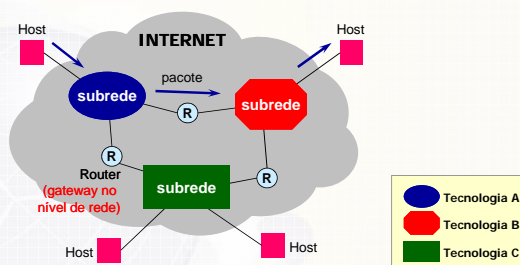
### O IP: a Cola

- Camada IP: evita traduções "todos↔todos" com a chegada de novas aplicações ou tecnologias
- Implementação eficiente, endereçamento global

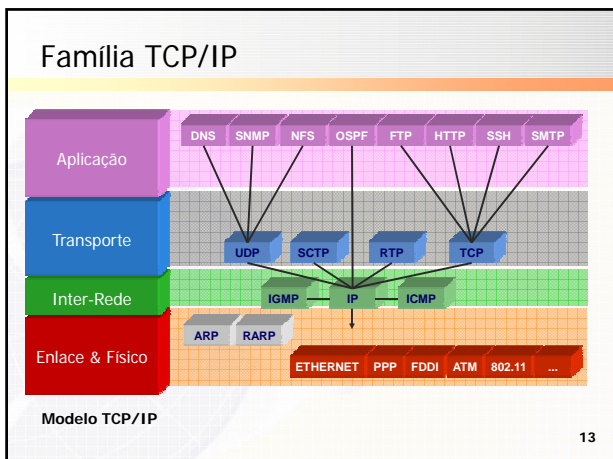


11

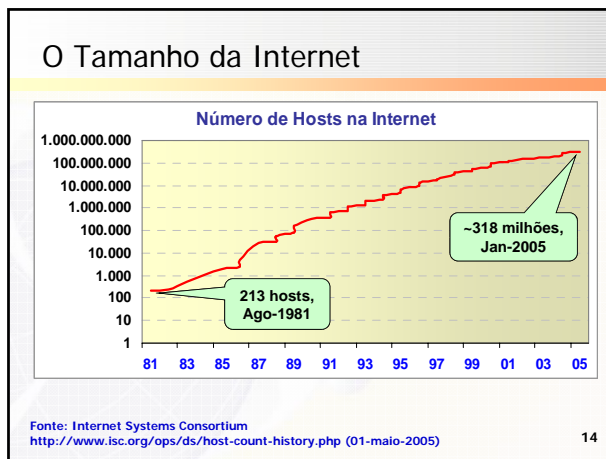
### Internet: Uma rede de redes



12



13



14

### A Penetração da Internet

WORLD INTERNET USAGE AND POPULATION STATISTICS						
World Regions	Population (2005 Est.)	Population % of World	Internet Usage, Latest Data	Usage Growth 2000-2005	Penetration (% Pop)	World Users %
Africa	900,465,411	14.0 %	13,468,600	198.3 %	1.5 %	1.5 %
Asia	3,612,363,165	56.3 %	302,257,003	164.4 %	8.4 %	34.0 %
Europe	730,991,138	11.4 %	259,653,144	151.9 %	35.5 %	29.2 %
Middle East	259,499,772	4.0 %	19,370,700	266.5 %	7.5 %	2.2 %
North America	328,387,059	5.1 %	221,437,647	104.9 %	67.4 %	24.9 %
Latin America/Caribbean	546,917,192	8.5 %	56,224,957	211.2 %	10.3 %	6.3 %
Oceania / Australia	33,443,448	0.5 %	16,269,080	113.5 %	48.6 %	1.8 %
<b>WORLD TOTAL</b>	<b>6,412,067,185</b>	<b>100.0 %</b>	<b>888,681,131</b>	<b>146.2 %</b>	<b>13.9 %</b>	<b>100.0 %</b>

Fonte: Internet World Stats  
<http://www.internetworldstats.com/stats.htm> (01-maio-2005)

15

- ### Onde Estamos Agora
- O projeto da Internet tem sido bem sucedido
    - Escalável: cresceu 6447% no últimos 10 anos
    - Adaptável: usada sobre várias tecnologias
      - Frame Relay, ATM, wireless, optical, ...
      - Enlaces evoluíram de 9.6kbps até 10Gbps
    - Suportou aplicações não previstas (Web, P2P)
  - Mas...

16

- ### Por que a Internet não Evoluiu mais
- A Internet cresceu muito, mas evoluiu pouco
    - Modificações não são profundas
  - Internet passou de flexível para "engessada"
    - Grande dependência social (Bancos, notícias, entretenimento, ciência, ...)
    - É preciso preservar a estabilidade da Internet
    - É preciso preservar investimentos
  - Soluções paliativas para problemas pontuais
    - A Internet é uma "colcha de retalhos"
    - Modificações não são "limpas"
    - Violam os seus próprios preceitos básicos
  - Perda da coerência técnica (vide adiante)

17

- ### Novos Desafios para a Arquitetura
- Internet comercial
    - Modelos de negócios -- ISPs precisam ganhar dinheiro
    - Apenas a competição acirrada leva à inovação
    - Questões legais, políticas, sociais
  - Desgaste da confiança (perda da inocência)
    - Spam/virus/worms/Ataques de DDoS/...
  - Novas demandas: tecnologias, aplicações, requisitos
    - Optical networking
    - IP telephony
    - Integração com Rede Celular: 3G, 4G
    - Mobilidade, ubiquidade
    - Redes Ad Hoc, Redes de Sensores Sem Fio
    - Quality of Service
    - Segurança

18

### Princípios da Arquitetura da Internet 2

- Existe uma Arquitetura da Internet?
- O Argumento Fim a Fim
- O Princípio da Mudança Constante
- Objetivos de Projeto da Internet
- O Princípio da Simplicidade e o Modelo da Ampulheta

19

### Princípios da Arquitetura da Internet

- Grande lacuna filosófica
- Engenheiros de Telecom dizem:
  - A Internet é mal projetada: ela não resolve todos os problemas de maneira ótima e controlável
  - Nós gostamos de certeza e complexidade
- Projetistas da Internet dizem:
  - Otimalidade não é a questão. A adaptabilidade a novas tecnologias e serviços requerem que não projetemos mecanismos em excesso
  - Nós gostamos de simplicidade (e alguma elegância). Toleramos a incerteza e convivemos com ela.

20

### Princípios da Arquitetura da Internet

- Multiplexação
- Sobrevivência
- Conectividade Universal
- Generalidade de Serviços
- Diversidade de subredes
- Argumento Fim-a-Fim
- Alocação de Capacidade
- Endereçamento Global
- Roteamento
- Segurança
- Mobilidade
- Modelo em Camadas
- (outras)

→ OS INVARIANTS

21

### Princípios da Arquitetura da Internet

- Multiplexação
  - A Internet é baseada na comutação de pacotes
  - A unidade de transmissão de dados entre os sistemas finais é o "pacote"
  - Utilização multiplexada rede

22

### Princípios da Arquitetura da Internet

- Sobrevivência
  - Deve continuar operando mesmo na presença de falhas (enlace, roteador)
  - Enquanto a rede não estiver completamente particionada dois hosts devem poder se comunicar
  - Falhas devem ser transparentes para os hosts finais
  - Decisão: manter "estados" apenas nos hosts finais evita restauração de estados em casos de falha
  - Internet: arquitetura de rede sem estados → sem memória

23

### Princípios da Arquitetura da Internet

- Conectividade Universal
  - "Conectividade é a própria recompensa"
    - Quanto mais usuários conectados, mais valiosa é a Internet
  - Planejamento pragmático:
    - Suporte para todas as plataformas
    - Padrões *de facto* ajudam
    - Requer "consenso aproximado e código rodando" (rough consensus and running code)
    - Qualquer um pode participar do processo de padronização

24

## Princípios da Arquitetura da Internet

- **Generalidade de Serviços**
  - Deve permitir variedade de aplicações
  - Se o TCP não atende, use outro protocolo
    - Exemplo: UDP para aplicações "real-time"
  - Este foi o principal argumento para separar o TCP do IP (vide adiante)

25

## Princípios da Arquitetura da Internet

- **Diversidade de Subredes**
  - "IP over everything"
  - IP é Um protocolo de interconexão de redes
  - Deve trabalhar indistintamente sobre todas as tecnologias
  - Provê um modelo de serviços único para o usuário
  - Interface do usuário não depende da tecnologia de rede
  - IP requer poucos serviços da camada inferior
    - Encaminhamento sem estado
  - Não requer confiabilidade nem ordenação

26

## Princípios da Arquitetura da Internet

- **Argumento Fim-a-Fim**
  - A base da arquitetura da Internet
  - "Dumb network, smart end systems"
    - Exatamente o contrário da rede de telefonia
  - Dumb network: Oferece um serviço simples
    - Serviço Datagrama: sem estado das conexões nos roteadores
    - Pacotes encaminhados da melhor forma possível: Pode perder, duplicar, reordenar
    - KISS – Keep it Simple, Stupid
  - Smart hosts:
    - Mantém estados para otimizar o serviço da rede (ex: confiabilidade, reordenação)

27

## Princípios da Arquitetura da Internet

- **Implicações do Argumento Fim-a-Fim**
  - A rede não modifica pacotes
  - Novas aplicações: implantação e funcionamento apenas nos sistemas finais
  - Nenhuma modificação no núcleo da rede!
  - Um dos grandes responsáveis pela explosão da Internet

28

## Princípios da Arquitetura da Internet

- **Alocação de Capacidade**
  - Deve dividir os recursos de forma justa
  - TCP tenta fazer isso
  - Algum nível de injustiça pode ser desejável
    - Aplicações militares
    - Aplicações comerciais: QoS, SLA
    - IP tentou fazer isso (lembra do TOS, hoje DSField?)
  - Engenharia de tráfego

29

## Princípios da Arquitetura da Internet

- **Mobilidade**
  - Internet deve suportar a mudança do ponto de conexão de um host
  - Não foi uma premissa importante
    - Não havia hosts móveis em 1970-1980
  - Vide outras questões adiante
- **Segurança**
  - Cada componente (software, hardware) deve se preocupar com segurança (autenticação, integridade, privacidade)
  - OSI-RM nível de apresentação!!

30

## Princípios da Arquitetura da Internet

- **Modelo em Camadas**
  - Camada **N** oferece serviços à camada **N+1**
  - Metadados – Controle individual da camada (cabeçalho)
  - Modularidade – blocos independentes
  - Encapsulamento – ocultação de informação, clareza
  - Ordenação do processamento dos cabeçalhos
    - Último cabeçalho adicionado é o primeiro a ser removido

31

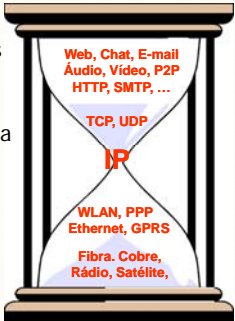
## Arquitetura da Internet: resumo 1/2

- **Rede de comutação de pacotes**
  - A unidade de dados é o pacote
  - Pacotes são estatisticamente multiplexados (não TDM!)
- **Encaminhamento Hop-by-hop**
  - Mais robusto do que source-routed ou orientado a conexão
- **Sem estados**
  - Não há estados por fluxo dentro da rede
- **Modelo em camadas**
  - Funcionalidades distribuídas em camadas
  - Encapsulamento
    - Cabeçalhos adicionados/removidos ao passar pelas camadas
    - LIFO – Last in, First Out

32

## Arquitetura da Internet: resumo 2/2

- **Modelo da Ampulheta**
  - Todos os hosts e roteadores rodam IP
- **Nova tecnologia?**
  - Crie adaptação IP-Tecnologia
- **Nova Aplicação?**
  - Use serviços de transporte oferecidos
- **IP é a cola**
  - IP é um overlay na camada de rede (sobre tecnologias de enlace)



33

## Princípios da Arquitetura da Internet

- **Muitos dos princípios usados na Internet estão sendo violados**
  - Por razões comerciais
  - Para adicionar funcionalidade
  - Otimizações com efeitos colaterais
  - Para consertar falhas ou requisitos não atendidos
  - Modificações sugeridas por pesquisadores
  - Modificações sugeridas por ISP
- **Vamos discutir alguns problemas ...**

34

## Principais Questões de Projeto 3

- **Premissas usadas no início da Internet +**
- **Ajustes localizados e soluções paliativas =**
- **Problemas:**
  - Endereçamento e Nomeação
  - Roteamento
  - Segurança
  - Mobilidade
  - Transparência Fim a Fim
  - Modelo em Camadas

35

## Endereçamento e Nomeação 1/2

- **Na camada IP o endereçamento e a identificação estão em um único atributo: o Endereço IP**
  - Endereçamento → localização do host na rede
  - Identificação → identidade do host
- **OK para hosts estacionários**
- **Problema para hosts móveis**
  - Mudam também de identidade quando precisam mudar apenas de endereço
  - Solução: IP Móvel requer “agentes” intermediários (middleboxes) – Home Agent, Foreign Agent

36

## Endereçamento e Nomeação 2/2

- **NAT usado para estender endereçamento IP**
  - Boa solução, mas atrapalha aplicações (ex: multicast, VoIP)
  - Complexidade e delay adicionais
- **DNS não prevê replicação de conteúdo na Web**
  - Característica da URL: acopla o serviço com o servidor
  - Content Distribution Network (CDN) é usado para encontrar o repositório (mirror) geograficamente mais próximo do usuário (ex: akamai)
  - Solução mascarada com um mecanismo adicional

37

## Roteamento 1/2

- **Endereçamento plano evoluiu para hierárquico**
- **Características:**
  - Troca de informações de roteamento: Algoritmos Vetor-Distância
  - Forma de encaminhamento: hop-by-hop
- **Problemas**
  - BGP: problemas com o crescimento da Internet
    - Crescimento exponencial das rotas: Escalabilidade comprometida, mesmo com o CIDR
    - Instabilidade
    - Convergência
    - Segurança BGP (falhas no TCP)
    - Não é um problema da arquitetura, mas de um protocolo em particular

38

## Roteamento 2/2

- **Alguns problemas (cont.)**
  - Rotas selecionadas entre ISP se baseiam em critérios econômicos (ex: acordos)
    - Pacotes são roteados em nível de SA
    - Usuário não tem controle sobre as rotas
    - Usuário não escolhe o "provedor de longa distância" independentemente do "provedor local"
      - Exemplo: telefonia – o usuário escolhe
  - Implicações: rotas nem sempre são as melhores

39

## Segurança 1/4

- **Internet: projetada sem segurança em mente**
  - Poucos hosts em ambiente controlado: poucas ameaças
  - Além disso, o mundo era inocente...
- **Hoje: 800 milhões de usuários tentando entrar no computador da sua casa!**
- **Vulnerabilidades:**
  - Estão: nas aplicações ou nos protocolos
  - Origem: falhas de projeto, implementação ou configuração
  - **Existentes na Internet** ou **exploradas através da Internet**
  - Discutiremos as vulnerabilidades **Existentes na Internet**

40

## Segurança 2/4

- **Problemas no protocolo TCP**
  - Projetado há 20 anos
  - Incorpora poucos mecanismos de segurança
  - Ataque "Blind Reset"
    - Atacante adivinha número de sequência do segmento, envia um RST (reset) e mata a conexão
    - Blind = não precisa capturar o tráfego
  - Ataque "Blind Data Injection"
    - Atacante adivinha número de sequência do segmento, envia dados falsos
  - Pode causar DoS em conexões BGP

41

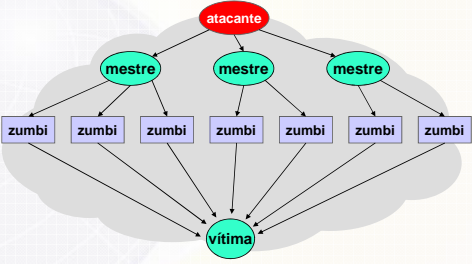
## Segurança 3/4

- **Problemas no protocolo IP**
  - Características:
    - qualquer host **A** pode mandar pacotes para qualquer host **B** a qualquer hora
    - Spoofing → pacotes com "IP origem" falso
  - Resultado: Ataques de Denial of Service (DoS)
  - Causam exaustão do enlace ou da CPU
  - Muito difíceis de combater
    - Prevenção: Ingress & Egress filtering
    - Detecção: mudança abrupta no tráfego
    - Combate: fechar portas no caminho
    - Tudo isso atrapalha o tráfego legítimo!

42

### Segurança 4/4

- Distributed Denial of Service



43

### Mobilidade

- Mobilidade: desconexão em uma subrede, conexão em outra.
  - IP original não se preocupou com isso
- Mobile IPv4: solução elegante (dadas as restrições)
  - Home agent desvia pacotes do host móvel para sua nova localização
  - Foreign agent: assistência ao host móvel na rede remota
- Problemas
  - Efeitos colaterais com firewalls
  - Mais Middleboxes: quebra argumento Fim-a-Fim
    - Egress filtering na rede remota
    - Ingress filtering na rede original
  - Problemas com VPN e IPsec (ainda sendo resolvidos)
  - Roteamento ineficiente, atrasos
  - Problemas de handoff (perdas forçam slow start do TCP)

44

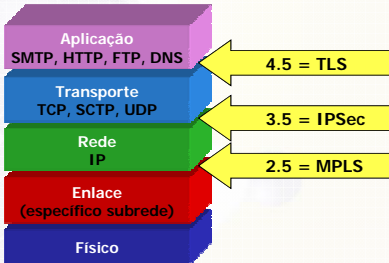
### Transparência Fim-a-Fim

- "Middle boxes" processam pacotes dentro da rede.
  - Web caches e Proxies,
  - Firewalls,
  - NAT,
  - Home Agents, Foreign Agents,
  - Proxies para otimização de performance, caches, ...
- Eles executam tarefas úteis, mas violam deliberadamente o Argumento Fim-a-Fim
- Perda da Coerência Técnica
- Reduzem robustez, generalidade, extensibilidade e simplicidade

45

### Modelo em Camadas

- Novas demandas violam o modelo em camadas
  - Perda da coerência técnica
  - Causam "engessamento das camadas"



46

### Propostas de Mudança na Arquitetura

- Como uma nova arquitetura poderia ...
  - Restaurar a coerência técnica?
  - Atender antigos e novos requisitos?
- Várias propostas tentam responder:
  - E se soubéssemos em 1980 o que sabemos hoje, qual seria a arquitetura da Internet?
- De que forma?
  - Revolucionária – outra arquitetura
    - Esquecer a compatibilidade
  - Evolucionária – ajustes gradativos na arquitetura atual
    - Requer incentivo para trocar infraestrutura e aplicações
- Outros aspectos atuais: econômicos, sociais e políticos
- Vamos analisar algumas propostas...

47

### Propostas de Mudança na Arquitetura 4

- Arquitetura de Nomes em Camadas
- Arquitetura FARA
- Arquitetura NIRA
- Arquitetura IPNL
- Arquitetura RBA
- Arquitetura Plutarch
- Infra-estrutura SFR
- Infra-estrutura I3
- Arquitetura SOS
- Prevenção de DoS através de "Aptidão para uso de Recursos"

48



### Os mecanismos (enablers)

- DHT
- Overlay
- Papeis (active networks)
- Cross Layer Design
- Redireção, Indireção, Rendez-vous e delegação

**Aviso: Não se mexe com time que esta ganhando!!** 49

### Arquitetura de Nomes em Camadas (LNA)

- DNS converte nomes em endereços IP
  - Apenas um nível de indireção
- URL associa o servidor ao dados (ou serviço)
  - Se os dados forem replicados ou movidos, não podem ser localizados
- Solução: Layered Naming Architecture (LNA)
  - Separação o serviço do servidor
    - SID = Service identifier
    - EID = Endpoint identifier

50

### Arquitetura de Nomes em Camadas

- 1 - usuário pergunta pelo serviço
  - Obtém o SID correspondente
- 2 - resolve o SID
  - Obtém o EID correspondente
- 3 - Resolve o EID
  - Obtém o Endereço IP correspondente

51

### Arquitetura de Nomes em Camadas

- LNA usa Distributed Hash Table (DHT)
  - Eficiência de localização
- Portanto, SID é "plano": uma sequência de bits
  - Não há organização hierárquica
  - Dificuldade para humanos associarem aos serviços
  - Outros mecanismos são necessários para mapear "strings" de serviços para os SID

52

### Arquitetura de Nomes em Camadas

**Características**

- Inclusão de mais um nível de indireção para desvincular o servidor do serviço

**Vantagens**

- Solução para mobilidade
- Solução para replicação de conteúdo
- Permite a delegação de serviços (gateways, firewalls)

**Desvantagens**

- SID não hierárquico (plano)

53

### Arquitetura FARA

- Forwarding directive, Association, and Rendezvous Architecture
  - Objetivo de tentar aliviar a sobrecarga do IP
    - Como localizador da rede e identificador do sistema final
  - Define um conjunto abstrato de componentes e suas relações (arcabouço)
  - Arquiteturas específicas podem ser derivadas

54

### Arquitetura FARA - Componentes

- Comunicação entre sistemas finais (**entidades**)
  - Sobre um **substrato de comunicação**
  - Entidade é um conceito abstrato
    - Pode ser processo, *thread*, computador, agrupamento de computadores
- Comunicação entre entidades feita por conexões lógicas (**associações**)
  - Mantém estados persistentes de comunicação
- Em cada pacote existe um identificador
  - **Identificador de associação (AId)**

55

### Arquitetura FARA - Componentes

- **Diretiva de Encaminhamento (Forwarding Directive – FD)**
  - Campo de cabeçalho usado pelo substrato de comunicação
  - Contém informações de roteamento
- O componente FD substitui o endereço IP no roteamento de pacotes
- IP da arquitetura atual faz o papel da FD e do AId
- Conseqüências da modularidade da arquitetura:
  - Separa os mecanismos de encaminhamento
    - no substrato de comunicação (FD)
  - das funções de comunicação fim-a-fim
    - executadas pelas entidades (AId)

56

### Arquitetura FARA - suposições

- Toda entidade é móvel
  - carrega os estados da aplicação e de comunicação
- Não existe um espaço de nomes global para as associações
  - AId é único e local
- Não existe conjunto global de nomes para as entidades
- Assim, uma associação entre A e B implica
  - entidade A envia uma mensagem para a entidade B
  - supondo que A possui uma FD para alcançar B
- Um problema de inicialização surge:
  - Como o primeiro pacote irá carregar um AId, se os AId são locais às entidades ?

57

### Arquitetura FARA

- mecanismo *Rendezvous*
  - primeiro pacote é especial
    - ao invés de carregar o AId destino
    - carrega um *Rendezvous Information String (RI)*
  - consiste de duas fases
    - **Descoberta**
      - retorna um par (FD, RI)
    - **Iniciação**
      - RI é usado no destino para criar a associação

58

### Arquitetura FARA

- Sistema de Diretório FARA (*FARA Directory System - fDS*)
  - “descoberta” pode ser realizada por serviços de alto nível
    - E.g., similar ao DNS
- não define especificamente a maneira como o processo de descoberta pode ser realizado
  - Detalhes fica na instanciação

59

### Arquitetura FARA

<b>Características</b>
• Genérica
<b>Vantagens</b>
• Heterogeniedade, separa servidor e serviço
<b>Desvantagens</b>
• Usa servidores de resolução, interoperabilidade entre implementações

60

### Arquitetura NIRA

- **NIRA: *New Internet Routing Architecture***
  - projetada para possibilitar ao usuário a escolha de rotas no nível de **domínio**
    - **seqüência de domínios que um pacote atravessa**
- **Abordagem**
  - Descobrimto das rotas
  - Representação das rotas
  - aspectos de ordem econômica
- **requisitos considerados**
  - escalabilidade
  - robustez
  - eficiência
  - heterogeneidade das escolhas do usuário
  - compensação para os provedores de serviços

61

### Arquitetura NIRA – Visão Geral

- **mecanismo de descoberta de rotas**
  - elementos só precisam conhecer sua parte da rede
    - **Fonte ou Destino**
  - usuário descobre as informações da topologia do seu domínio
- **fonte busca informações da topologia do provedor de destino.**
  - Sob demanda
- **combinação das duas informações especificam uma rota que alcance o destino desejado**

62

### Arquitetura NIRA - Soluções Propostas

- Modelo de rede
- Endereçamento
- Representação de rotas
- Descoberta de rotas
- Aspectos econômicos

63

### Arquitetura NIRA

- **Modelo de Rede**
- **Definições:**
  - **valley-free**: rota típica no nível de domínio
    - pacote é "empurrado" em direção à estrutura de seu provedor
    - fluindo depois em direção à cadeia do provedor de destino
  - **Núcleo da Internet**: região da rede onde pacotes não podem ser "empurrados"
  - **low-level peering link**: conectam as cadeias dos provedores da fonte e destino (atalhos)

64

### Arquitetura NIRA – Modelo de Rede

	AS 100	AS 200	AS 300	AS 400	AS 500	AS 600	Alice	Bob
AltoPI	ae80:716	ae80:1:732	ae80:2:732	ae80:1:1:48 ae80:2:1:48	ae80:2:2:48	ae80:2:2:164		
InterAddr (Addr)	ae80:796		ae80:2:796	ae80:1:1:796 ae80:2:1:796	ae80:2:2:796	ae80:2:2:796	ae80:1:1:ec ae80:2:1:ec	ae80:2:2:6c1a

65

### Arquitetura NIRA

- **Endereçamento**
  - esquema de endereçamento hierárquico por provedor
    - para cada provedor num nível hierárquico superior
      - prefixo de endereçamento globalmente único
  - endereços de clientes a partir do seu espaço de endereçamento

	AS 100	AS 200	AS 300	AS 400	AS 500	AS 600	Alice	Bob
AltoPI	ae80:716	ae80:1:732	ae80:2:732	ae80:1:1:48 ae80:2:1:48	ae80:2:2:48	ae80:2:2:164		
InterAddr (Addr)	ae80:796		ae80:2:796	ae80:1:1:796 ae80:2:1:796	ae80:2:2:796	ae80:2:2:796	ae80:1:1:ec ae80:2:1:ec	ae80:2:2:6c1a

66

### Arquitetura NIRA

- **Representação de Rotas**
  - baseia-se no prefixo do endereço que identifica um segmento de rota (rota parcial)
- **Rotas consistem de dois segmentos**
  - cadeia dos provedores que aloca o endereço fonte
  - cadeia que aloca o endereço de destino
    - dois segmentos alcançam um provedor em comum (ou o núcleo da Internet)
- **Encaminhamento**
  - algoritmo de encaminhamento precisa olhar ambos os endereços (fonte e destino)

67

### Arquitetura NIRA

- **Encaminhamento (cont.)**
  - observando o endereço de destino
    - roteador sabe se o destino foi alcançado
    - Se não, roteador decide se o "ponto de retorno" foi atingido ou não, ao verificar o endereço da fonte
  - Antes do "ponto de retorno",
    - pacotes são encaminhados "para cima"
      - de acordo com endereço da fonte.
  - Após o "ponto de retorno",
    - pacotes são encaminhados "para baixo"
      - de acordo com o endereço de destino

68

### Arquitetura NIRA

- **Descoberta de rotas**
- **Dois serviços**
  - Protocolo de Propagação de Informação de Topologia (*Topology Information Propagation Protocol - TIPP*)
    - objetivo é facilitar a descoberta de informações de topologia nos domínios que fornece serviços para o sistema final
  - Serviço de Resolução Nome-para-Rota (*Name-to-Route Resolution Service - NRRS*)
    - ajuda um sistema final a solucionar o problema de inicialização
      - como enviar o primeiro pacote para um outro sistema final ?
    - projetado como um serviço distribuído de busca de nomes
      - Estilo DNS

69

### Arquitetura NIRA

- **Aspectos Econômicos**
  - dois modelos de compensação
    - *Direct Business Relationships – DBR*
    - *Indirect Business Relationships – IBR*
- **DBR**
  - acordos contratuais são negociados diretamente entre as entidades conectadas
    - considera custo de permitir a escolha de rotas
- **IBR**
  - usuário negocia com provedores de serviços não diretamente conectados a ele

70

### Arquitetura NIRA

**Características**

---

**Vanta**

FALTA FAZER

**Desva**

71

### Arquitetura IPNL

- **IPNL – IP Next Layer**
- **Propõe uma extensão à Internet atual para incorporar NAT de forma natural**
- **Isolamento de redes para evitar renumeração em caso de troca de provedor**
- **Retira a semântica Fim-a-Fim do IPv4 e cria uma nova camada: IPNL**
- **Permite que hosts atrás de NAT sejam acessados**
  - Transparência mesmo com isolamento

72

### Arquitetura IPNL

■ Internet atualmente

The diagram shows a stack of four layers: TCP/UDP (purple), IP (green), Enlace (red), and Físico (blue). Below the stack is the label 'Camadas'. To the right, a topology diagram shows a central circle labeled 'IP e DNS globais' connected to several green squares representing 'Estação IP'.

73

### Arquitetura IPNL

■ Internet com IPNL

The diagram shows a stack of five layers: TCP/UDP (purple), IPNL (blue), IP (green), Enlace (red), and Físico (blue). Below the stack is the label 'Camadas'. To the right, a topology diagram shows a central circle labeled 'IP e DNS globais' connected to several green squares representing 'Estação IP'.

Endereço IP passa a ter significado local  
 Introduce um endereço IPNL com semântica fim-a-fim  
 Permite roteamento pelo FQDN (www.abc.org)  
 Cuida da transparência de acesso entre regiões públicas e privadas.

74

### Arquitetura IPNL

■ Topologia da Internet com IPNL

The diagram shows a network topology. On the left, a group of red circles labeled 'IPs Privados' is connected to a blue circle labeled 'IP e DNS globais'. A blue circle labeled 'frontdoor' is connected to the 'IP e DNS globais' and the 'IPs Privados'. A blue circle labeled 'nl-router interno' is connected to the 'IPs Privados' and the 'frontdoor'. The label 'Estação IPNL' is at the top left.

75

### Arquitetura IPNL

■ Topologia da Internet com IPNL

The diagram is similar to slide 75, but with blue arrows pointing from the 'IPs Privados' and 'frontdoor' areas to a blue box at the bottom labeled 'Estações IPNL: sistemas finais modificados (DNS)'.

76

### Arquitetura IPNL

■ Topologia da Internet com IPNL

The diagram is similar to slide 75. A blue box at the bottom contains the following text:

- NAT box passa a ser chamado **nl-router**
- **nl-router** entre regiões privada ↔ global é um **frontdoor**

77

### Arquitetura IPNL

■ Topologia da Internet com IPNL

The diagram is similar to slide 75. A blue box at the bottom contains the following text:

- **nl-router** entre regiões privadas é um **nl-router** interno
- **nl-routers** são como sistemas finais para roteadores IP das regiões
- Regiões são como uma LAN para os **nl-routers**

78

### Arquitetura IPNL

**Características**

- **Introduz nova camada entre transporte e rede**

**Vantagens**

- **Robustez contra seqüestro de pacotes**
- **Permite roteamento pelo FQDN – independência entre de localização e endereçamento**
- **NAT (e seus benefícios) passa a ser natural e transparente**

**Desvantagens**

- **Mais uma camada, mais um "patch", mais complexidade**
- **Mudanças no DNS e nos sistemas finais**

79

### Arquitetura RBA

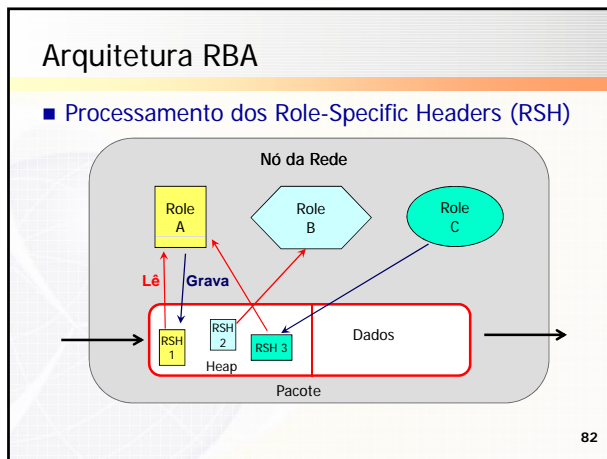
- **Role-Based Architecture (RBA)**
- **Motivação:**
  - Violação do modelo de camadas
  - Protocolos Inter-Camadas
  - Erosão do modelo Fim-a-Fim (middleboxes)
  - Aumento da complexidade
- **É possível reduzir a complexidade e aumentar a flexibilidade da arquitetura?**

80

### Arquitetura RBA

- Troca o tradicional paradigma do modelo de camadas por um mais geral (*"from stack to heap"*)
- Anexa aos pacotes alguns metadados para os middleboxes
- Proposta: criação de "papéis"
  - Papel é a especificação funcional de um elemento modular para comunicação.
  - A instância de um papel (num nó do caminho) é um **ATOR**.
  - **Role-Specific Header (RSH)** são sub-cabeçalhos que contêm dados para serem processados pelos atores.
  - O pacote contém uma coleção de RSH
  - Cada RSH é dirigido aos atores correspondentes
- **Papéis podem ser acoplados em pares**
  - {Encrypt, Decrypt}; {Compress, Expand}; {Fragment, Reassemble}

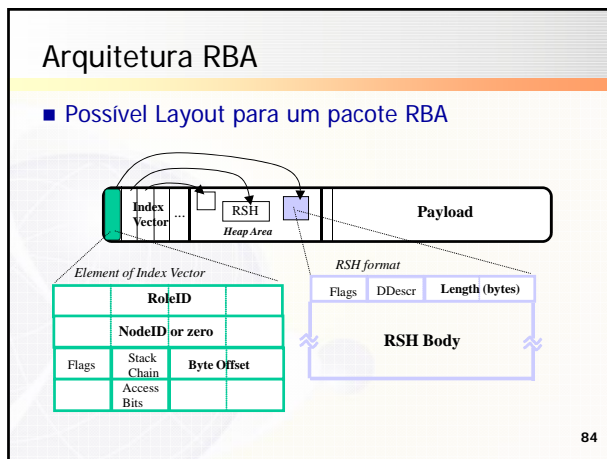
81



### Arquitetura RBA

- **Alguns argumentos dos autores:**
- **Clareza:**
  - "interação de papéis" ao invés de "violação de camadas"
- **Flexibilidade:**
  - Papéis permitem relacionamentos mais flexíveis do que camadas
- **Extensibilidade: Papéis são modulares e ortogonais**
  - Ortogonal = podem ser combinados (sem as restrições de camadas)
- **RSH podem ser usados para sinalização entre middleboxes**
- **Auditoria**
  - Nós do caminho podem "consumir" RSH, ou
  - Podem deixar sinais para nós adiante, avisando que a função foi executada.
- **Segurança: RSH podem ser criptografados separadamente**

83



### Arquitetura RBA

**Características**

- Descarta modelo em camadas, sugere o conceito de "papéis"

**Vantagens**

- Modularidade Funcional sem restrições de interação (modularidade com ortogonalidade)
- Flexibilidade
- Granularidade de funções (papéis podem ter qualquer "tamanho")

**Desvantagens**

- Troca dos protocolos já implantados
- Menos eficiente (cabeçalhos, processamento nos nós intermediários)
- Grande flexibilidade pode favorecer o aumento da complexidade e confusão!

35

### Arquitetura Plutarch

- Arcabouço para redes de próxima geração
- Arquitetura atual da Internet baseia-se na **homogeneidade** da camada de rede
  - IP sobre tudo e tudo sobre IP
  - Ex: não permite uma rede de sensores como uma sub-rede
    - sensores não têm capacidade de implementar uma pilha TCP/IP.
- Plutarch assume um modelo abstrato onde é possível interoperar entre redes Heterogêneas

86

### Arquitetura Plutarch

- Define os conceitos de **contexto** e **Funções intersticiais**
- Contexto → uma região de endereçamento autônomo
  - endereços podem ser completamente distintos dentro de cada contexto.
- Funções intersticiais → mapeamento entre contextos
- Permite redes heterogêneas conectando-se vários contextos diferentes
  - Homogeneidade é esperada apenas dentro de cada contexto
  - Formato de pacote, endereçamento, serviço de nomes, ...
- Internet atual pode ser modelada facilmente pelo Plutarch

87

### Arquitetura Plutarch

- Algumas questões devem ser suportadas fim-a-fim entre redes heterogêneas através de interações explícitas:
  - Endereçamento (Internet atual: NAT)
  - Nomeação (Internet atual: DNS)
  - Roteamento (Internet atual: BGP)
  - Transporte (Internet atual: proxies, gateways)
- Plutarch discute essas questões de mapeamento e sugere algumas abordagens

88

### Arquitetura Plutarch

- Exemplo

89

### Arquitetura Plutarch

**Características**

- Arcabouço (generalização) para interconexão de redes heterogêneas

**Vantagens**

- Internet pode ser uma instância do framework Plutarch
- Independência entre contextos pode otimizar aspectos particulares (ex: TCP no contexto wireless)
- Incorpora redes heterogêneas de maneira natural
- Mantém a maioria dos aspectos positivos da Internet

**Desvantagens**

- Mudanças drásticas na arquitetura (ex: rompe o argumento fim-a-fim)

90

### Infra-estrutura SFR

- *Semantic Free References* – SFR
- Objetivo
  - Flexibilizar migração e replicação de conteúdo
- Motivo
  - forte relação da Web com o serviço DNS tem engessado esses serviços
- Requisitos
  - Referência persistente a objetos
  - Referência livre de disputa
- Propõe
  - implantação de um novo serviço de resolução de referências (*Reference Resolution Service* – RRS)
    - substitui o DNS

91

### Infra-estrutura SFR

- SFR é um RRS de propósito geral
- Princípios
  - *Espaço de nomes sem semântica*
    - referências não devem conter informações sobre instituições, domínios ou provedores onde elas estão localizadas, ou serem legíveis ao usuário;
  - *RRS com interface mínima*
    - serviços oferecidos restritos a apenas resolução de referências.
    - sistemas auxiliares mapeam entre nomes legíveis e a respectiva referência

92

### Infra-estrutura SFR

- Descrição
- SFR usa DHT (Distributed Hash Table)
  - mapeia strings de 160 bits, *SFRTags*, para registros de objetos, *o-records*
- campo *location*
  - definido no momento de inserção do *o-record*
  - mantém valores que descrevem a localização do dado correspondente ao *SFRTag*
  - pode ser
    - par endereço IP e porta
    - nome de domínio
    - outro *SFRTag*

<i>SFRTag</i> : 0xf01212099abcab678ac345ba4d...
location: (ip, port), (DNS name, port), <i>SFRTag</i>
oinfo: App-specific meta-data
ttl: time-to-live: a caching hint

93

### Infra-estrutura SFR

- Componentes
  - servidores (portal)
  - clientes
  - relays SFR

94

### Infra-estrutura SFR

- Processo de busca
  - aplicação envia solicitação de *SFRTag* para seu *Portal* ou *Relay*
  - Se o rótulo está na infra-estrutura, o nó DHT responsável retorna o *o-record*
    - *Relays* podem fazer *cache* de *o-records*
    - nós DHT podem fazer *cache* de localização
    - *Portais* podem fazer *cache* de objetos
  - *Org-store*: cópia dos *o-records* criados dentro da organização

95

### Infra-estrutura SFR

- Exemplo de Aplicação: **Web sobre SFR**
  - nomes inteligíveis para o usuário tratado fora do RRS
  - portais de busca retornariam rótulos sem semântica ao invés de URL baseadas no DNS
- Vantagens
  - permitir migração e replicação nativa de objetos
  - informações para alcançar objeto na Web (IP, porta, caminho) são encapsuladas pelo *SFRTag*

96



### Infra-estrutura SFR

- **Benefícios da Web sobre SFR**
  - Facilidade de migração
    - objeto referenciado por um rótulo *SFRTag*, pode
      - Mudar para outro servidor Web
      - Mudar nome de caminho
    - provedor do conteúdo (dono do objeto) precisa
      - mudar os campos *location* e *oinfo* no *o-record*
        - páginas que apontam para o objeto não necessitam de alterar suas referências
  - Replicação flexível de objetos
    - resposta a uma solicitação de *SFRTag* pode retornar várias localizações e caminhos.

97

### Arquitetura SFR

**Características**

**Vanta**

FALTA FAZER

**Desva**

98

### Infra-estrutura I3

- **i3 = Internet Indirection Infrastructure**
- **Rede sobreposta ao IP (IP Overlay)**
  - Rede i3 consiste de um conjunto de nós que armazenam "triggers" e encaminham pacotes (usando IP)
- **Funcionamento**
  - Hosts inserem na rede i3 um **identificador lógico** associado ao seu endereço IP
  - Origem envia pacotes para o **identificador lógico**
  - Origem não conhece o endereço IP do destino
  - Associação ID → IP é feita inserindo um "gatilho"
  - Identificadores e triggers têm significado apenas na rede overlay
- **Comunicação baseada em Rendezvous**
  - Mobilidade natural
  - Unicast, Anycast e Multicast tratados uniformemente

99

### Infra-estrutura I3

- **Forma simples**
  - Packet (id, data)
    - id = identificador de m bits, data = dados
  - Trigger(id, addr)
    - id = identificador do gatilho;
    - Addr = endereço do nó (IP, porta)
    - Todos os pacotes com identificador id devem ser encaminhados para o nó addr
- **Outras associações podem formar modelos de encaminhamento mais complexos**

100

### Infra-estrutura I3

API do i3	Funcionamento
sendPacket(p)	Envia pacote para "id"
insertTrigger(t)	Inserir gatilho
removeTrigger(t)	Remove gatilho

• O receptor insere um gatilho (id, R) na rede. id é a sua identificação (nome) na rede e R é o seu endereço IP

101

### Infra-estrutura I3

API do i3	Funcionamento
sendPacket(id,p)	Envia pacote para "id"
insertTrigger(t)	Inserir gatilho
removeTrigger(t)	Remove gatilho

• Emissor envia um pacote para o host id.  
• Pacote encontra o nó que conhece o gatilho para id.

102

### Infra-estrutura I3

API do i3	
sendPacket(id,p)	Envia pacote para "id"
insertTrigger(t)	Insero gatilho
removeTrigger(t)	Remove gatilho

#### Funcionamento

• O nó intermediário encaminha o pacote para o receptor **id** usando o seu endereço IP **R**

103

### Infra-estrutura I3

#### Mobilidade

• O receptor insere um gatilho **(id, R)** na rede e aguarda recebimento de pacotes

104

### Infra-estrutura I3

#### Mobilidade

• O receptor se move para outra subrede e obtém novo endereço **R2**.  
• Atualiza o gatilho com **(id, R2)** na rede e aguarda recebimento de pacotes

105

### Infra-estrutura I3

#### Multicast

• Cada host interessado em participar do grupo multicast "**id**" insere uma trigger

106

### Infra-estrutura I3

#### Multicast

• Emissor envia o pacote normalmente, endereçado ao grupo multicast "**id**"  
• Todos os hosts com trigger associada ao grupo recebem

107

### Infra-estrutura I3

Características
• Rede Overlay sobre a camada IP

Vantagens
• Robustez, escalabilidade, estabilidade (DHT – chord)
• Mobilidade natural
• Multicast natural
• Flexibilidade, Composição de serviços
• Facilidade de Implantação (overlay sobre IP)

Desvantagens
• Problemas segurança adicionais ao já existentes no IP
• Roteamento não-ótimo entre nós intermediários (DHT)

108

### Arquitetura SOS

- SOS = Secure Overlay Services
- Propõe uma rede sobreposta ao IP (overlay network) como solução para reduzir problemas de DoS e DDoS
  - Usa *Distributed Hash Tables* (DHT)
- Objetivo é distinguir entre tráfego autorizado e não autorizado.
  - Filtragem de tráfego
  - Encaminhamento
- Os nós da rede assumem papéis “secretos”
- SOS = um tipo de “Firewall distribuído”

109

### Arquitetura SOS

- Estabelecimento da Rede SOS

• Uma estação **destino** resolve participar da Rede SOS e seleciona um certo número de “**servidores secretos**”

• Depois, cria um filtro na borda da sua rede para permitir apenas o tráfego oriundo dos “servidores secretos”

110

### Arquitetura SOS

- Estabelecimento da Rede SOS

• Servidores secretos autenticam o pedido da estação destino

• Sorteiam um certo número de estações “guias”

• Os guias são selecionados em função da **chave DHT do destino**

• As estações guia autenticam o pedido e passam a encaminhar o tráfego do destino para as estações secretas

111

### Arquitetura SOS

- Encaminhamento de pacotes na Rede SOS

• Quando uma estação **origem** deseja enviar dados para o **destino** ela contacta um nó público da rede SOS chamado **SOAP** (*secure overlay access point*)

• O **SOAP** autentica a origem

112

### Arquitetura SOS

- Encaminhamento de pacotes na Rede SOS

• O SOAP encaminha pacotes para os **guias** através de outros nós intermediários da rede SOS

• Os **guias** encaminham para os **servidores secretos**

• Os servidores secretos encaminham para o **destino**

113

### Arquitetura SOS

<b>Características</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rede Overlay para mitigar DoS em redes IP</li> <li>• Usada em redes de “missão crítica”</li> </ul>
<b>Vantagens</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Redução da probabilidade de sucesso de um ataque de DoS</li> <li>• Robustez contra falhas dos nós da rede (DHT)</li> <li>• Mecanismos para combater um ataque, caso aconteça</li> </ul>
<b>Desvantagens</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Atraso dos pacotes (até 10 vezes o normal)</li> <li>• Roteamento não-ótimo (DHT)</li> </ul>

114

### Prevenção de DoS com "Aptidão para Uso de Recursos"

- Internet atual: host **A** pode mandar pacote para qualquer host **B** a qualquer momento
  - Resultado: vulnerabilidade a DoS, DDoS
- Mecanismo "Aptidão para Uso de Recursos" (AUR)
  - **A** deve obter permissão de **B** antes
  - **B** concede ou não → controla o uso do recurso
  - Concessão consiste em enviar uma **ficha** para **A**
  - A ficha é obtida via uma conexão segura
  - A ficha tem validade de **n** pacotes ou **t** segundos
  - O host **A** deve usar a ficha em cada pacote para **B**
  - A ficha pode ser renovada
- Argumento: Solução para DoS deve permitir o controle do recurso pelo seu proprietário

115

### Prevenção de DoS com "Aptidão para Uso de Recursos"

- Host **A** pede autorização do host **B** através do servidor RTS (request to send) do seu domínio (usando uma conexão segura)
- Servidor RTS encaminha o pedido ao próximo RTS até chegar ao RTS do domínio do host **B**
- Servidores RTS são conhecidos por anúncios BGP

116

### Prevenção de DoS com "Aptidão para Uso de Recursos"

- Host **B** envia uma **ficha** para **A** através da cadeia de RTS
- Cada **RTS** avisa ao servidor **VP** (verification point) do domínio a **ficha** de **A** e a sua validade (tempo ou número de pacotes)
- Servidores **VP** podem ser vistos como um tipo especial de firewall

117

### Prevenção de DoS com "Aptidão para Uso de Recursos"

- **A** manda o tráfego para **B** através dos servidores **VP** e inclui a ficha em cada pacote
- **VP** verifica a ficha e encaminha para o próximo **VP** em direção a **B**

118

### Prevenção de DoS com "Aptidão para uso de Recursos"

Características
• Introduz a idéia de que o dono do recurso deve controlar e impor limites ao seu uso
Vantagens
• Elimina IP spoofing e DoS, DDoS
• Solução pode ser incremental com acordos entre domínios autônomos até obter integração total
Desvantagens
• Pequena sobrecarga para verificação de cada pacote
• Servidores RTS e VP sujeitos a ataques internos (embora com baixo risco)

119

### Síntese das Propostas

5

- Endereçamento e Nomeação
- Roteamento
- Segurança
- Mobilidade
- Transparência Fim a Fim
- Modelo em Camadas

120

### Síntese das Propostas

Proposta	Função					
	Endereçamento, Nomeação	Roteamento	Segurança	Mobilidade	Transparência	Camadas
LNA	★			★	★	
FARA	★	★		★		
NIRA		★				
IPNL	★	★			★	
RBA					★	★
Plutarch	★	★			★	
SFR	★					
i3	★	★		★		
SOS			★			
AUR			★			

121

### Comentários Finais

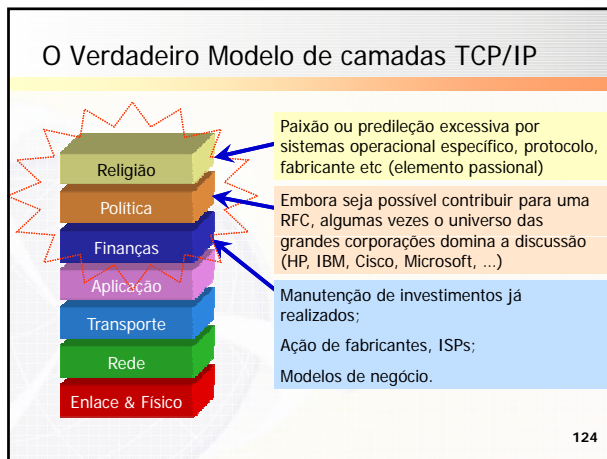
- É possível mudar a Internet?
- Sumário

122

### É possível mudar a Internet?

- **Necessidade de mudanças é forte**
  - Novas demandas, novos modelos de negócio
  - Vide explosão de propostas da comunidade científica
    - NIRA, IPNL, DOA, RBA, Plutarch, i3, SOS, FARA, ...
    - E muitas outras
- **É difícil reestruturar a Internet**
  - Internet precisa de Evolução ou Revolução?
  - O nível de intervenção depende do preço que se dispõe a pagar
  - Por que o IPv6 não foi amplamente implantado?
    - Não é só uma questão técnica !
    - Questões econômicas, Estabilidade (mudar o núcleo da rede)

123



### Sumário

- **Internet é um sucesso, mas está longe do ideal**
  - Fantástica penetração social
  - Cresceu muito, evoluiu pouco, incorporou soluções paliativas com efeitos colaterais
  - Algumas alterações violam seus preceitos originais
  - Resultado: inconsistência técnica
- **Necessidade de mudanças é forte**
  - Novas demandas, novos modelos de negócio
  - Vide explosão de propostas da comunidade científica

125

### Sumário

- **É difícil reestruturar a Internet**
- **E propostas existentes funcionam na prática?**
  - "...we believe in rough consensus and running code"
  - "Keep it simple, stupid"
- **Muitas "Novas arquiteturas" são na verdade conceitos antigos com nova roupagem**
  - Soluções velhas para problemas novos...
- **E afinal, qual a "nova arquitetura" da Internet ?**
  - Talvez uma combinação de conceitos ao invés de uma única solução para tudo
  - Muita, muita, muita discussão à frente

126

## Sumário

- Se fosse possível começar de novo, considerando as lições já aprendidas e as perspectivas de uso que o futuro aponta, como re-projetar a Internet?

127

## Arquiteturas de Rede para a Próxima Geração da Internet



Espero que tenham gostado !

Obrigado.



128