

# TORNANDO OS ENDEREÇOS TOPOLÓGICOS

Capítulo 8

Patterns in Network Architecture

- *Um endereço de 64 bytes é muito longo, não vai caber no meu cartão de visitas.*
  - *Algum dos diversos delegados do CCITT (não consegui ou não quis os seus nomes)*
  
- *P: Portanto, qual deve ser o tamanho de um endereço?*
  
- *R: O processamento do endereço deve chegar a um fim.*

3

# Introdução

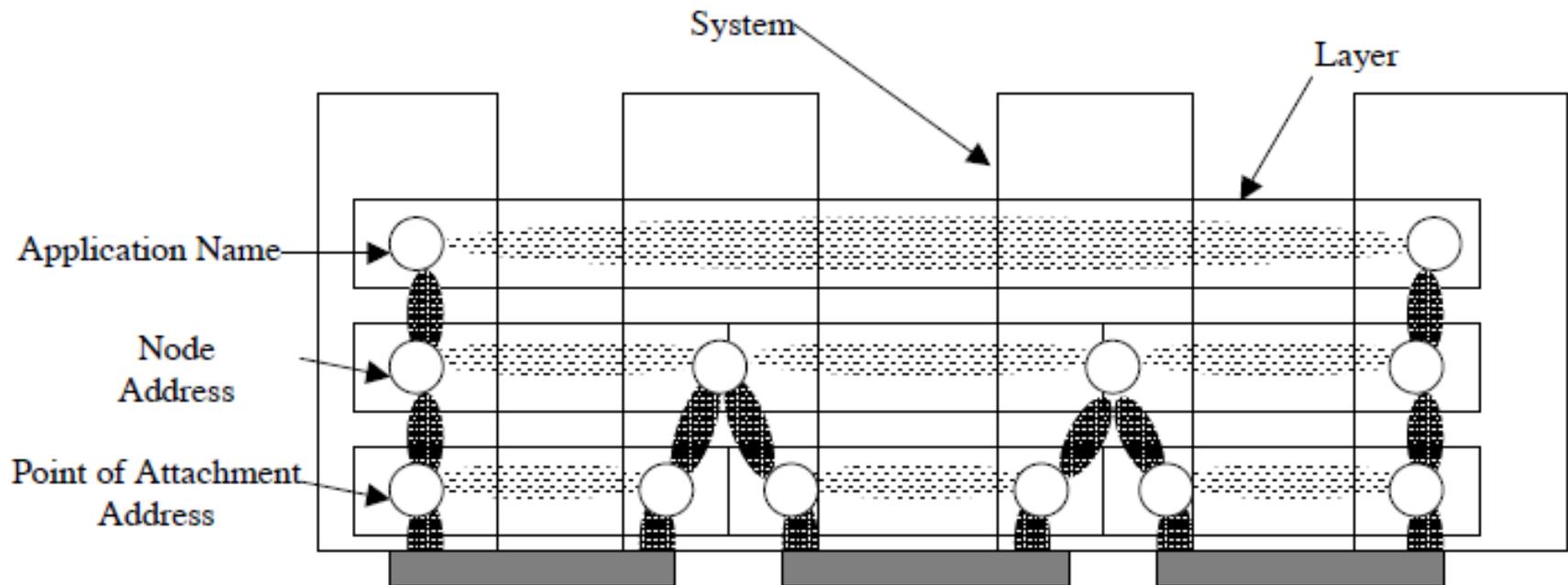
# Resumo do Capítulo 5

- Shoch havia notado de que as redes necessitariam da mesma separação entre nomes lógicos e endereços físicos que são úteis em SOs.
- Saltzer estendeu esta analogia para incluir a distinção entre endereços virtuais e físicos:
  - ▣ Nomes de aplicações independentes da localização
  - ▣ Endereços de nós dependentes da localização
  - ▣ Endereços de pontos de conexão (PoA)
  - ▣ Rotas

# Modelo de Saltzer

5

- Nomes de aplicações mapeiam para endereços de nós.
- Endereços de nós mapeiam em endereços de PoAs.
- Rotas são sequências de PoAs.



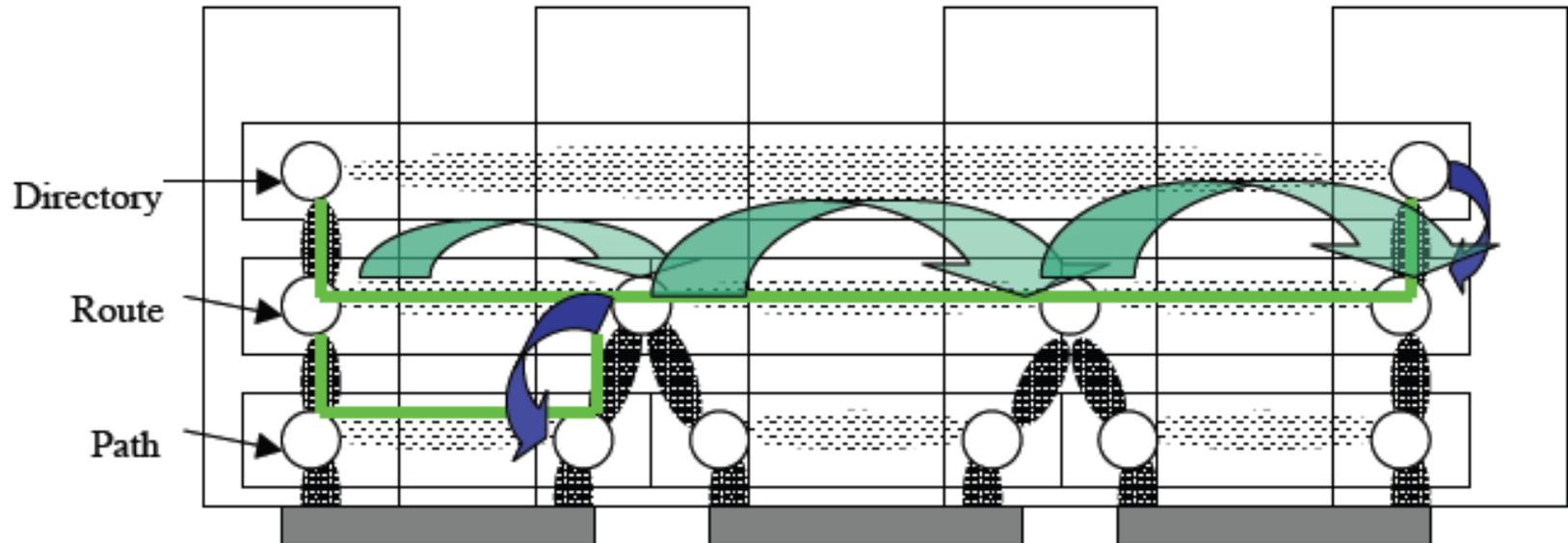
# Resumo do Capítulo 5 (cont.)

- Saltzer não percebeu que, em geral, o roteamento é um processo em duas etapas:
  - ▣ Escolha do próximo salto (de sequências de endereços de nós) e
  - ▣ Escolha do caminho específico para este próximo salto.
- A informação necessária para determinar o caminho (i.e., mapeamento do endereço do nó para os endereços PoA dos vizinhos mais próximos) era o mesmo mapeamento do nome da aplicação para o endereço do nó ou diretório na camada acima.

# Generalizando o Modelo de Saltzer para Redes de Redes

7

- Diretórios mantêm o mapeamento entre Nomes de Aplicações e os endereços de nós de todas as aplicações alcançáveis em um *relay* de aplicação
- Rotas são sequências de endereços de nós usados para calcular o próximo salto.
- Mapeamento de nó para PoA para todos os vizinhos mais próximos para escolher o caminho até a próxima etapa.



# Resumo do Capítulo 5 (cont.)

- Arquitetura de rede composta por uma camada recursiva:
  - ▣ Os endereços de uma camada- $(N-1)$  são os pontos de conexão de uma camada- $(N)$
  - ▣ Algumas aplicações que usem a camada- $(N)$  podem ser membros de uma camada- $(N+1)$  para a qual a camada- $(N)$  são pontos de conexão.
- Falamos que endereços são dependentes da localização sem serem dependentes da rota.
  - ▣ Isto agora precisa ser detalhado!

# Problema ainda não resolvido

9

- O que significa ser dependente da localização em uma rede?
- Como podemos indicar em um grafo *onde* alguma coisa está sem indicar *como* chegar lá?
  - ▣ Especialmente num grafo dinâmico?

# Dependência de Localização em Sistemas Operacionais

10

- Relação entre nomes de aplicações e espaços de endereçamentos lógico e físico.
  - ▣ Endereço dos nós
    - Espaço lógico de endereços
  - ▣ Endereços PoA:
    - Espaço físico de endereços
- Mas, como tornar os endereços dependentes da localização?

# Dependência de Localização em Endereçamento das Ruas

11

- Dado um endereço, é fácil derivar diversas rotas até o destino.
  - ▣ Mas, as redes raramente têm a estrutura regular exibida em muitas cidades.

# Dependência de Localização em Redes

12

- Quando falamos em dependência de localização, é fácil sugerir o uso das coordenadas geográficas (latitude e longitude)
  - ▣ Mas, estamos tentando encontrar algo em uma rede e não na superfície de uma esfera!
- O grafo da rede não é adequado:
  - ▣ Os links vêm e vão muito frequentemente
  - ▣ Não podemos amarrar os endereços a algo tão volátil.
  - ▣ Além do mais ele está muito atrelado ao *como* e não ao *onde*.
  - ▣ Precisamos de uma abstração que permaneça relativamente invariante a mudanças no grafo.

# Topologia

13

- Área da matemática que estuda abstrações de relações espaciais e grafos e propriedades da invariância.
- Se considerarmos endereços que possuam propriedades topológicas, podemos ser capazes de criar endereços que sejam dependentes da localização mas que não sejam dependentes da rota.

14

# Propriedades Gerais do Endereçamento

# Nomes

15

- **Definição 1.** Um *espaço de nomes*,  $NS$  (*Name Space*), é um conjunto  $\{N\}$  de nomes a partir do qual todos os nomes de uma dada coleção de objetos são extraídos. Um nome pode estar restrito a um e apenas um objeto a cada instante.
- **Definição 2.** Um *nome* é uma cadeia de símbolos (*string*) único,  $N$ , em algum alfabeto,  $A$ , que denota, sem ambiguidade, algum objeto ou denota uma afirmação em alguma linguagem,  $L$ . As afirmações em  $L$  são construídas usando o alfabeto,  $A$ .

# Nomes

16

- Cada nome,  $N \in \{N\}$ , pode estar *associado* a um objeto ou *não associado* (estando, portanto, disponível para ser associado).
  - ▣ Um nome não associado é chamado de *nome livre*.
- Um ou mais nomes podem estar associados ao mesmo objeto.
  - ▣ São chamados de *apelidos* ou *sinônimos*.
- Os nomes também são objetos.
  - ▣ Alguns sistemas definem apelidos ou sinônimos aplicáveis a outros nomes, ao invés de à entidade nomeada.

# Operações associadas ao gerenciamento de nomes

17

- **Atribuição (*Assignment*):**
  - ▣ Aloca um nome em um espaço de nomes, essencialmente marcando-o em uso.
  - ▣ A atribuição torna os nomes disponíveis para serem associados
  - ▣ Uma desatribuição remove-o de uso.
- **Associação (*Binding*):**
  - ▣ Associa um nome a um objeto.
  - ▣ Uma vez associado, qualquer referência ao nome acessa o objeto.
  - ▣ Para evitar erros, quando um nome é desassociado de um objeto, é recomendável que ele não seja desatribuído por um certo período de tempo.

# Escopo de um nome

18

- O escopo de um nome ou espaço de nomes é o conjunto de todos os objetos aos quais ele pode ser aplicado.
  - ▣ Frequentemente é usado em referência ao escopo no qual um nome é não ambíguo.
  - ▣ Seja  $A \supseteq B$ , se o nome,  $a$  for não ambíguo no escopo de  $A$ , então não há nenhuma outra ocorrência associada ou não do nome  $a$  em  $A$ .
    - Qualquer referência a  $a$  no contexto de  $A$  resultará no mesmo objeto.
  - ▣ No entanto, pode haver uma ocorrência de  $a$  em  $B$ , onde  $B \cap \neg A = \phi$ , de modo que uma referência a  $a$  não resultará o mesmo objeto que uma referência a  $a$  no contexto de  $A$ .

# Endereços

- **Definição 3.** Um espaço de endereços,  $AS$ , é um espaço de nomes definido em um conjunto  $\{A\}$  de strings,  $a$ , em uma linguagem  $L$ , que é um espaço topológico.
  - Associado com  $\{A\}$  existe uma função,  $F: O \rightarrow A$ , que mapeia objetos,  $o \in O$  a endereços  $a \in A$ .
    - $F$  é uma função de uma ou mais propriedades do objeto que exhibe o atributo apropriado de “proximidade”.
  - O conjunto  $\{A\}$  possui uma estrutura topológica para algum nível de granularidade,  $g$ .
- **Definição 4.** Um endereço é um nome com significado topológico que identifica um objeto ou conjunto de objetos sem ambiguidade.

# Nomes não topológicos

- **Definição 5.** Um *espaço de títulos* é um espaço de nomes independentes de topologia.
- **Definição 6.** Um *título* é um nome independente de topologia que identifica um objeto ou conjunto de objetos de forma não ambígua.
- Usamos *título* para nos referir a nomes que não são *endereços*.

21

# Introduzindo Topologia para Endereçamento

# Estruturas Topológicas

- **Definição 7.** Uma *estrutura topológica* (ou resumidamente, uma topologia) em um conjunto  $X$  é uma estrutura dada por um conjunto  $A$  em subconjuntos de  $X$ , possuindo as seguintes propriedades (axiomas das estruturas topológicas):
  - Cada união de conjuntos de  $A$  é um conjunto de  $A$ .
  - Cada intersecção finita de conjuntos de  $A$  é um conjunto de  $A$ .
  
- Os conjuntos de  $A$  são chamados de conjuntos abertos da estrutura topológica definida por  $A$  em  $X$ .

# Topologia

23

- É o estudo daquelas propriedades de um objeto que são invariantes mediante uma deformação.
- **Definição 8.** Uma *topologia* é definida da seguinte forma: Seja  $X$  um conjunto não vazio e  $T$  uma coleção de subconjuntos de  $X$  de modo que:
  - $X \in T$
  - $\phi \in T$
  - Se  $O_1, O_2, \dots, O_n \in T$ , então
    - $O_1 \cap O_2 \cap \dots \cap O_n \in T$
  - Se para cada  $a \in I, O_a \in T$ , então  $\bigcup_{a \in I} O_a \in T$

# Espaço Topológico

24

- O par de objetos  $(X, T)$  é chamado de espaço topológico.
  - ▣ O conjunto  $X$  é chamado de *conjunto subjacente*
  - ▣ A coleção  $T$  é chamada de *topologia no conjunto,  $X$ , e*
  - ▣ Os membros de  $T$  são chamados de *conjuntos abertos*.
  
- **Definição 9.** Um *espaço topológico* é um conjunto dotado de uma estrutura topológica.

# Topologia

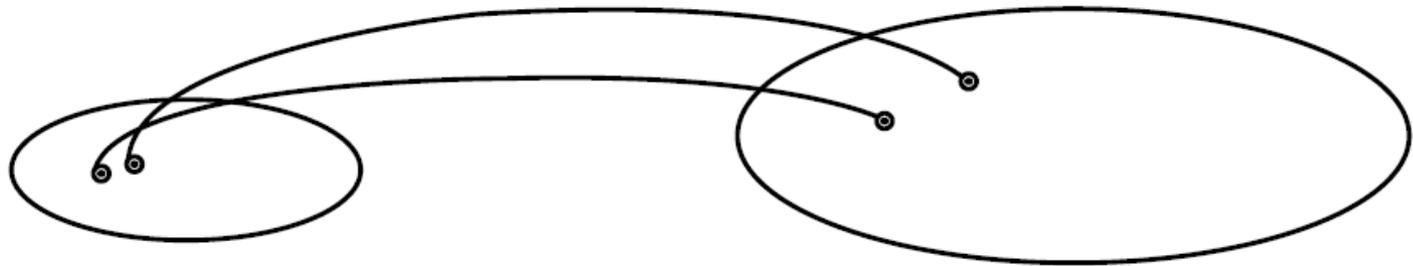
25

- **Definição 10.** *Topologia* é o estudo das propriedades que se mantêm invariantes sob um homeomorfismo.
- **Definição 11.** Um *homeomorfismo* é uma função contínua,  $F: X \rightarrow Y$ , que é um-a-um e onto, e mapeia cada ponto  $x \in X$  para um ponto  $y \in Y$ , e  $F^{-1}$  existe e é contínua.
  - Este mapeamento garante que pontos “próximos” a  $x$  sejam mapeados em pontos “próximos” a  $y$ .

# Homeomorfismo

26

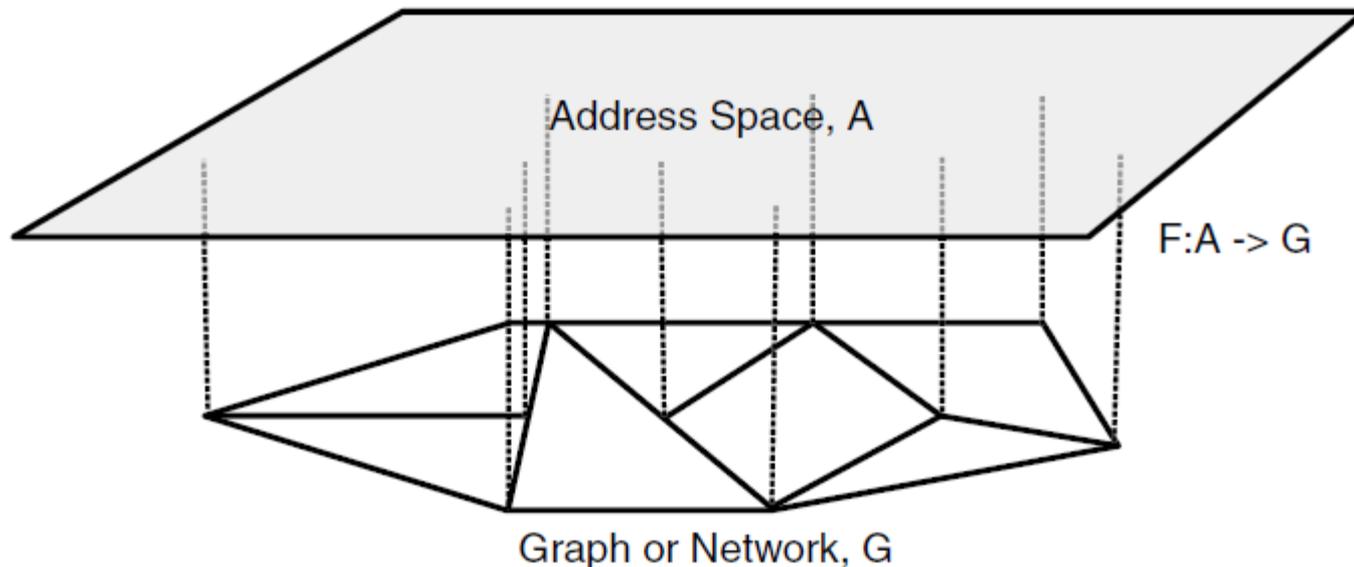
- **Definição 12.** Um *homeomorfismo* de um espaço topológico  $X$  em um espaço topológico  $X'$  é um isomorfismo da estrutura topológica de  $X$  naquela de  $X'$



# Espaço de Endereços

27

- O espaço de endereços,  $A$ , possui uma estrutura topológica definida pela função  $F: A \rightarrow G$ .
- Pontos que estejam próximos uns dos outros em  $G$  estarão também próximos uns dos outros em  $A$ .



# Granularidade

28

- **Definição 13.** A *granularidade*,  $g$ , do espaço de endereços,  $AS$ , é definido como segue:
  - Considere dois endereços,  $a$  e  $b$  em  $A$ 
    - Se  $d(a,b) < g$ , então  $d(a,b) = \varepsilon$ 
      - À medida que  $\lim \varepsilon \rightarrow 0$
  - Ou seja, apesar de  $a$  e  $b$  serem distintos e referenciem diferentes objetos, em relação à topologia eles se encontram “no mesmo local”.
    - Ex.: telefones conectados a uma mesma central.
    - Qualquer rota para qualquer destes endereços deve ser a mesma!

# Distância

- **Definição 14.** Um espaço *topológico metrizable* é uma topologia para a qual existe uma função distância.
- **Definição 15.** Uma *função distância* é definida como uma função,  $d: x \rightarrow y$ 
  - ▣ Onde  $x, y \in X$  de modo que:
    1.  $d(x, y) \geq 0$
    2.  $d(x, y) = 0$  se  $x = y$
    3.  $d(x, y) = d(y, x)$
    4.  $d(x, z) \leq d(x, y) + d(y, z)$

# Orientação

- Definiremos que um espaço de endereços,  $A$ , possui uma *orientação* se e somente se houver uma relação  $R$  em  $A$  que seja uma ordenação parcial, definida como sendo reflexiva, antissimétrica e transitiva.
- **Definição 16.** Existe uma *relação*  $R$  em um conjunto  $A$  de modo que para todo  $x, y$  e  $z$  em  $A$ 
  1.  $x R x$  (reflexividade)
  2. Se  $x R y$  e  $y R x$ , então  $x=y$  (antissimetria)
  3. Se  $x R y$  e  $y R z$ , então  $x R z$  (transitividade)

# Ordenação

31

- **Definição 17.** Se  $R$  for uma *relação de ordem* em  $A$ , ele possui um grafo que é uma ordenação em  $A$ .
- Onde o grafo  $G$  é definido como:
  - $G$  será um grafo se cada elemento de  $G$  for um par ordenado.
  - Ou seja, se a relação abaixo for verdadeira:
    - $(\forall z)(z \in G \Rightarrow (z \text{ é um par ordenado}))$

# Resumo

32

- Um espaço de endereços é um conjunto com uma estrutura topológica e em alguns casos uma função distância e/ou uma orientação.
- Uma topologia com uma relação de orientação imposta nela, dá-nos uma noção abstrata de “direção”.
  - Ambas podem ser usadas na tradução de uma designação de *onde* para uma definição de *como chegar lá*.
- Criamos um homeomorfismo entre o espaço de endereços e os elementos do grafo da camada (i.e., a conectividade dos elementos com relação à sua camada).

# Topologias para Endereçamento

# Topologia dos nomes de uma linguagem

34

- A ordenação das palavras de uma linguagem é a propriedade usada para determinar onde a palavra se encaixa na topologia do espaço de endereços (i.e., dicionário).
- Um *thesaurus* mantém um mapeamento entre dois espaços de nomes cada um com uma topologia diferente.
  - ▣ Há uma tabela com a ordem alfabética das palavras e
  - ▣ Outra tabela organizada de acordo com alguma topologia semântica que tenta colocar as palavras com significados semelhantes “perto” uma das outras. A primeira tabela aponta para a segunda.

# Topologias de nomeação e de endereçamento

35

- A principal diferença entre a nomeação das aplicações e o endereçamento IPC é a natureza da topologia.
- As topologias de endereçamento IPC são usadas para localizar processos IPC relativamente uns aos outros dentro de um DIF e são, portanto, dependentes da localização.
- Topologias de nomeação de aplicações são usadas para localizar aplicações dentro de um espaço semântico (ou um conjunto de atributos semânticos).

# Espaços de Endereços para IPC

36

- Os espaços de endereços para IPC serão provavelmente metrizáveis e, caso não sejam, deverão ter uma orientação.
- Dado que a natureza dos espaços de endereçamento são tão radicalmente diferentes (e devem mesmo ser assim), os mapeamentos do espaço de endereços das aplicações para o espaço de endereços dos IPCs distribuídos, não devem ser homeomórficos.

# Relação entre Espaços de Endereços

37

- A relação entre espaços de endereços de (N)-DIFs deve possuir conceitos de proximidade para facilitar o roteamento dentro de suas camadas ou subredes.
- Podemos esperar que os mapeamentos entre camadas sejam em muitos casos homeomórficos.
- Arquiteturas de rede sem esta dependência topológica não define endereços, apenas nomes!
  - ▣ Os “endereços” MAC e IP pré-CIDR, por exemplo, são nomes e não endereços!

# Questão principal

38

- A questão principal é quais topologias para os espaços de endereçamento:
  - Fazem sentido
  - São de fácil manutenção
  - Escalam
  - Têm boas propriedades de roteamento
  - Etc.

# Questão principal

39

- Queremos encontrar algoritmos úteis e efetivos para criar e configurar topologias de espaços de endereços baseados nas abstrações, agregações e topologias das subredes sem amarrá-las à topologia física da rede mas, ao mesmo tempo, provendo uma convergência para este grafo físico.
- Parafraseando Einstein:
  - ▣ Se o grafo de uma rede difere significativamente da topologia escolhida para o espaço de endereços, é porque escolhemos a topologia errada.
- A topologia do espaço de endereços e o grafo da rede precisam ser trabalhados juntos.
  - ▣ O melhor que podemos fazer é explorar grafos de redes comuns para topologias úteis.

40

# O Papel da Hierarquia no Endereçamento

# Hierarquias em Arquiteturas de Rede

41

- A Hierarquia de Camadas
- O espaço de endereços hierárquico
- A organização hierárquica de sub-redes

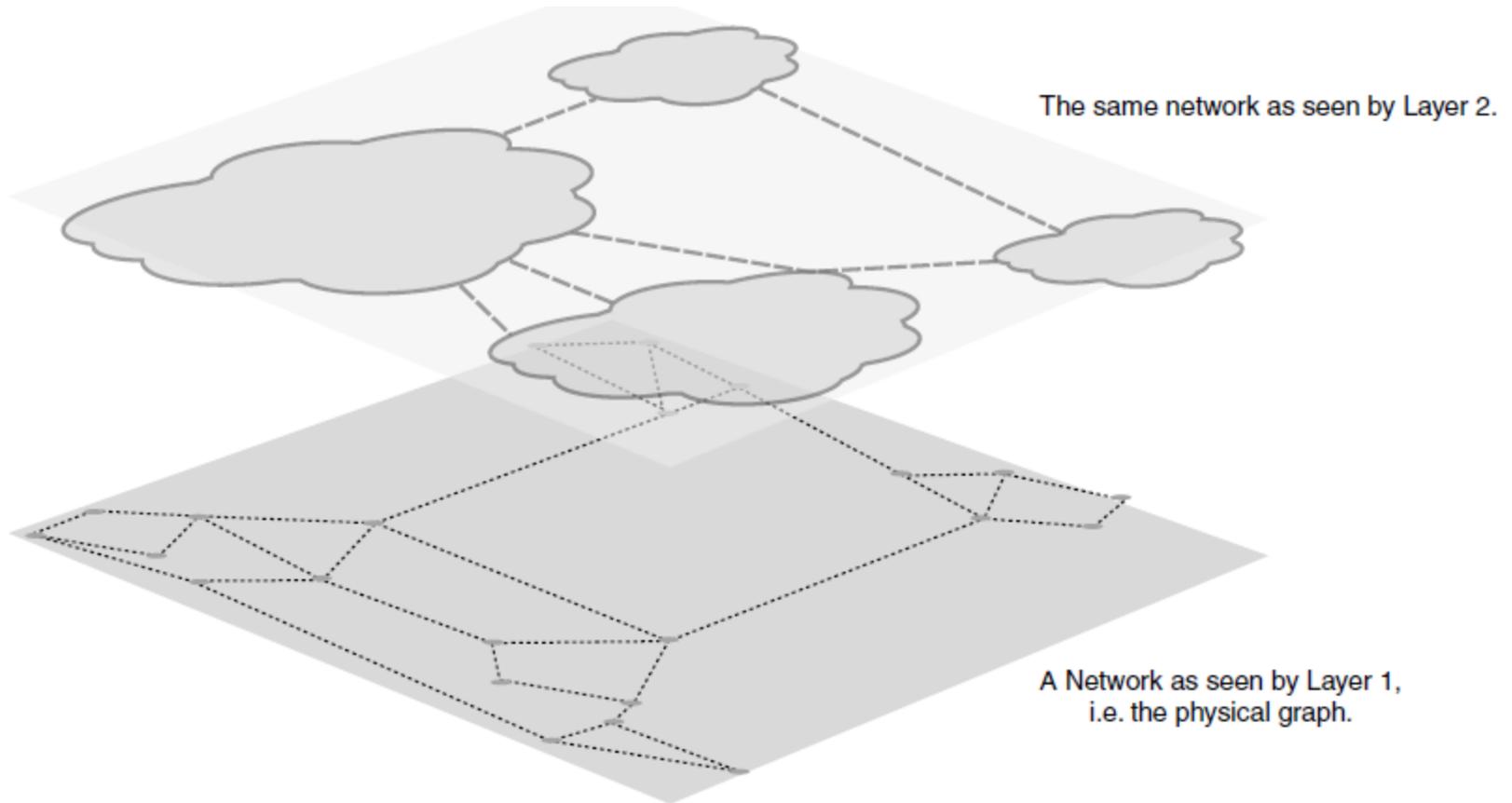
# A Hierarquia de Camadas

42

- As camadas possuem duas propriedades principais que nos interessam:
  - Abstração
    - As camadas proveem uma abstração das camadas inferiores.
    - Para criarmos um espaço de endereços topológicos, necessitamos de uma abstração do grafo físico da rede.
  - Escala

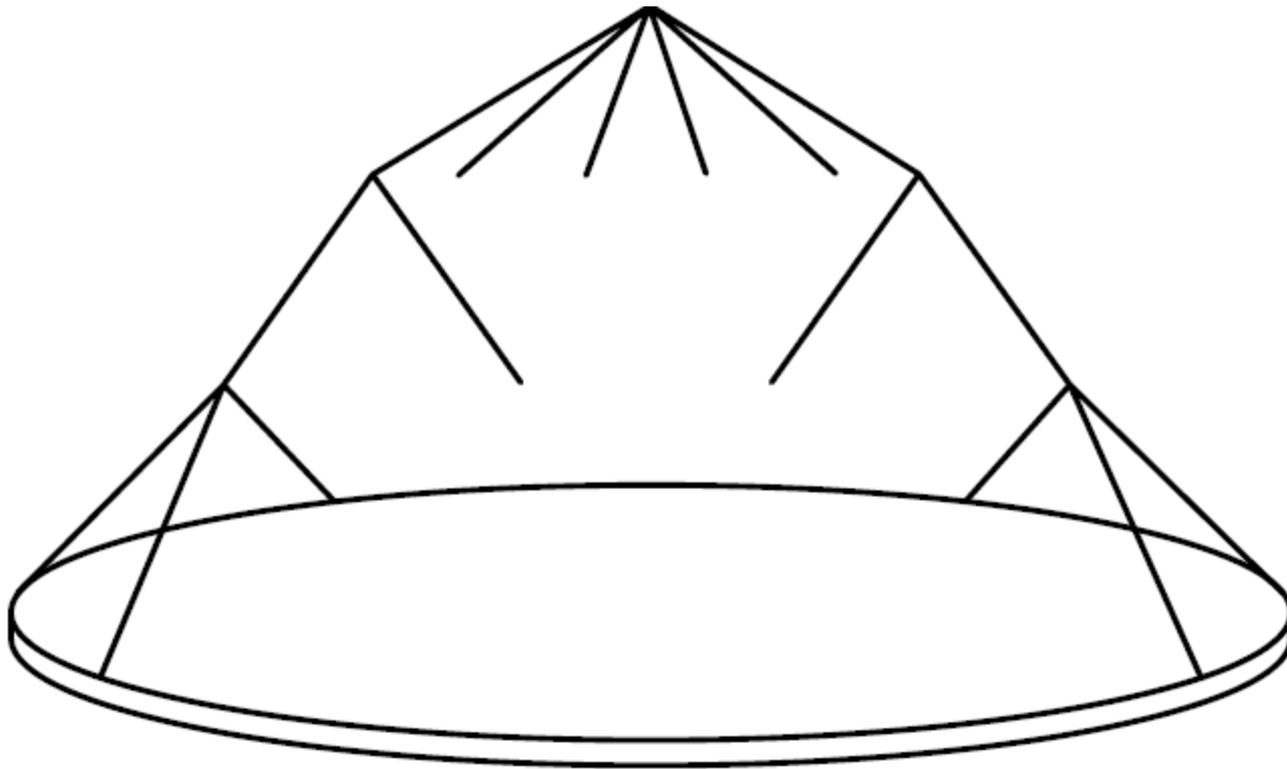
# A Hierarquia de Camadas: Abstração do grafo de uma rede

43



# Topologia Hierárquica dos Espaços de Endereçamento

44



# Identificadores

- Um identificador de domínio não terminal identifica um conjunto de domínios (i.e., um conjunto de conjuntos de endereços)
- Estes identificadores podem ser usados para codificar granularidades cada vez menores de informação de localização e podem também indicar distância e direção.
- Os domínios terminais refletem a granularidade da topologia.
  - ▣ Dentro de um domínio terminal os endereços são alocados de algum modo arbitrário (não necessariamente topológico).

# Propriedades de um Espaço de Endereços numa Topologia Hierárquica

46

- Nesta topologia os pontos são representados por uma série de identificadores de domínio:
  - $(d_n, \dots, d_1, d_0)$
- Granularidade:
  - $d(\mathbf{a}, \mathbf{b}) < g \iff$
  - $\forall \mathbf{a} = (a_n, \dots, a_1, a_0) \text{ e } \mathbf{b} = (b_n, \dots, b_1, b_0)$
  - $\exists a_i = b_i \forall i \exists 1 \leq i \leq n$
  - Em outras palavras, a distância entre dois endereços no mesmo domínio folha não é distinguível na topologia.

# Distância entre dois endereços

47

- Distância entre dois endereços,  $\mathbf{a}$  e  $\mathbf{b}$ :
  - ▣  $d(\mathbf{a}, \mathbf{b}) = 2 \times \sum (a_i \neq b_i) \quad 1 \leq i \leq n$
- Um espaço de endereços hierárquicos é aplicável a uma e apenas uma camada.

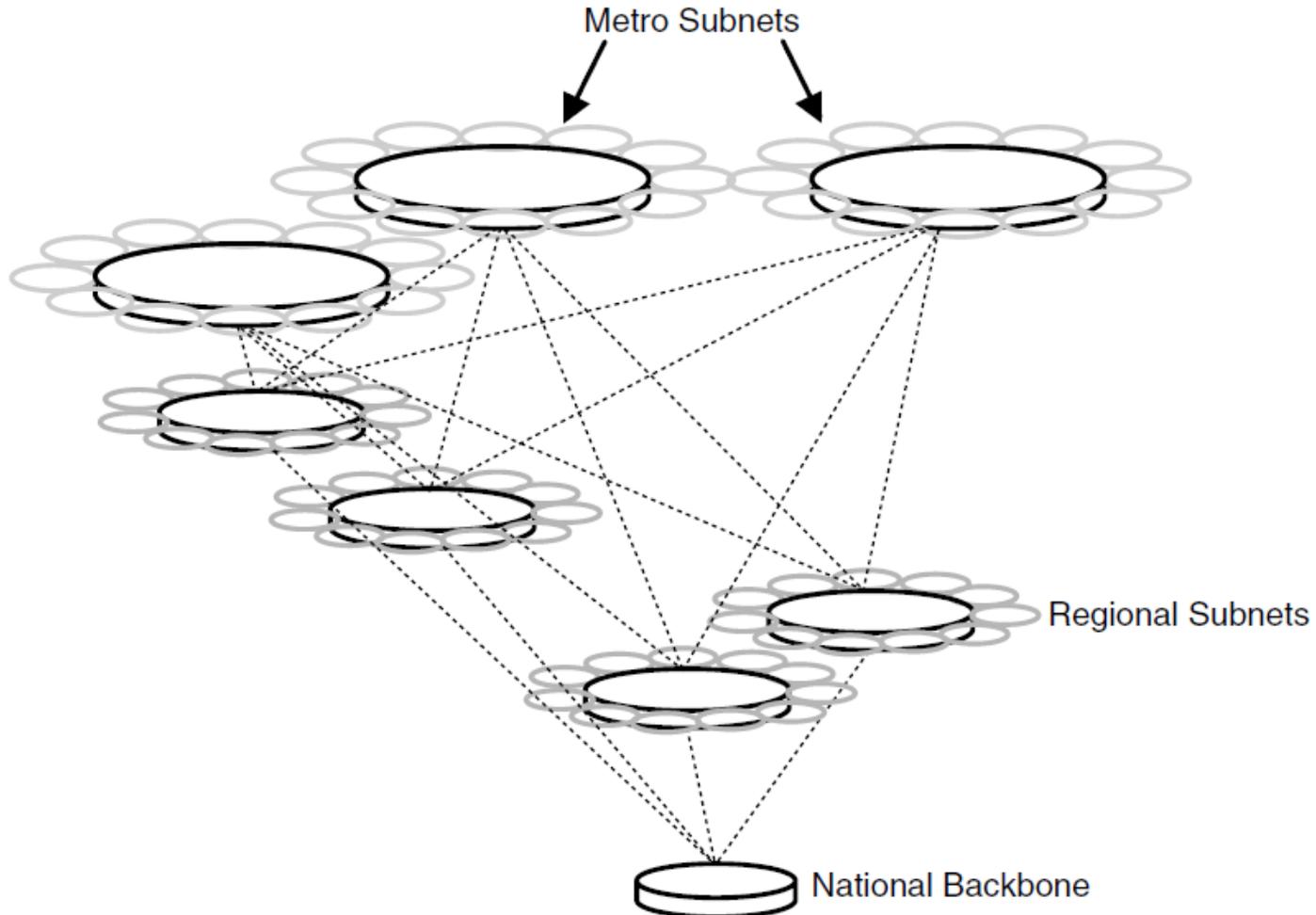
# Hierarquias de Redes

48

- As hierarquias de redes são representadas por sub-redes.
  - ▣ Organizadas de forma hierárquica com uma maior conectividade dentro das sub-redes do que entre sub-redes.
  - ▣ As redes reais são grosseiramente hierárquicas:
    - Sub-redes corporativas ligadas a sub-redes metropolitanas, ligadas a sub-redes regionais, ligadas a sub-redes de *backbone*
    - “Grosseiramente”, significa aqui que a hierarquia não é seguida rigidamente.
      - Podem haver atalhos entre nós da árvore criando laços.

# Hierarquia de Sub-redes

49



# Hierarquia de Redes

50

- O número de níveis em uma hierarquia irá variar de acordo com:
  - ▣ O número de elementos na rede
  - ▣ Considerações organizacionais.
- Algumas redes como a Internet pública não estão enraizadas em uma única sub-rede, nem as conexões entre as sub-redes são estritamente hierárquicas (nem devem ser).

# Projeto de Redes

51

- No início da história das redes houve um trabalho considerável para otimizar o projeto de redes.
  - ▣ Preocupação com dutos “largos” o suficiente para transportar o tráfego esperado.
  - ▣ Com o crescimento da rede, a quantidade de nós nos caminhos se tornou uma questão importante.
    - A hierarquia pode reduzir o diâmetro da rede.
- O projeto de rede deve ser guiado pela topologia imposta ao espaço de endereçamento.
  - ▣ Quanto mais o gráfico seguir a topologia, mais fácil será o roteamento.
  - ▣ Deverá também incorporar outras restrições como o alto volume de tráfego entre nós particulares e tarifas!

# Projeto de Redes

52

- Um caminho quase ótimo seria rotear em direção ao *backbone* (a menos que seja encontrado um atalho) e depois retornar a descer na árvore.
- A abordagem óbvia seria que a hierarquia do espaço de endereços correspondesse de alguma forma à hierarquia das sub-redes.
  - ▣ No entanto, esta correspondência não pode ser muito próxima devido às mudanças que tendem a ocorrer na topologia física da rede.

# Juntando os Espaços de Endereçamento com a Hierarquia de Camadas

53

- O grafo de uma camada-(N) como vista acima da fronteira da camada-(N) é um grafo totalmente conectado, ou seja, todos estão diretamente conectados.
- O grafo da camada-(N) visto abaixo da fronteira da camada-(N) é uma rede-(N) que consiste de uma coleção de camadas-(N-1), que formam uma cobertura da camada-(N) e os relays-(N) que proveem a conectividade entre as camadas-(N-1) (ou sub-redes).
- A composição das sub-redes escolhidas para formar as camadas-(N-1) criam a estrutura topológica da rede-(N).

# Juntando os Espaços de Endereçamento com a Hierarquia de Camadas

54

- Os nós terminais de uma rede estão diretamente conectados a um ou mais relays-(N)
  - ▣ Ou seja, estão a uma etapa através de uma sub-rede-(N-1) de um ou mais relays-(N).
  - ▣ k camadas-(N-1) são necessárias para cobrir a rede-(N).
- Há uma “cobertura” da camada (N) se e só se cada relay de camada-(N) tiver uma associação com um elemento de alguma camada-(N-1)
  - ▣ Isto é, uma associação entre um processo-IPC-(N) e um processo-IPC-(N-1) no mesmo sistema.
  - ▣ Um processo-IPC-(N) que não for um relay-(N) não precisa ter uma associação com um processo-IPC-(N-1).

# Juntando os Espaços de Endereçamento com a Hierarquia de Camadas

55

- As camadas entre o “topo” e a “base” são criadas como uma combinação de abstração do grafo da camada física e uma agregação dos fluxos da(s) camada(s) acima.
- A associação entre os elementos da topologia formada pelo espaço de endereços da camada-(N) e o grafo da rede-(N) é a base para o roteamento.
  - ▣ A manutenção deste mapeamento é a função do diretório/roteamento.

# Mapeamento entre DIFs

56

- O mapeamento entre DIFs de endereços-(N) internos para as camadas (N+1) ou (N-1) podem ser homeomórficos.
- Há basicamente três exceções:
  - ▣ Para camadas-(N) com um escopo que seja suficientemente pequeno (menor do que a granularidade de espaços de endereços típicos).
  - ▣ Pode haver uma descontinuidade no mapeamento entre camadas pertencentes a domínios diferentes.
  - ▣ A camada-(N+1) não atende os requisitos de segurança de interface da camada-(N).
    - A camada-(N) não confia na camada-(N+1) e apenas cria fluxos/conexões entre aplicações (não reconhece as aplicações como sendo processos-IPC-(N+1)).

# Espaço de Endereços

57

- Cada camada possui um espaço de endereços distinto e independente.
- Se o escopo da camada for grande o suficiente, ele terá um espaço de endereços hierárquico.
- A escolha dos domínios não é totalmente arbitrária. Em geral corresponderão a:
  - ▣ Regiões geográficas
  - ▣ Locais das instalações de uma organização
  - ▣ Sub-redes, etc.
- A escolha de domínios pode ser usada efetivamente ao mapear uma camada em outra.

58

# Arquitetura Hierárquica de Endereçamento

# Introdução

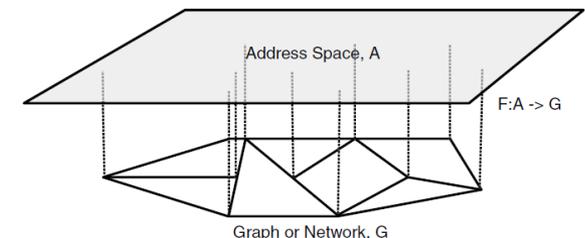
59

- O desafio é efetivamente fazer uso das ferramentas hierárquicas sobre a rede hierárquica natural para criar uma arquitetura de endereçamento.
- Queremos realizar a alocação de endereços de modo a facilitar ao máximo possível encontrar a localização dos processos IPC.
- O nosso espaço de endereçamento hierárquico deve refletir uma hierarquia “ideal” de sub-redes.
  - Os endereços devem refletir esta estrutura ideal mesmo se a realidade física for um pouco diferente.

# Topologia de Endereços para uma Única Camada

60

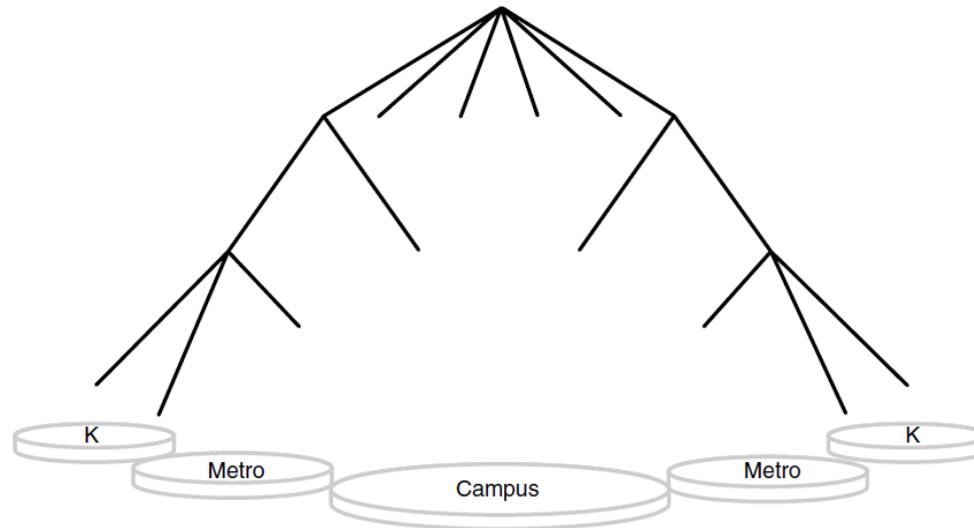
- Quando os nós são adicionados ao grafo, os endereços são alocados de acordo a “onde” estão em relação aos demais nós e portanto à topologia do espaço de endereços.
- Qual a topologia que seria útil para o roteamento?
  - ▣ Poderia ser uma topologia de grade em duas ou três dimensões, obviamente isto estaria restrito a uma escala local.



# Topologia de Endereços Hierárquicos para uma Única Camada

61

- Se uma rede for grande o bastante para ser organizada como uma hierarquia, ela é grande o bastante para organizar também os seus endereços hierarquicamente.
- Uma rede deste tipo terá 3 ou 4 níveis na hierarquia.



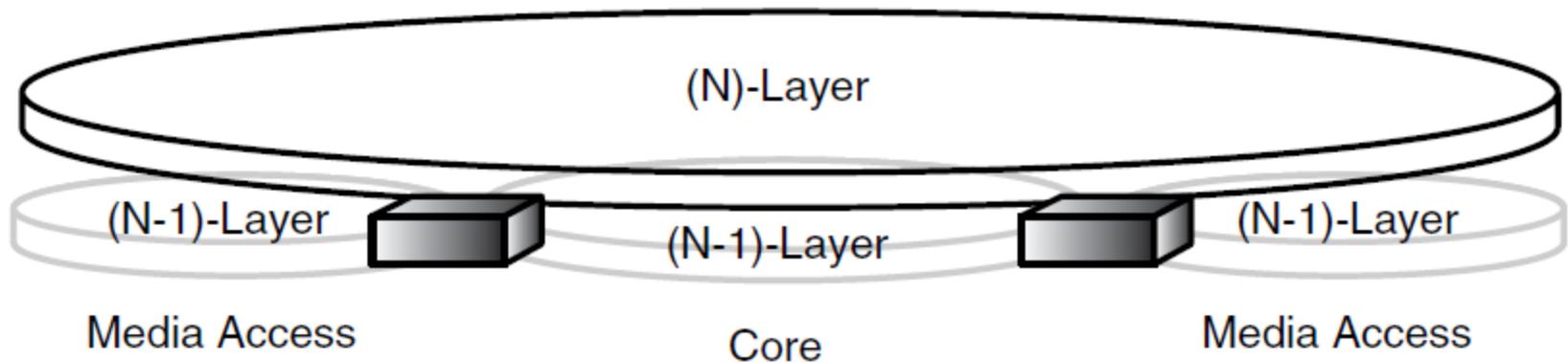
# Topologia de Endereços Hierárquicos para uma Única Camada

62

- Dado que o endereço indica onde o nó se encontra, ele representa uma rota abstrata.
  - É uma espécie de *anycast* porque o endereço não indica um caminho específico mas qualquer um entre diversos caminhos através da sub-rede hierárquica.
  - Os roteadores sabem que pelo menos como default, eles podem rotear ao longo de caminhos subindo e descendo na árvore de sub-redes.

# Topologia de Endereços para uma Hierarquia de Camadas

63

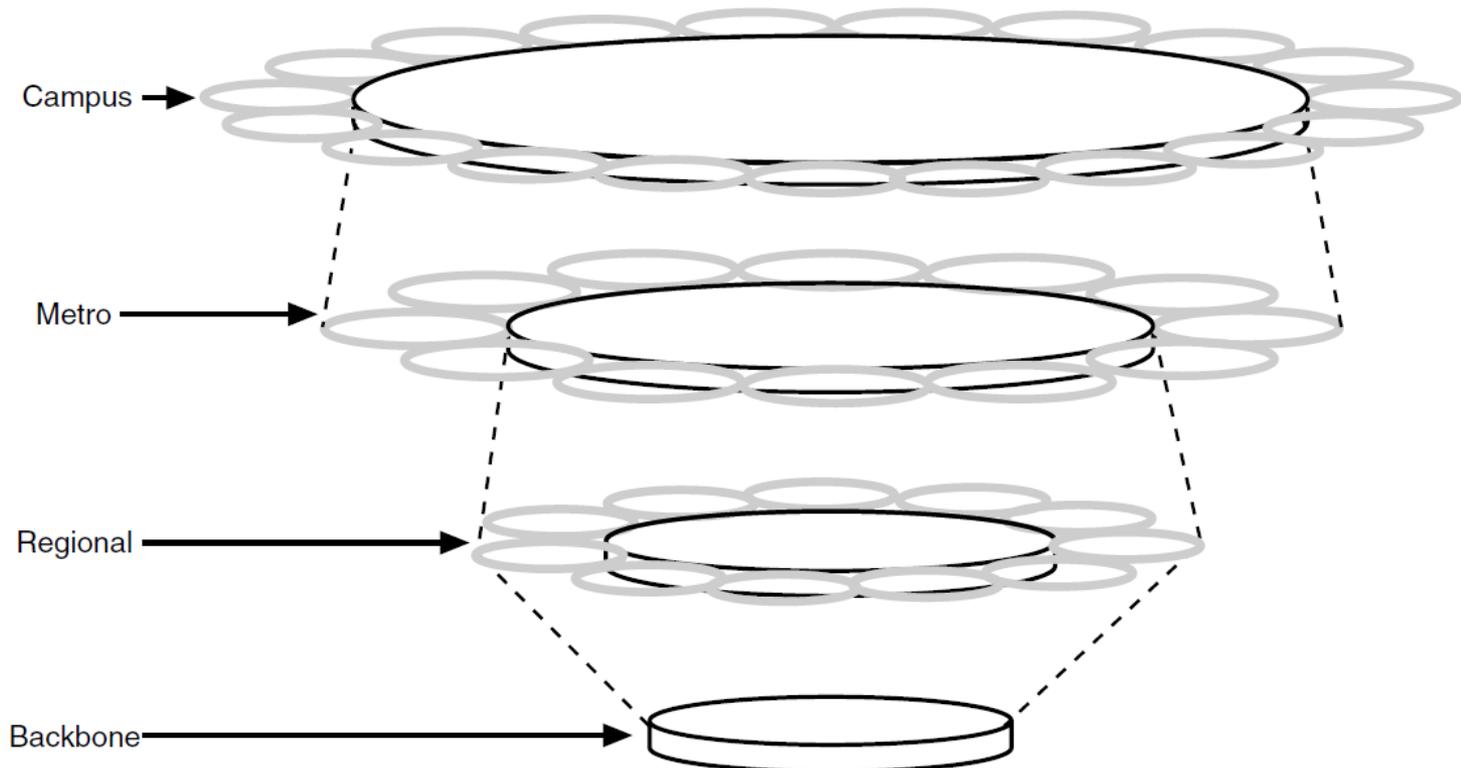


- São nos roteadores de borda em que ocorrem as recursões.
  - ▣ A configuração dos roteadores de borda difere da dos roteadores tradicionais porque o seu lado “interno” desce uma camada.

# Topologia de Endereços para uma Hierarquia de Camadas

64

- Para grandes redes podemos assumir que um endereço hierárquico será usado para a maioria das camadas que não sejam de acesso ao meio.



# Topologia de Endereços para uma Hierarquia de Camadas

65

- Se assumirmos que o espaço de endereços da camada-(N) seja hierárquico, será vantajoso (mas não necessário) que:
  - ▣ os “domínios” mais altos do endereço reflitam a estrutura da sub-rede do núcleo, enquanto que
  - ▣ os domínios mais baixos do endereço reflitam a topologia das sub-redes das bordas.
- Dado que cada subdomínio do endereço pode ser alocado independentemente dos demais, nem todas as sub-redes das bordas precisam ter a mesma estrutura topológica, podendo casar com a topologia local.

# Topologia de Endereços para uma Hierarquia de Camadas

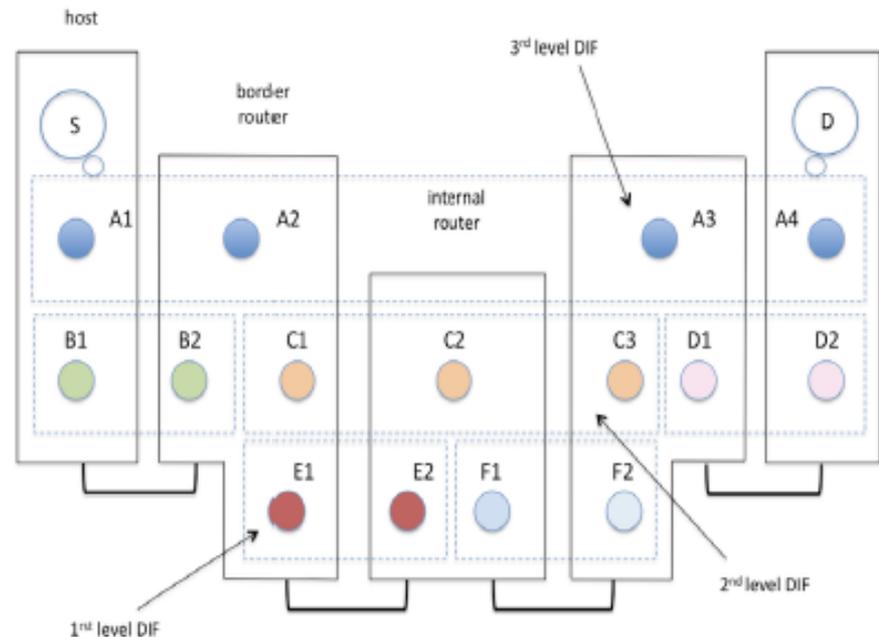
66

- Os endereços-(N) são usados apenas pelos elementos da camada-(N).
  - ▣ O espaço de endereços-(N) deverão nomear apenas os elementos das sub-redes-(N)
    - Enquanto que no caso anterior deveria nomear todos os elementos de todas as sub-redes.

# Topologia de Endereços para uma Hierarquia de Camadas

67

- A camada mais alta de um roteador de borda possui um endereço de camada-(N),
  - ▣ mas a camada do meio e a camada mais alta de todos os roteadores do núcleo da sub-rede têm apenas endereços-(N-1).



# Topologia de Endereços para uma Hierarquia de Camadas

68

- Vantagens:
  - O espaço de endereços-(N) pode ser menor porque não é usado para o núcleo da rede.
  - Também o espaço de endereços-(N-1) podem ser muito menores.
  - Apesar de cada sub-rede de borda seja parte da mesma camada, as suas políticas de roteamento podem ser independentes de todas as demais sub-redes de borda desta camada.

# Roteamento

69

- O roteamento deve ser efetuado apenas dentro da sua sub-rede até os roteadores de borda.
- O roteador de borda então pega a sub-rede de destino que, por definição, encontra-se a apenas uma etapa de distância.
  - A PDU é então entregue para a camada-(N-1) para roteamento através da sub-rede de núcleo.
  - Dado que cada roteador de borda neste nível está diretamente conectado a cada um dos demais, o número de potenciais próximas etapas pode ser muito grande.
  - É aqui onde o mapeamento topológico entre os espaços de endereço das camadas-(N) para a (N-1) pode ser vantajosa.
    - Essencialmente usamos a estrutura topológica entre os espaços de endereços (N) e (N-1) para simplificar o mapeamento.

# Roteamento

- As políticas de roteamento do núcleo (assim como a sua topologia) podem ser completamente diferentes das sub-redes das bordas e realizada por uma camada completamente separada com o seu próprio espaço de endereços.
- As únicas rotas que um roteador deve armazenar são as locais à sua sub-rede e qualquer túnel que termine na sua sub-rede.
- É preciso calcular rotas e determinar o próximo caminho ao atravessar uma sub-rede e para conhecer que saída deve tomar a partir da camada, caso contrário o endereço é suficiente.

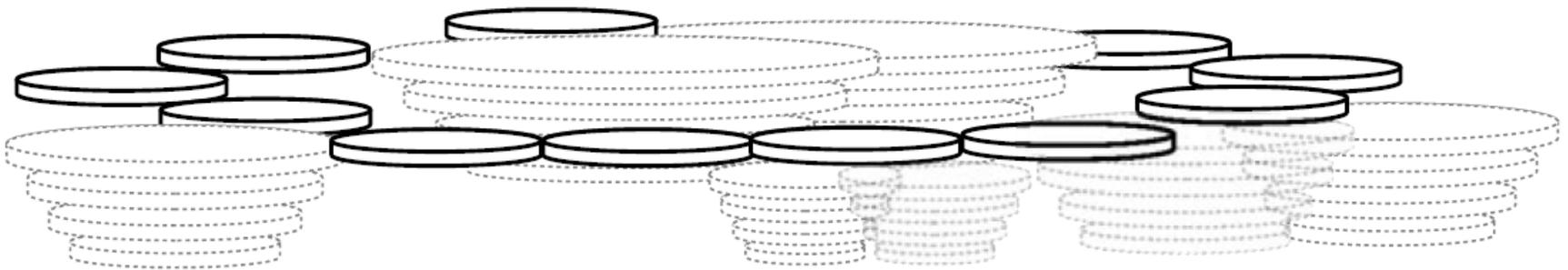
# Roteamento

- ❑ Falhas de links na árvore default resultará no armazenamento de mais rotas.
- ❑ De qualquer modo, a quantidade de informação de roteamento a ser trocada é drasticamente reduzida.

# Topologias de Endereçamento para Múltiplas Hierarquias de Camadas

72

- Considere uma corporação com instalações espalhadas pelo mundo.
  - ▣ Em alguns casos há múltiplas instalações na mesma área.
  - ▣ Pode ser criada uma camada no “topo” que abrange todas as instalações com uma sub-rede para cada instalação ou região de instalações.
- Sub-redes corporativas são suportadas por provedores superpostos e não superpostos.



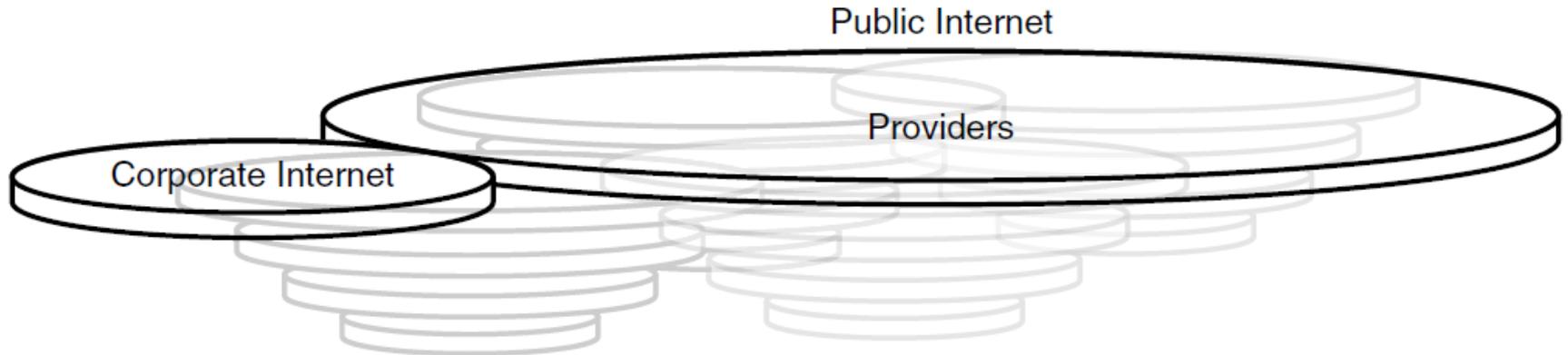
# Topologias de Endereçamento para Múltiplas Hierarquias de Camadas

73

- Roteadores de borda nas extremidades destas sub-redes podem se conectar a outras sub-redes ou a um ou mais provedores de suporte.
- Os dados corporativos são encapsulados pelos roteadores de borda e enviados através de um dos provedores.
- Apenas os roteadores corporativos de borda reconhece a estrutura de endereçamento corporativo.
- Os endereços do provedor aparecem como PoAs dos roteadores de borda corporativos.
- A rede corporativa flutua sobre as redes dos provedores.
- Os provedores (e os usuários corporativos) são os únicos proprietários e estão em controle completo de seus espaços de endereçamento.

# Modelando a Internet Pública

74



- A Internet é apenas uma outra rede “organizacional”, apenas muito grande.
- É uma camada que ficariam ao lado (no mesmo nível) das redes corporativas que acabamos de descrever.
- Aplicações na rede corporativa iriam solicitar nomes de aplicações que não se encontram na rede corporativa mas numa rede mais “pública”.

# Modelando a Internet Pública

75

- Apenas os hosts que queiram se conectar à rede pública necessitariam de endereços públicos.
- Os hosts têm controle completo sobre que aplicações são acessíveis por quem e através de quais DIFs.
- O provedor iria imediatamente mapeá-lo para um endereço privado ao provedor encapsulando o tráfego dos roteadores.
- A depender do ponto de vista de cada um, os NATs seriam um caso degenerado e ocorrer em cada fronteira de sub-rede ou não existir de modo algum.

# Modelando a Internet Pública

76

- Como deve ser feita a troca entre provedores?
- Os pacotes terão que ser roteados até a camada mais alta para se mover entre provedores?
- Um espaço de endereçamento de troca numa camada mais baixa assinada apenas por provedores proveriam um espaço de endereços dependente topologicamente para os provedores.
- Duas questões práticas:
  - É provável que o espaço de endereços seja descrita como uma topologia geográfica.
  - Nem a camada pública nem as camadas de troca devem ser camadas distintas.

# Modelando a Internet Pública

77

- Não é preciso haver uma transição, apenas adoção!
- A Internet pública oferece o equivalente a um POINS (*Plain Old InterNet Service*)