

Arquitecturas de Redes
Modelos Arquitectónicos

FEUP/DEEC
Redes de Computadores
MIEIC – 2009/10
José Ruela

Arquitecturas de redes

- » Uma arquitectura de rede é um modelo abstracto que permite descrever a organização e o comportamento de uma rede e dos sistemas que a constituem
 - Um modelo arquitectónico baseia-se num conjunto de princípios gerais e define regras de comportamento
 - O carácter abstracto permite descrever de forma clara e concisa conceitos e relações essenciais entre os componentes de uma rede
- » O modelo deve ter um carácter essencialmente funcional e permitir
 - Identificar as funções necessárias à comunicação
 - Organizar as funções em componentes (decompor / agrupar funções de acordo com diferenças / semelhanças ou por se basearem em mecanismos comuns)
 - Relacionar (estruturar) os componentes funcionais
 - Definir regras de comportamento e relações entre os sistemas e os seus componentes para efeitos de comunicação e cooperação
- » A partir dum modelo geral é possível especificar e desenvolver soluções particulares e concretas baseadas no modelo

Necessidade e objectivos

- » As funções a realizar numa rede têm um grau de complexidade elevado devido a vários factores
 - Grande diversidade de funções a realizar
 - » As funções são de natureza e complexidade muito diferentes (do nível físico ao nível de aplicação) e podem ser realizadas de formas muito diversas, dependendo dos sistemas, das tecnologias e dos serviços disponíveis em cada momento
 - Grande diversidade de aplicações a suportar, com características (tipo e volume de informação, padrões de tráfego) e requisitos (e.g., desempenho) muito diferentes
 - » Para garantir flexibilidade e adaptabilidade a um ambiente em permanente evolução, uma rede de uso genérico não pode (ou não deve) ser projectada e otimizada tendo em conta serviços ou aplicações particulares
 - Evolução tecnológica
 - » Novas soluções tecnológicas devem poder ser exploradas para evitar obsolescência, melhorar o desempenho e / ou reduzir custos e devem poder ser incorporadas sem necessidade de introduzir alterações radicais (e com custos elevados) nos sistemas
 - Ambiente de comunicação
 - » Caracterizado por sistemas heterogéneos e dispersos, que geram tráfego assíncrono (*bursty*), e que são ligados por sistemas de transmissão não totalmente fiáveis

Arquitecturas em camadas

- » Uma arquitectura de rede não deve ser baseada num modelo monolítico, por várias razões
 - Dificuldade de concepção e de desenvolvimento
 - Dificuldade de manutenção e de alteração (e.g, para acompanhar a evolução tecnológica ou satisfazer novos requisitos)
 - Inflexibilidade (dificuldade de aplicar a casos diferentes ou adaptar a novas situações)
- » A solução consiste em decompor o problema global e complexo num conjunto de problemas mais simples e tratáveis (modularidade), permitindo assim uma abordagem sistemática, com elevado grau de flexibilidade e adaptabilidade
- » Os modelos arquitectónicos que têm sido adoptados em redes baseiam-se na organização das funções em módulos e na sua estruturação hierárquica, de que resultam Arquitecturas em Camadas (*Layered Architectures*)

Arquitecturas em camadas – princípios

Arquitecturas em Camadas baseiam-se em três princípios

- » Independência entre camadas – uma camada encapsula as funções que realiza, não sendo visível do exterior da camada a forma como essas funções são realizadas (mas apenas o serviço que oferece)
- » Camadas adjacentes comunicam através duma interface – a camada inferior oferece um serviço à camada superior através da interface
- » Valorização dos serviços – o serviço oferecido por uma camada (à camada superior) acrescenta valor ao serviço por ela recebido (da camada inferior)

Arquitecturas em camadas – vantagens

- » Redução da complexidade de concepção, desenvolvimento e manutenção
- » Possibilidade de desenvolvimentos independentes das várias camadas, o que pressupõe a definição das interfaces entre camadas (e os serviços associados)
- » Flexibilidade de implementação, visto ser possível escolher as tecnologias e os algoritmos de controlo mais adequados a cada função ou grupo de funções
- » Possibilidade de introduzir alterações numa camada (e.g., para explorar novas tecnologias entretanto disponíveis ou algoritmos de controlo mais eficientes)
- » Possibilidade de suportar diferentes aplicações com base num número reduzido de interfaces (serviços) comuns
- » Concepção e análise de sistemas complexos com diferentes graus de abstracção
- » Adopção de *standards*, o que permite a produção em massa (com a consequente redução de custos) e o suporte de produtos por diferentes fabricantes (o que aumenta a diversidade de escolha e a flexibilidade das soluções)

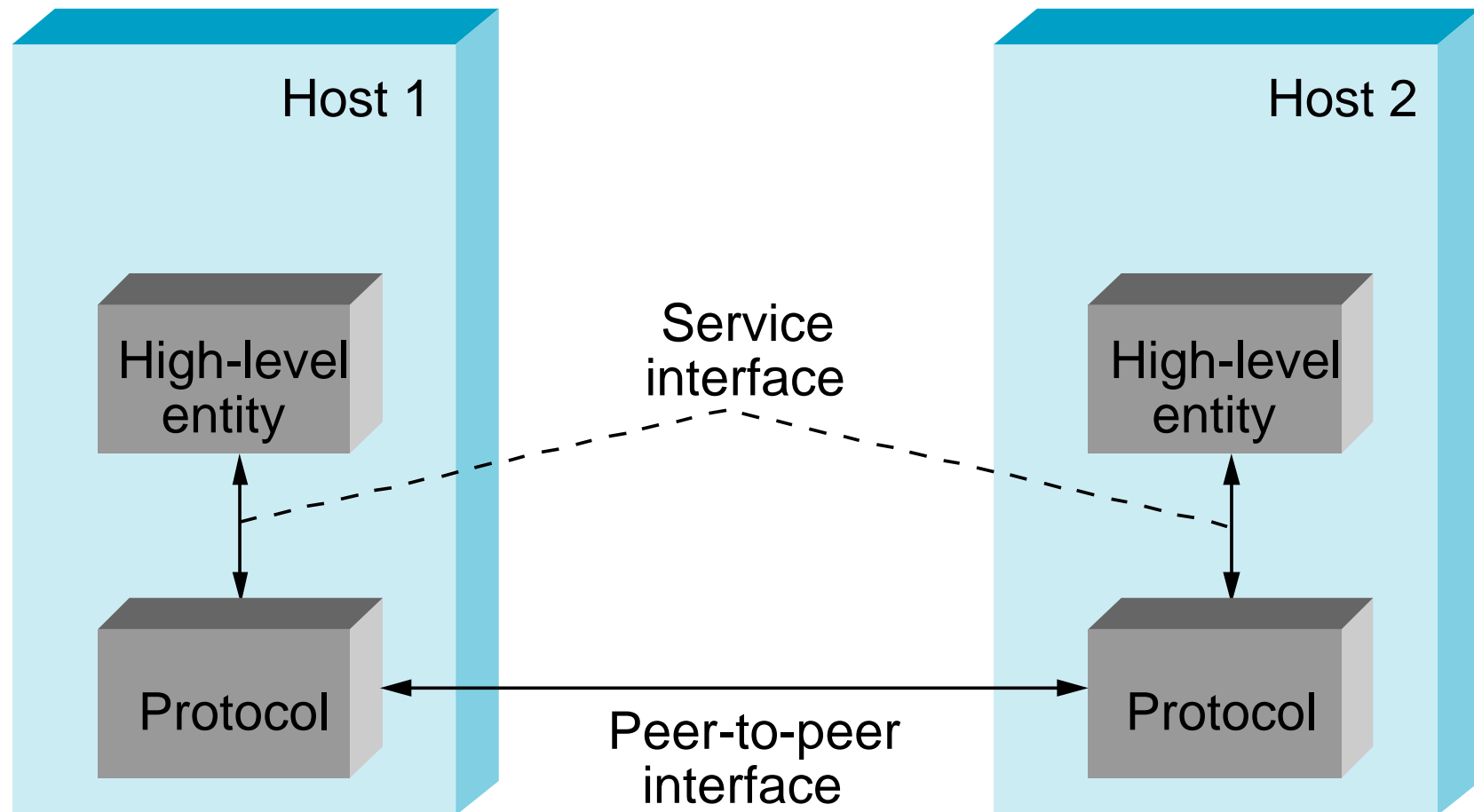
Regras de comunicação – protocolos

- » Numa arquitectura em camadas os sistemas que constituem a rede estão funcionalmente organizados e estruturados em camadas – uma camada atravessa transversalmente todos os sistemas
- » Uma camada é constituída por entidades (processos, recursos) responsáveis pela realização das funções específicas dessa camada
- » Entidades de uma mesma camada (*peer entities*) residentes em sistemas diferentes cooperam para construir o serviço oferecido pela camada – o que requer a troca de mensagens de controlo e de sincronização específicas da camada, para além de mensagens que contêm “unidades de dados” geradas em camadas superiores
- » Esta comunicação pressupõe regras, isto é, um protocolo
- » Numa arquitectura em camadas, os protocolos estão igualmente estruturados em camadas – a comunicação entre dois sistemas pode então ser decomposta e descrita com base na comunicação que ocorre em cada camada

Protocolo, interface e serviço – conceitos

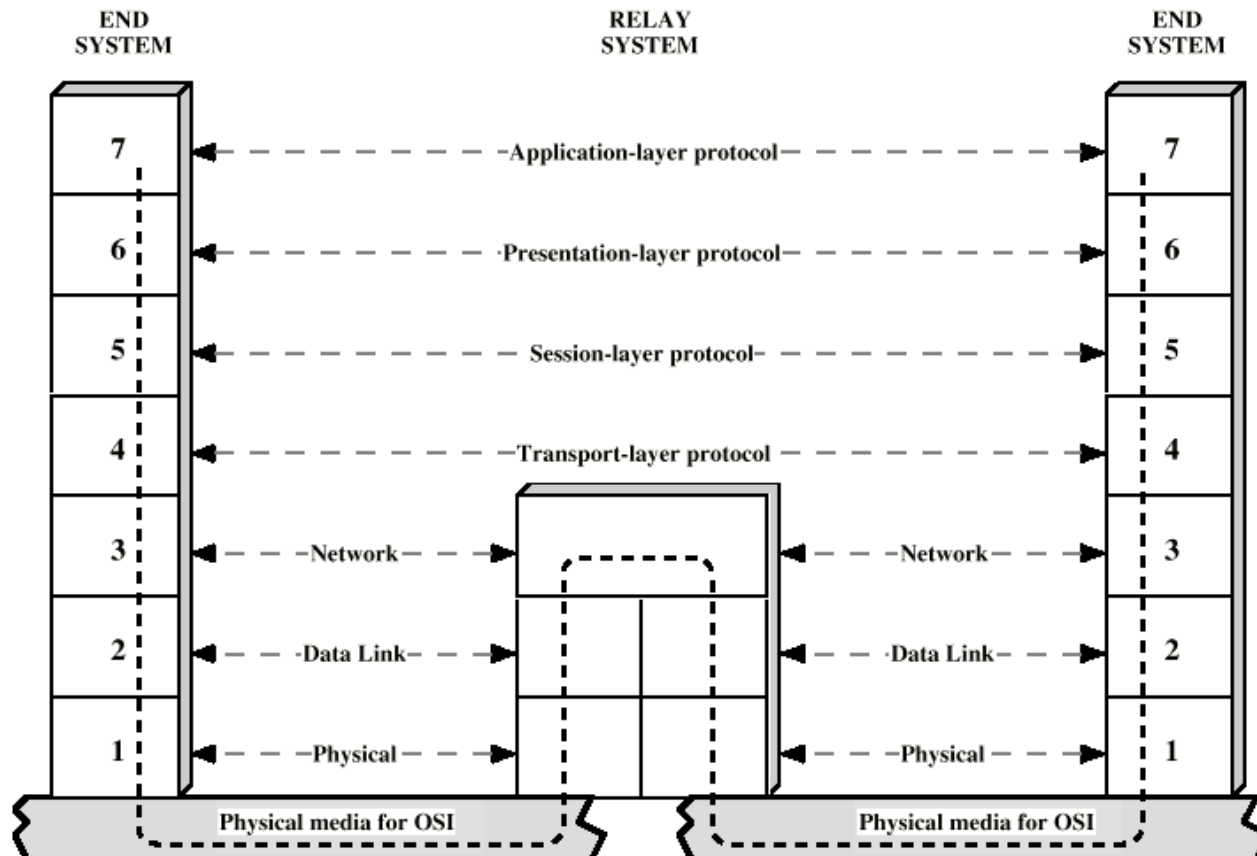
- » Um protocolo define um conjunto de regras de comunicação entre entidades homólogas (*peer entities*) que residem em sistemas diferentes – um protocolo define uma interface (*peer interface*) entre estas entidades
 - Com excepção da camada protocolar mais baixa, esta comunicação (horizontal) é lógica (ou virtual), pois as entidades de uma camada comunicam usando o serviço da camada inferior (e este princípio é aplicado recursivamente)
- » Elementos de um protocolo
 - Um protocolo inclui elementos de natureza sintática, semântica e temporal
 - Um protocolo deve definir a sintaxe (formatos) e a semântica (significado) das mensagens trocadas entre as entidades protocolares, fornecer mecanismos de sincronização (que permitam garantir um determinado comportamento temporal) e especificar as acções (procedimentos) a executar aquando da ocorrência de acontecimentos (e.g., recepção de uma mensagem, expiração de um temporizador, etc.), tendo em atenção o estado do sistema (um protocolo pode ser descrito por uma máquina de estados)
- » Um serviço é disponibilizado através de uma interface (*service interface*) e requer a interacção entre entidades residentes em camadas adjacentes no mesmo sistema
 - Esta comunicação (vertical) corresponde ao fluxo real da informação no sistema
- » Uma arquitectura fica caracterizada pelo tipo de estruturação e pela definição das funções, dos protocolos e dos serviços de cada camada

Protocolo, interface e serviço – relações

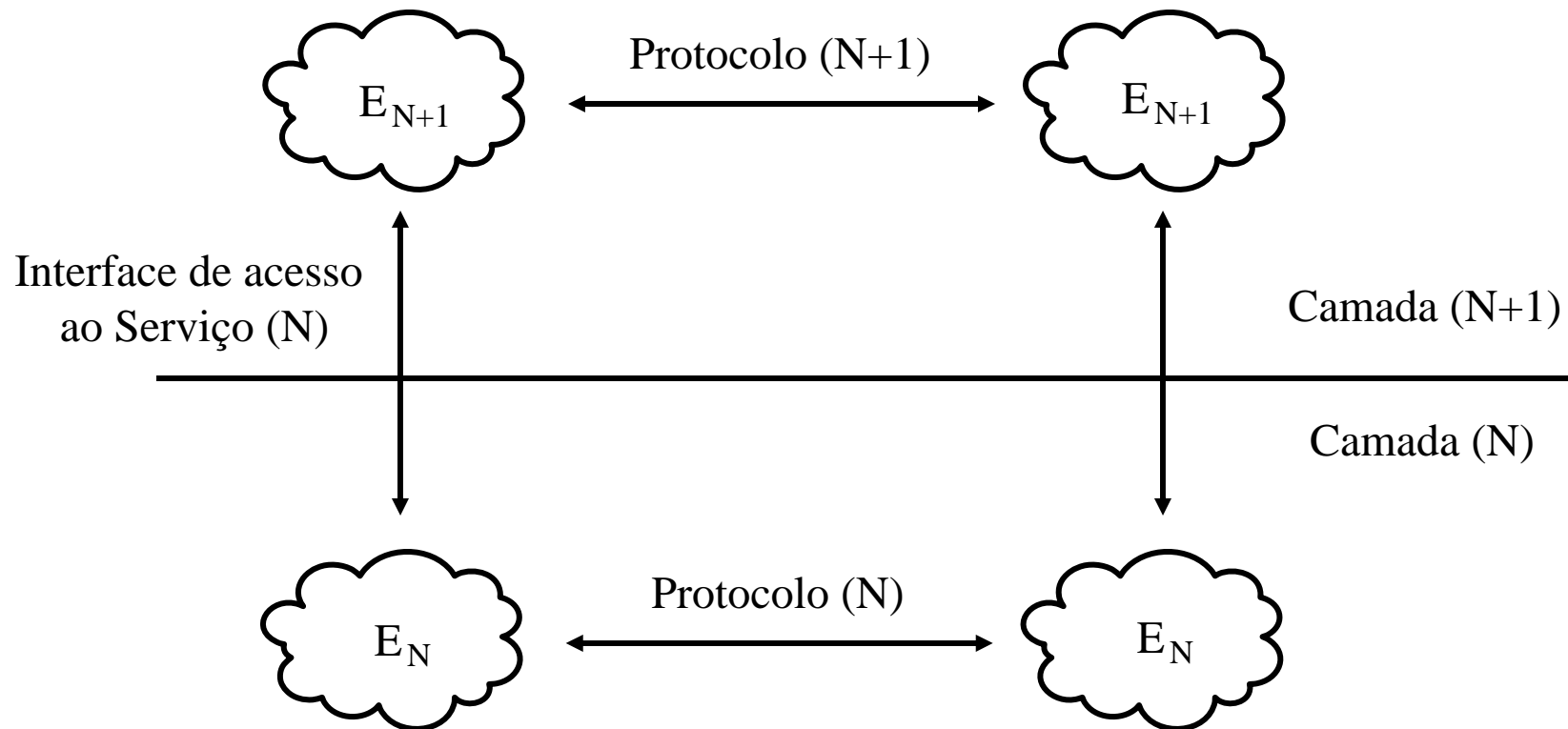


Fluxo de dados e comunicação protocolar

Tomando como referência um modelo em camadas (OSI), a figura ilustra o fluxo real dos dados na comunicação entre dois sistemas (através de um sistema intermédio) e a comunicação lógica entre entidades das várias camadas

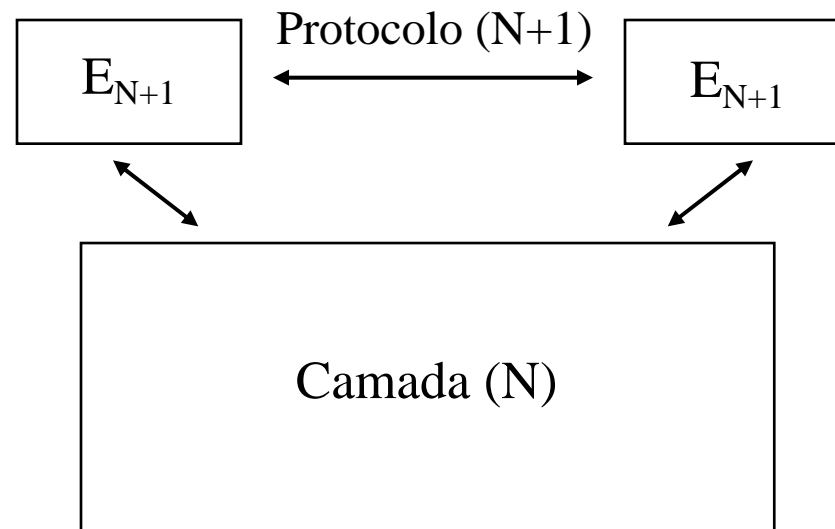


Modelo de comunicação

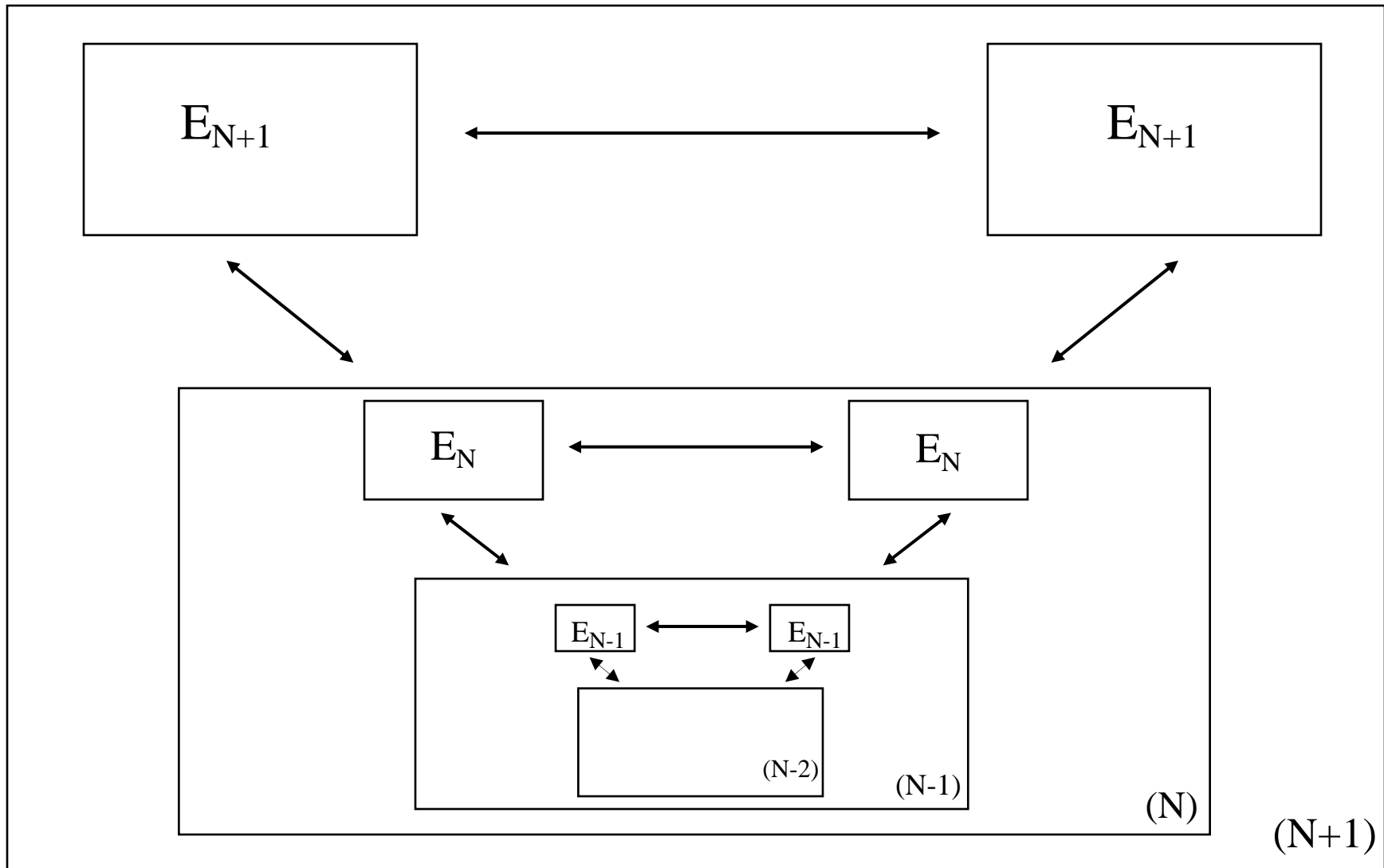


Serviço

- » Entidades (N+1) comunicam por meio dum protocolo (N+1) usando o serviço disponibilizado pela camada (N) através da interface entre as duas camadas
- » A forma como o serviço é realizado não é visível do exterior da camada (N)
- » Os serviços são usados recursivamente pelas várias camadas



Utilização recursiva de serviços



Modelo de referência – necessidade

- » Os fabricantes de computadores começaram por desenvolver arquitecturas próprias com o objectivo de permitir a ligação em rede dos seus sistemas
 - Embora baseadas em princípios e conceitos semelhantes caracterizavam-se por diferenças irreconciliáveis, no que se refere ao número de camadas, funções e protocolos de cada camada, tipo de controlo e serviços disponibilizados
- » Por outro lado, na década de 1970 começaram a implantar-se redes públicas de comunicação de dados, baseadas em diferentes tecnologias, protocolos de acesso e serviços (e.g, redes públicas X.25)
- » Esta situação tornava os utilizadores muito dependentes das soluções de um único fabricante e tornava difícil explorar os serviços entretanto oferecidos pelos operadores de redes (em alternativa ao aluguer de circuitos)
- » Alternativas a soluções específicas de cada fabricante (fechadas) exigiam
 - Recurso a redes públicas de dados, usando protocolos e interfaces (serviços) normalizados
 - Interligação de equipamentos de diferentes fabricantes usando protocolos universais
- » Surgiu assim naturalmente a necessidade de um modelo arquitectónico de referência – papel que veio a ser desempenhado pelo Modelo de Referência de Sistemas Abertos (Modelo OSI) desenvolvido pela ISO

Modelo de referência de Sistemas Abertos (OSI)

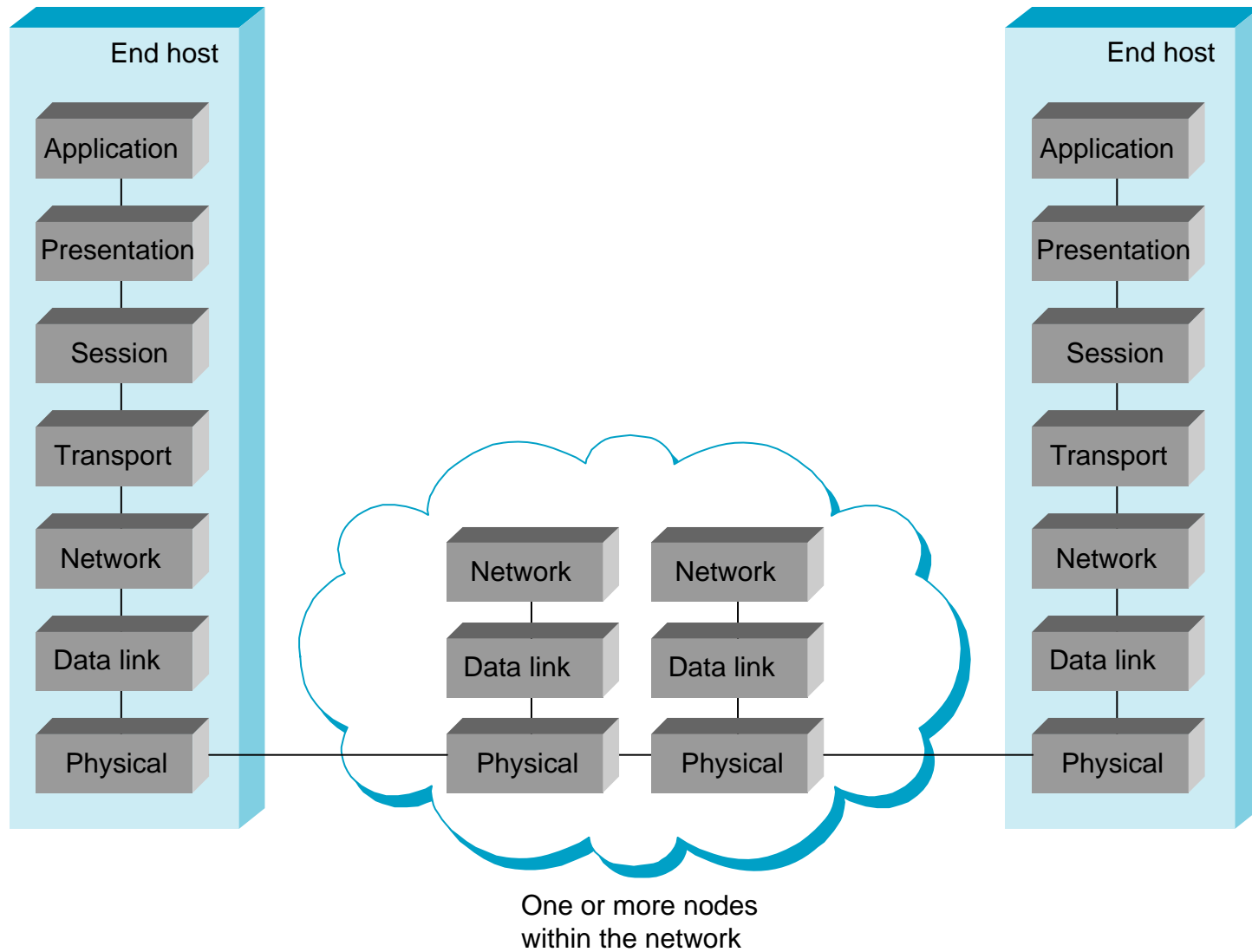
- » O Modelo de Referência de Sistemas Abertos (*Open Systems Interconnection Reference Model*) define regras gerais de interacção entre sistemas abertos, isto é, sistemas que obedecem a normas universais de comunicação (por oposição a sistemas fechados) e cujo comportamento externo está de acordo com o prescrito pelo modelo (princípio de visibilidade restrita)
- » O Modelo OSI cria as bases para a especificação e aprovação de *standards* por organizações de normalização reconhecidas internacionalmente – embora os *standards* não façam parte do modelo
- » O Modelo OSI define princípios, conceitos e relações entre componentes – é um modelo abstracto da descrição da comunicação entre sistemas (e não um modelo de implementação)
- » O Modelo OSI é geral e flexível – embora definido no contexto das redes de computadores que se desenvolveram durante a década de 1970, continua a ser usado como modelo de descrição de redes e serviços que se desenvolveram desde então

Modelo OSI – princípios e conceitos

- » O Modelo OSI propõe uma organização funcional em sete camadas, de acordo com os seguintes princípios
 - As funções são decompostas e organizadas em camadas
 - Cada camada realiza um conjunto de funções relacionadas, suportadas num protocolo
 - Cada camada fornece serviços à camada superior escondendo-lhe os detalhes de implementação
 - Cada camada usa serviços da camada inferior
 - Mudanças internas numa camada não implicam mudanças nas outras camadas

- » O Modelo OSI não se pode reduzir a esta visão simplificada de sete camadas protocolares – pois inclui um conjunto extremamente rico de conceitos e princípios, nomeadamente
 - Princípios de estruturação em camadas
 - Modelo e tipos de serviço
 - Descrição das funções a suportar pelos protocolos das diferentes camadas
 - Princípios de endereçamento

Camadas OSI



Camadas OSI (1-3)

- ◆ Física
 - » Características mecânicas, eléctricas e funcionais da interface física entre sistemas (conectores, níveis de sinal, códigos de transmissão, sincronização, etc.)
 - » Exemplos: RS-232, V.24, X.21

- ◆ Ligação de dados
 - » Estabelecimento, manutenção e terminação de uma ligação de dados
 - » Encapsulamento de dados em tramas para transmissão (*framing*)
 - » Controlo de fluxo e controlo de erros (no caso de ligação fiável)
 - » Exemplos: HDLC, LAPB (X.25), LAPD (Canal D / RDIS), LAPF (*Frame Relay*), PPP (IP), LLC (LANs)

- ◆ Rede
 - » Transferência de informação (multiplexagem e comutação) entre nós da rede
 - » Encaminhamento de pacotes através da rede
 - » Serviço independente da tecnologia e dos serviços nativos de subredes físicas
 - » Exemplos: X.25, IP (*internetworking*)

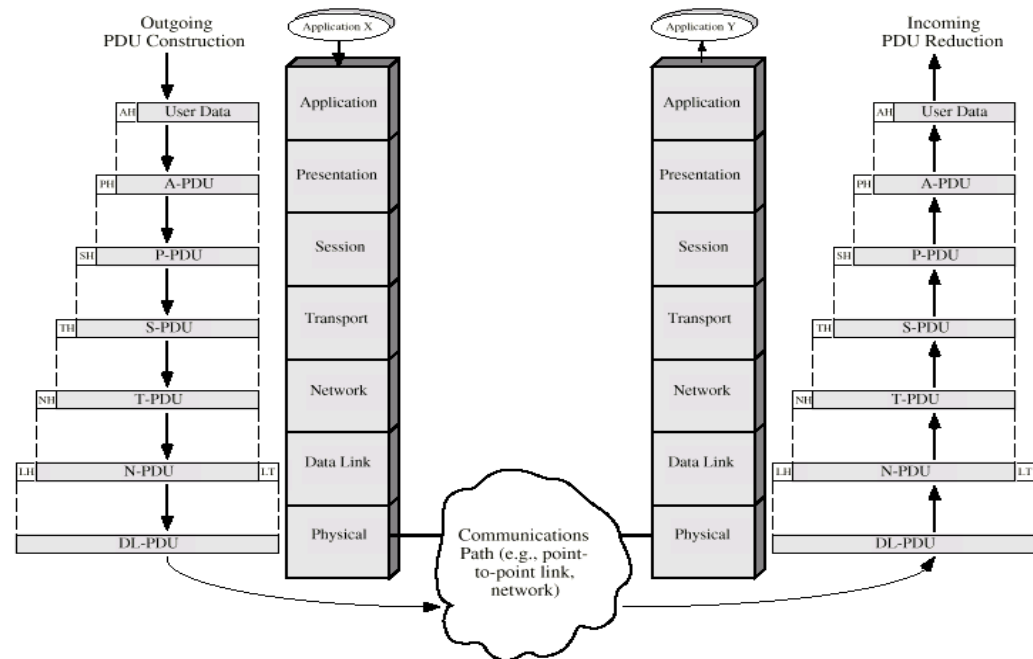
Camadas OSI (4-7)

- ◆ Transporte
 - » Transferência de informação extremo a extremo entre equipamentos terminais
 - » Serviço independente do serviço de Rede (ou dos serviços nativos de subredes)
 - » Adaptação ao serviço de Rede (fragmentação, multiplexagem de fluxos de dados)
 - » Quando necessário, controlo de erros (serviço fiável) e controlo de fluxo
 - » Exemplos de protocolos de Transporte: TCP (fiável), UDP (não fiável)
- ◆ Sessão
 - » Controlo do diálogo entre processos e mecanismos de sincronização
- ◆ Apresentação
 - » Representação de informação (formatos, códigos) independente do conteúdo
 - » Resolução de diferenças sintácticas e negociação da sintaxe de transferência
- ◆ Aplicação
 - » Criação do ambiente para comunicação entre aplicações (aspectos semânticos)
 - » Aplicações genéricas (transferência de ficheiros, correio electrónico, etc.)
 - » Funções de gestão

Comunicação em ambiente OSI

A comunicação entre uma Aplicação X e uma Aplicação Y residentes em sistemas diferentes pode ser descrita pela seguinte sequência

- » Para comunicar com a Aplicação Y, a Aplicação X usa os serviços da camada 7
- » As entidades da camada 7 no sistema onde reside X comunicam com as entidades da camada 7 no sistema onde reside Y usando um protocolo da camada 7
- » O protocolo da camada 7 usa os serviços da camada 6 ...
- » ... e assim sucessivamente



Modelo de serviço

- » Um serviço é definido de forma abstracta como um conjunto de capacidades disponibilizadas por uma camada (fornecedora do serviço) à camada adjacente superiora (utilizadora do serviço)
 - A descrição do serviço inclui apenas os aspectos semânticos do serviço e não a forma como é realizado
- » Um serviço é descrito por um conjunto de atributos e a sua descrição inclui
 - A interacção através da interface
 - Os dados associados à interacção
 - A relação entre eventuais interacções nos vários sistemas envolvidos no serviço
- » A interacção entre utilizadores e fornecedores de um serviço é descrita por meio de primitivas de serviço (operações elementares e indivisíveis) que
 - Indicam uma acção (realizada ou a realizar) ou o seu resultado
 - Fornecem parâmetros (endereços, Qualidade de Serviço, controlo de fluxo, negociação de facilidades, etc.)

Primitivas de serviço

Request (Pedido)

- » Invocada pelo utilizador do serviço
- » Invoca um serviço (acção, procedimento) especificado por meio de parâmetros

Indication (Indicação)

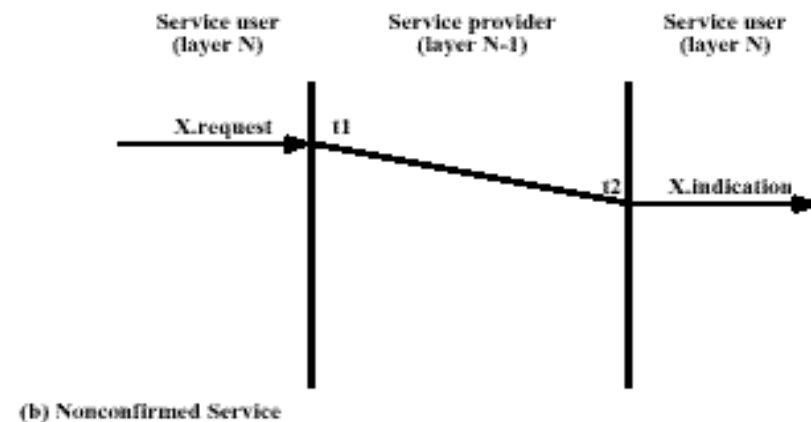
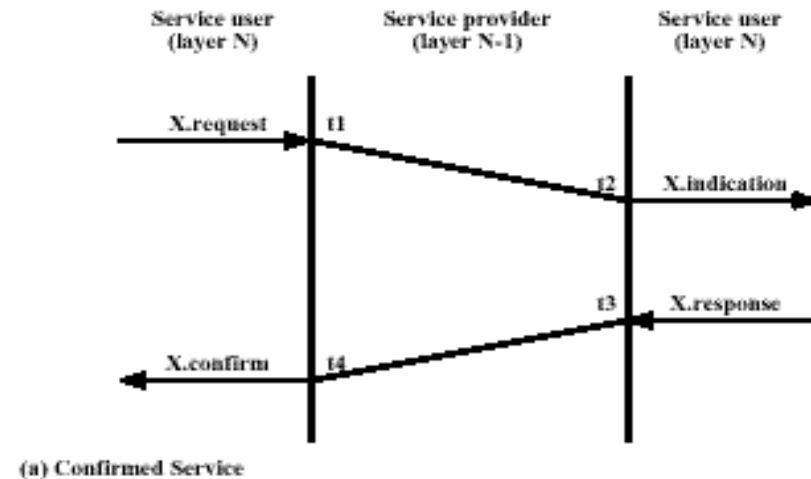
- » Invocada pelo fornecedor do serviço
- » Indica que um serviço foi invocado pelo utilizador remoto (*peer*) ou notifica o utilizador de um acontecimento ou de uma acção iniciada pelo fornecedor do serviço

Response (Resposta)

- » Invocada pelo utilizador do serviço
- » Resposta a uma Primitiva *Indication*

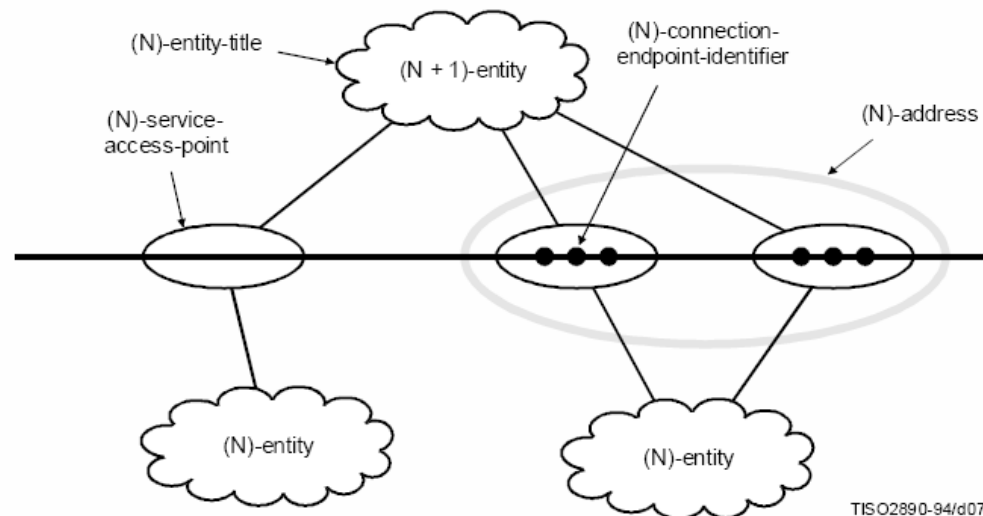
Confirmation (Confirmação)

- » Invocada pelo fornecedor do serviço
- » Indica que foi accionado ou se completou um serviço invocado pelo utilizador (*Request*)



Pontos de acesso ao serviço (SAPs)

- » Os serviços da camada N são oferecidos a Entidades (N+1) em Pontos de Acesso ao Serviço – (N)-SAPs (*Service Access Points*)
- » Um (N)-SAP constitui a interface lógica entre Entidades (N) e (N+1)
 - Um (N)-SAP é servido por uma e uma só Entidade (N) e é usado por uma e uma só Entidade (N+1)
 - Uma Entidade (N) pode servir vários (N)-SAPs e uma Entidade (N+1) pode usar vários (N)-SAPs

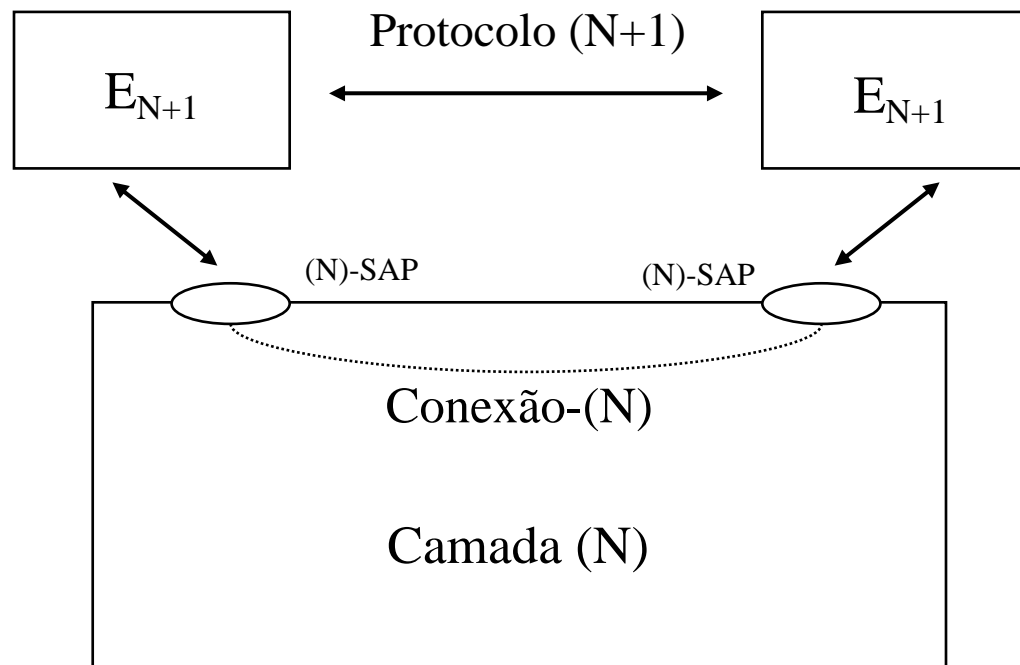


- » Um (N)-SAP é identificado por um endereço-(N) – (N)-*address* – que o identifica univocamente na interface entre as camadas (N) e (N+1)

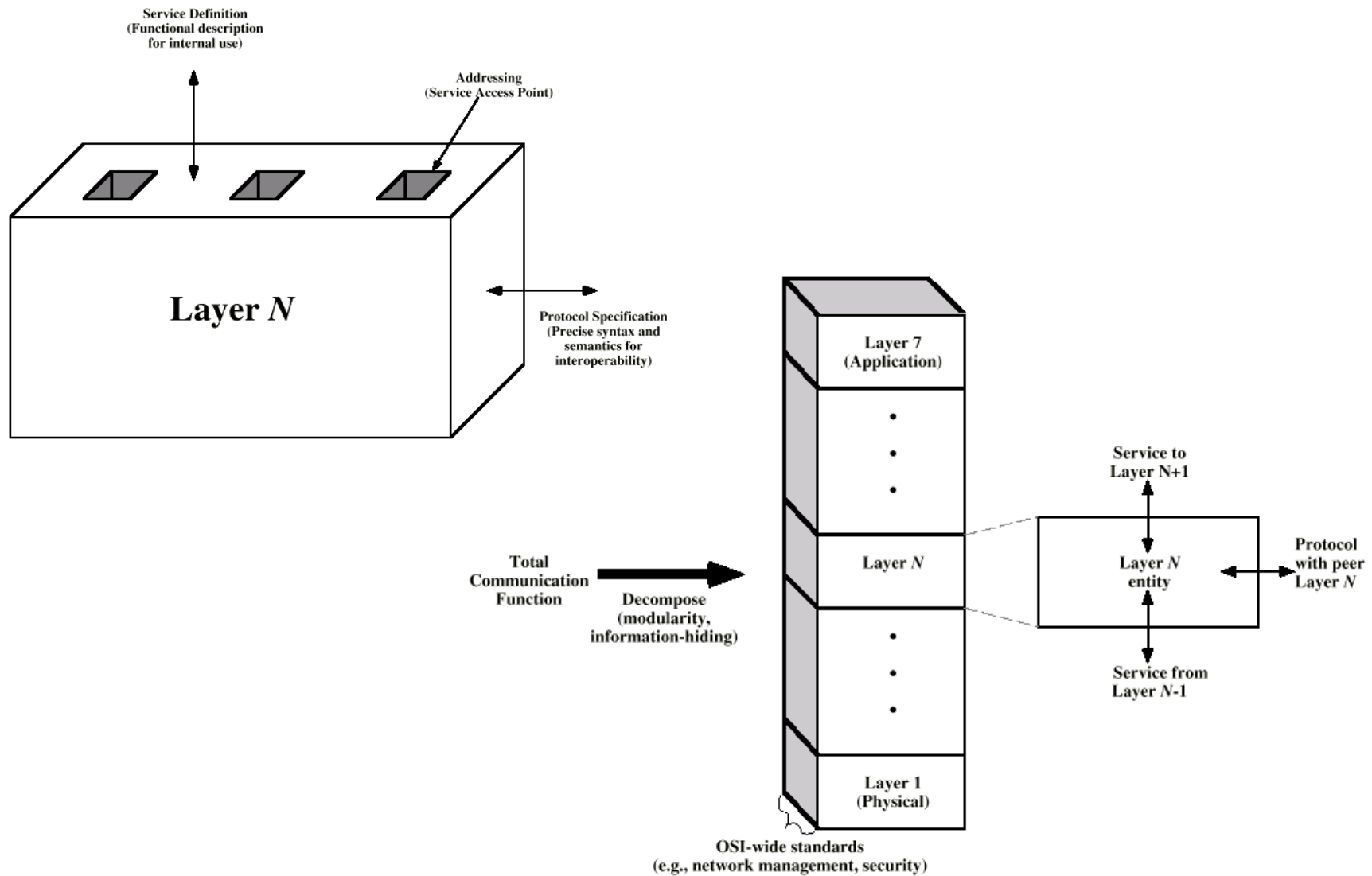
Tipos de serviço

- » O modelo OSI define dois tipos de serviço
 - Serviços orientados à conexão (CO – *Connection Oriented*)
 - Serviços sem conexão (CL – *Connectionless*)
- » Uma conexão-(N) – (N)-*connection* – é uma associação estabelecida pela camada (N) para a transferência de dados entre duas ou mais Entidades (N+1)
 - Uma conexão pode ser descrita como uma associação lógica entre (N)-SAPs
- » Um conexão-(N) é estabelecida, mantida e terminada por meio de um protocolo da camada (N)
 - A conexão tem um identificador único atribuído, que tem de estar presente nas mensagens trocadas pelas entidades protocolares da camada (e.g., VCI)
 - Uma conexão é terminada localmente num SAP – essa terminação designa-se por *Connection End Point* (CEP); várias conexões podem terminar no mesmo SAP
 - Uma conexão é univocamente identificada na interface entre camadas por um par de identificadores (SAPI, CEPI)

SAPs e conexões



Modelo OSI – protocolos e serviços



Funções protocolares

- » As funções a realizar pelos protocolos são naturalmente diferentes de camada para camada, podendo no entanto haver funções idênticas realizadas em mais do que uma camada, embora em contextos e com objectivos diferentes
- » Funções típicas
 - Encapsulamento de dados
 - Segmentação e reassemblagem de dados
 - Controlo de ligações (conexões)
 - Entrega ordenada de dados
 - Controlo de erros
 - Controlo de fluxo
 - Controlo de congestionamento
 - Endereçamento
 - Multiplexagem

Unidades de dados

- » As unidades de dados transferidas através da interface entre as camadas (N+1) e (N) designam-se Unidades de Dados de Serviço-(N) e estão relacionadas com as necessidades dos utilizadores do serviço

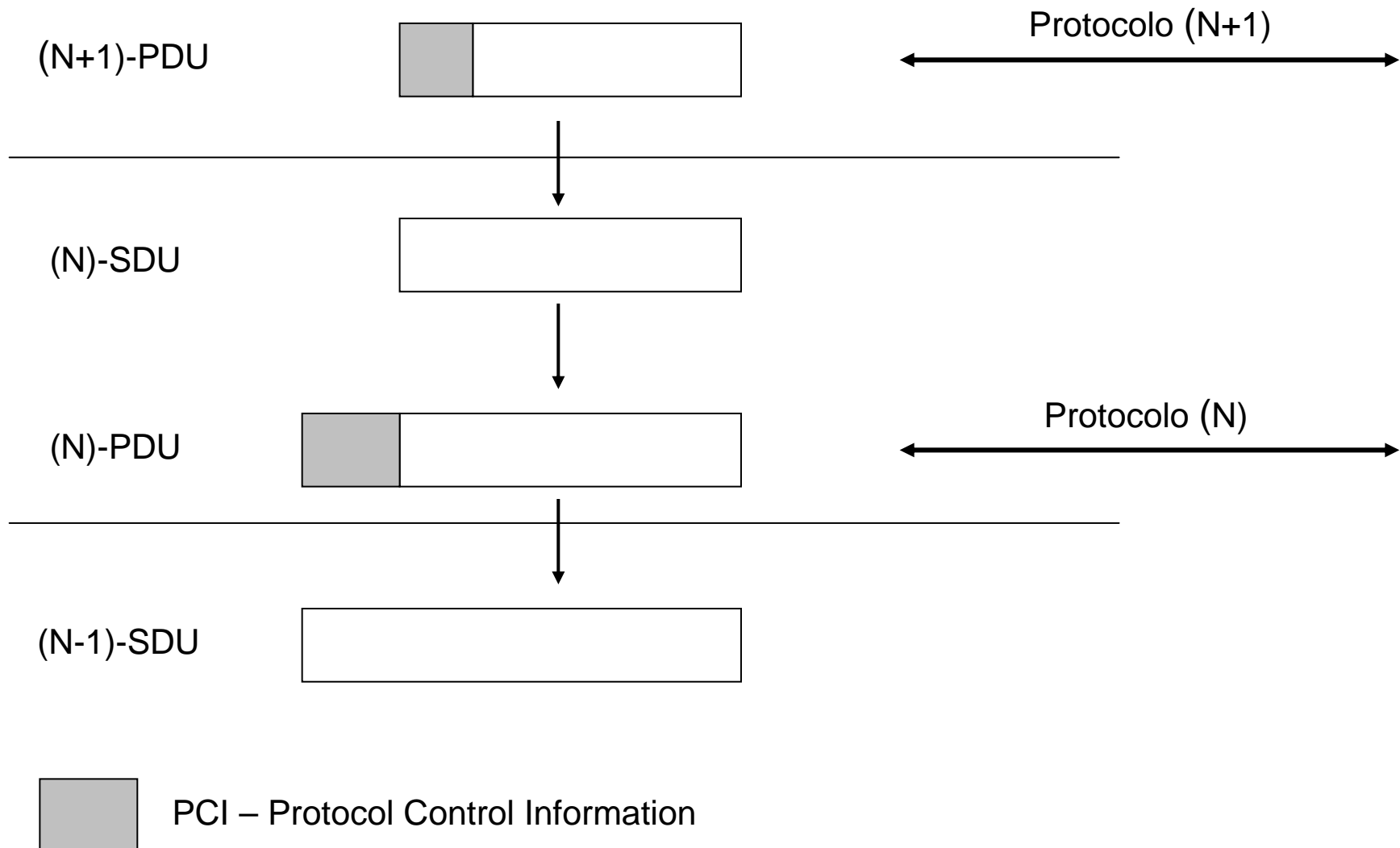
(N)-SDU – *Service Data Unit*

- » As unidades de dados trocadas entre entidades protocolares na camada (N) designam-se Unidades Protocolares de Dados-(N) e estão relacionadas com a operação do protocolo

(N)-PDU – *Protocol Data Unit*

- » No caso mais simples a um (N)-SDU corresponde um (N)-PDU – o protocolo da camada (N) forma um (N)-PDU encapsulando o (N)-SDU com informação adicional, que pode incluir
 - Informação de controlo do protocolo (PCI – *Protocol Control Information*)
 - Endereços (ou outros identificadores)
 - Código para detecção de erros

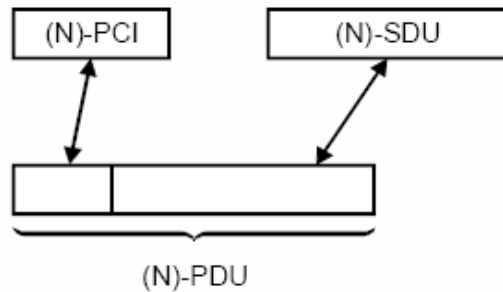
*PDU*s e *SDU*s – encapsulamento básico



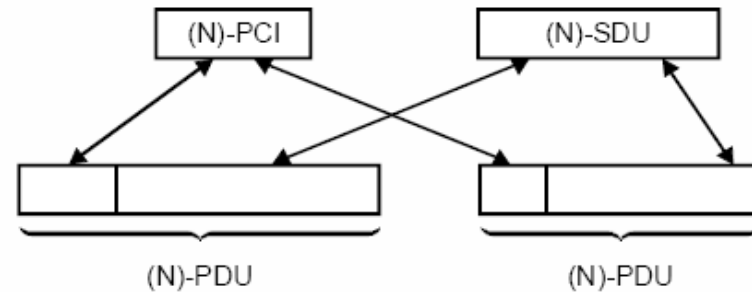
Relações possíveis entre PDUs e SDUs

- » No caso básico exemplificado, um (N)-SDU é encapsulado com (N)-PCI, formando um único (N)-PDU
- » Um (N)-SDU pode ser segmentado e encapsulado em vários (N)-PDUs
 - É necessário providenciar informação no (N)-PCI de cada (N)-PDU de forma a permitir a reconstituição no destino do (N)-SDU original
 - Estas operações designam-se *Segmentation* e *Reassembly*
- » Vários (N)-SDUs podem ser agrupados e transportados num único (N)-PDU
 - É necessário providenciar informação no (N)-PCI do (N)-PDU de forma a permitir a extracção no destino dos (N)-SDU originais
 - Estas operações designam-se *Blocking* e *Deblocking*
- » Em ambos os casos, estas operações têm lugar numa única camada protocolar, ao contrário do que ocorre num terceiro caso em que vários (N)-PDUs podem ser concatenados para formar um (N-1)-SDU
 - Estas operações designam-se *Concatenation* e *Separation*

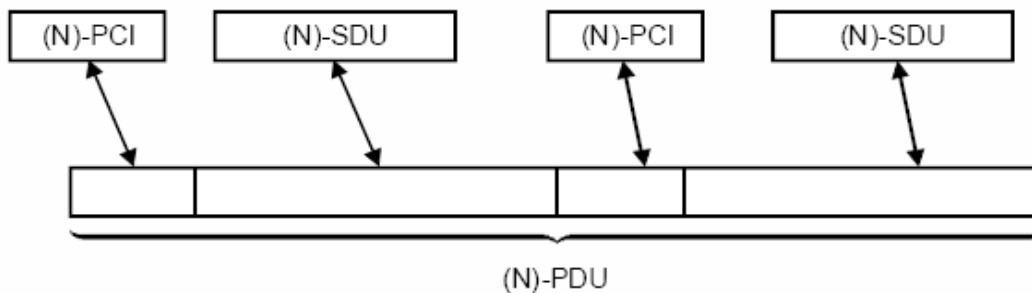
Relações entre PDUs e SDUs – exemplos



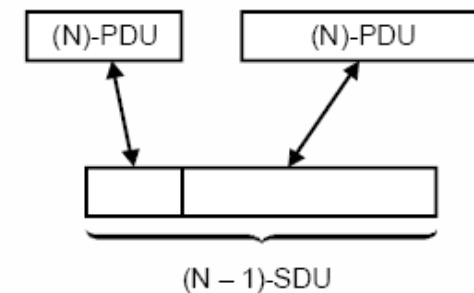
a) Neither segmenting nor blocking



b) Segmenting/Reassembling



c) Blocking/Deblocking



d) Concatenation/Separation

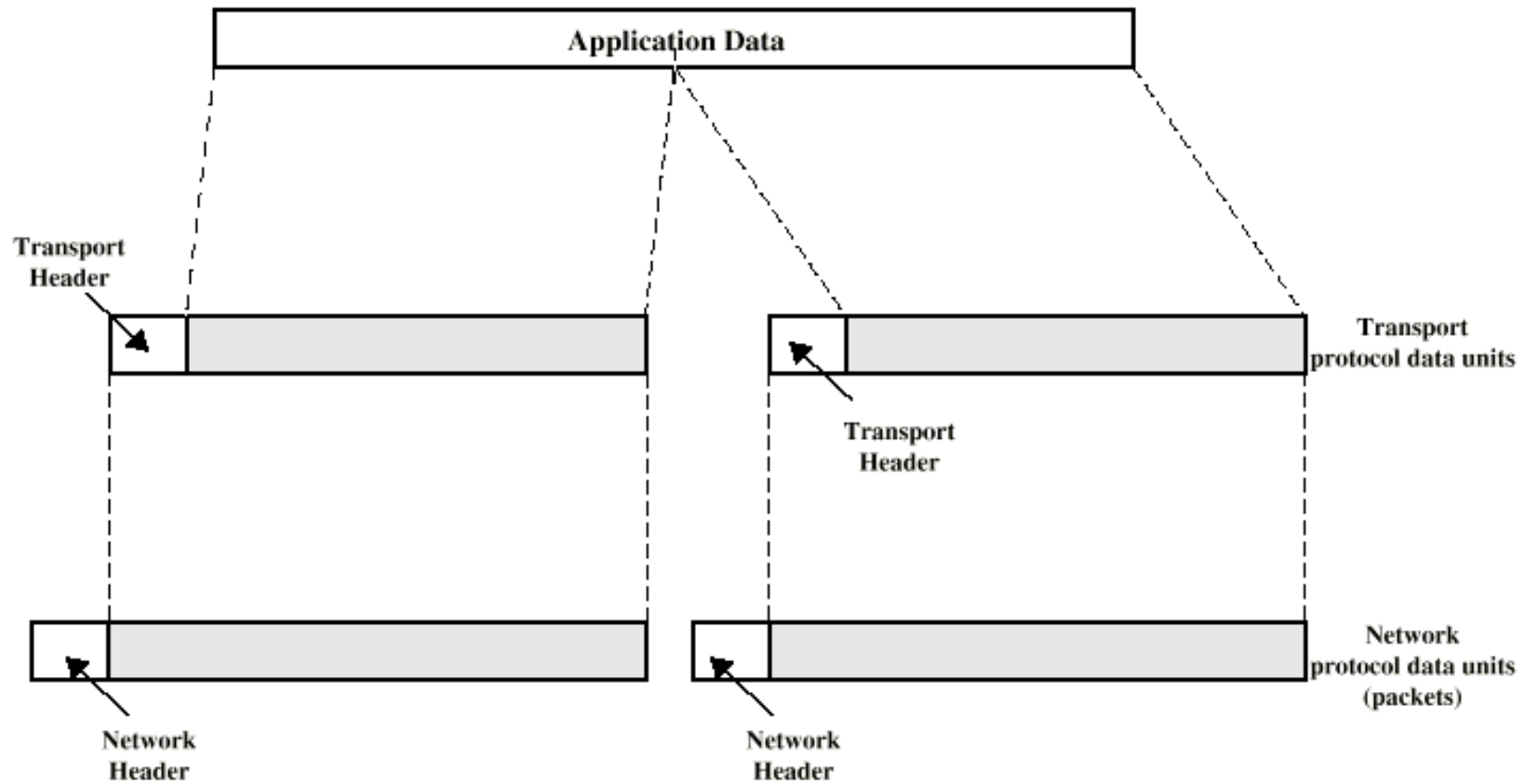
TISO2910-94/d09

SDU Service-data-unit
 PCI Protocol-control-information
 PDU Protocol-data-unit

Segmentação e reassemblagem

- » Uma camada protocolar pode ter necessidade de fragmentar (segmentar) as unidades de dados (SDUs) recebidas da camada superior, transportando-as, após encapsulamento, em vários PDUs
- » Para ser possível reconstituir no destino as unidades de dados iniciais (SDUs) é necessário que a informação de controlo (PCI) acrescentada pelo protocolo permita relacionar os segmentos (por exemplo, por meio de números de sequência e indicação do último segmento)
- » Razões para segmentar
 - Controlo de erros mais eficiente
 - Acessos mais equitativos (*fairness*) à rede por parte de diferentes utilizadores ou fluxos
 - Atrasos menores na rede
 - *Buffers* mais pequenos nos nós da rede
- » Desvantagens
 - *Overheads* adicionais (maior número de PDUs e mais informação de controlo por PDU)
 - Mais interrupções nos processadores (tipicamente uma por segmento)
 - Tempos de processamento superiores (funções adicionais a realizar)

Segmentação e reassemblagem – exemplo

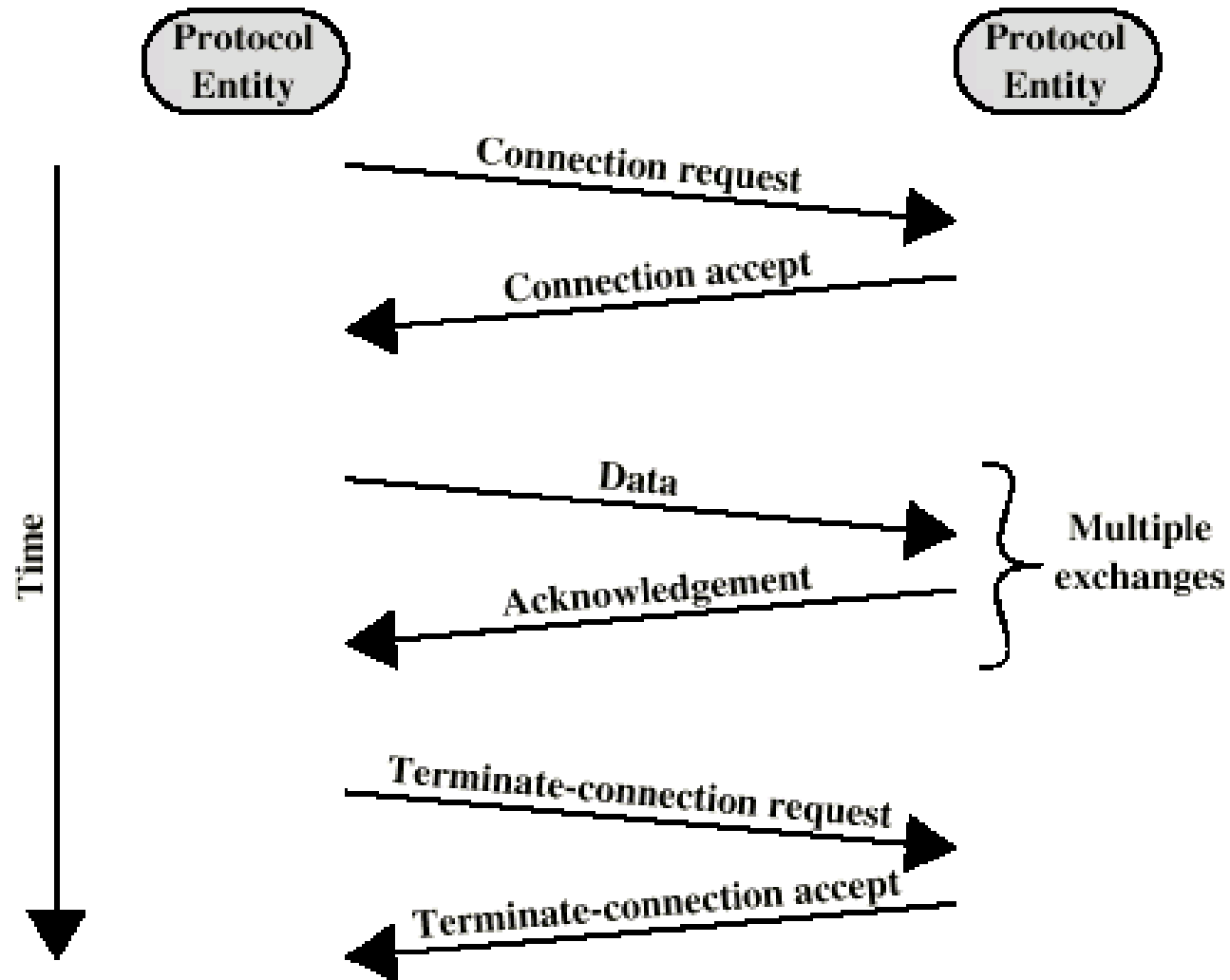


Modos de operação dos protocolos

A comunicação entre entidades protocolares na mesma camada pode ser realizada de dois modos

- » Protocolo não orientado à conexão (*connectionless*) – as unidades de dados (PDUs) são transportadas de forma independente, sem necessidade de estabelecimento prévio de qualquer associação lógica (conexão) entre as entidades protocolares
- » Protocolo orientado à conexão (*connection oriented*) – a transferência de unidades de dados (PDUs) só é possível após o estabelecimento de uma conexão entre as entidades protocolares
 - Uma conexão-(N) é estabelecida pelo protocolo da camada (N), usando PDUs de controlo (*Connection Request*), após invocação de uma Primitiva de Serviço do tipo (N)-*Connect Request* por uma entidade da camada (N+1)
 - Fases de uma conexão: estabelecimento, transferência de dados, terminação

Fases de uma conexão



Ordenação de PDUs, controlo de erros e de fluxo

» Ordenação de PDUs

- Protocolos orientados à conexão garantem que os PDUs chegam ordenados ao destino
- Se os PDUs seguirem trajectos diferentes na rede podem chegar ao destino desordenados, podendo ser reordenados, se necessário
- PDUs são numerados sequencialmente para se poder garantir a sua (re)ordenação

» Controlo de erros

- Protecção contra perda ou corrupção de PDUs
- Implica detecção de erros e retransmissão de PDUs não entregues ou não aceites pelo receptor
- Pode ser necessário em várias camadas protocolares (nó a nó ou extremo a extremo)

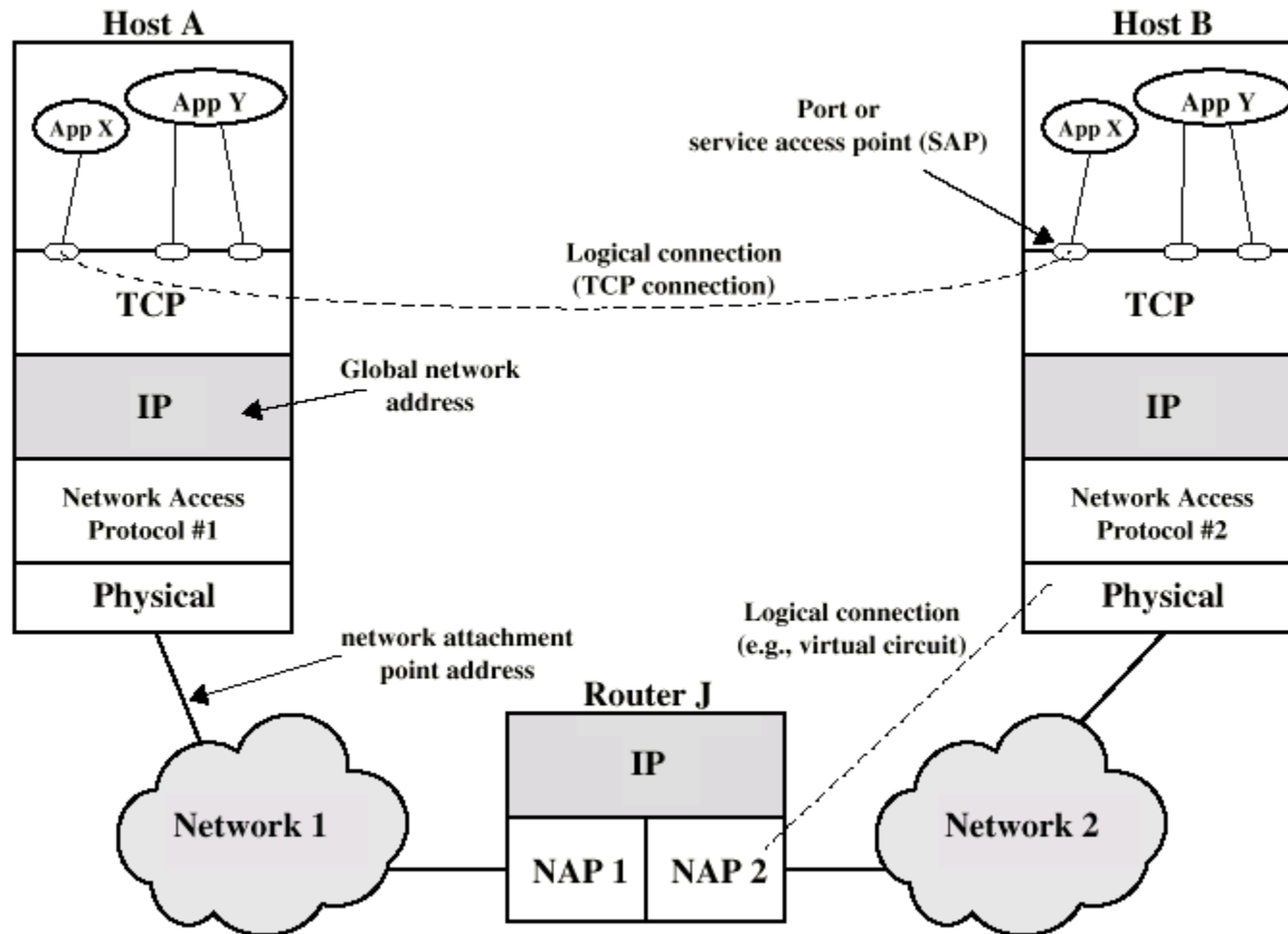
» Controlo de fluxo

- Objectivo: limitar (controlar) o débito do emissor
- Pode ser realizado pelo receptor (e.g., *window control*) ou pelo emissor (e.g., *rate control*)
- Pode ser necessário em várias camadas protocolares (nó a nó ou extremo a extremo)

Endereçamento

- » Numa rede é necessário identificar não só os sistemas que a constituem (*hosts, routers, etc.*) mas igualmente entidades protocolares, aplicações, etc., o que requer diferentes tipos e níveis de identificação ou endereçamento
 - Endereços de sistemas
 - » Normalmente trata-se de endereços lógicos, definidos na camada de Rede
 - » Exemplos: endereços IP, endereços NSAP (*Network Service Access Point*)
 - Endereços de interfaces a subredes (SNPA – *Subnetwork Point of Attachment*)
 - » Endereços físicos que identificam pontos de acesso a uma subrede (interface física)
 - » Exemplos: endereços MAC (LANs), endereços X.25
 - Identificadores de processos / aplicações
 - » Identificadores internos, normalmente concatenados com um endereço do sistema
 - » Exemplos: porta TCP, TSAP (*Transport Service Access Point*)
 - Identificadores de conexão
 - » Em protocolos orientados à conexão, evitam a necessidade de usar endereços nos PDUs
 - » Exemplos: identificadores de ligação de dados ou de circuito virtual
- » Modos de endereçamento
 - » *Unicast, multicast, broadcast*

Exemplos de endereços



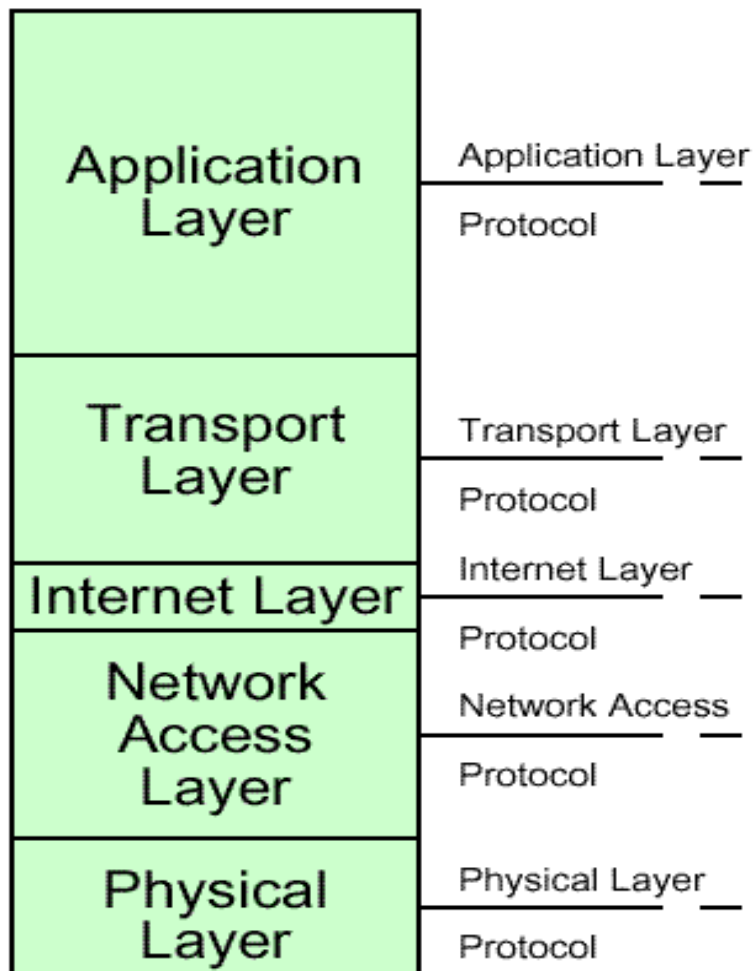
Multiplexagem

- » Um protocolo orientado à conexão pode suportar múltiplas conexões simultâneas
- » Um serviço de uma camada (CO ou CL) suporta-se num serviço da camada adjacente inferior (CO ou CL), sendo possíveis as quatro combinações
 - CO / CO – exemplo: Circuito Virtual X.25 sobre Ligação de Dados LAPB
 - CO / CL – exemplo: TCP sobre IP
 - CL / CL – exemplos: IP sobre serviço LAN (MAC); UDP sobre IP
 - CL / CO – exemplos: IP sobre ATM; IP sobre *Frame Relay*
- » No caso de um serviço CO construído sobre um serviço CO é possível a multiplexagem de conexões entre níveis de três modos diferentes
 - Um para um
 - Multiplexagem ascendente – múltiplas conexões numa camada partilham uma conexão na camada inferior (e.g., múltiplos circuitos virtuais X.25 sobre uma ligação LAPB)
 - Multiplexagem descendente (*Inverse Multiplexing* ou *splitting*) – uma conexão numa camada é construída sobre múltiplas conexões na camada inferior

Arquitectura protocolar TCP/IP

- » É a arquitectura (pilha protocolar) dominante actualmente
 - Desenvolvida inicialmente no âmbito da ARPANET, que começou por ser uma rede experimental financiada pelo Departamento de Defesa dos EUA, e que ligava universidades e centros de investigação
 - Os protocolos da família TCP/IP foram especificados e implementados antes da maior parte dos protocolos baseados no modelo OSI
 - Um grande número de serviços e aplicações disponíveis actualmente usa a pilha TCP/IP
- » Princípios
 - As funções de comunicação são estruturadas em módulos
 - Entidades comunicam com entidades homólogas (*peer*) noutros sistemas
 - Num sistema
 - » Uma entidade usa serviços de outras entidades
 - » Uma entidade fornece serviços a outras entidades
 - » Serviços podem ser fornecidos a camadas não adjacentes (ao contrário do modelo OSI)

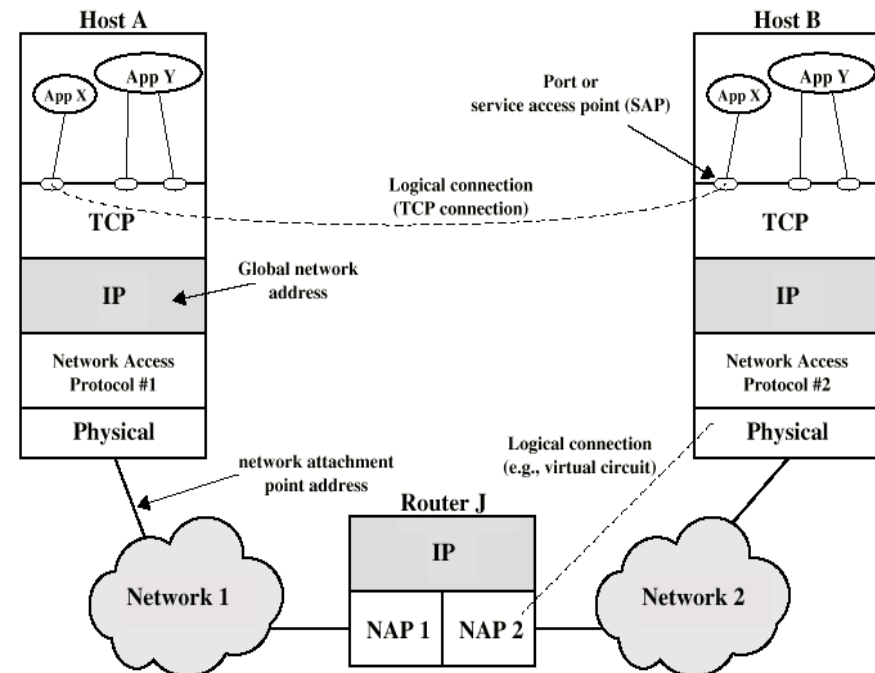
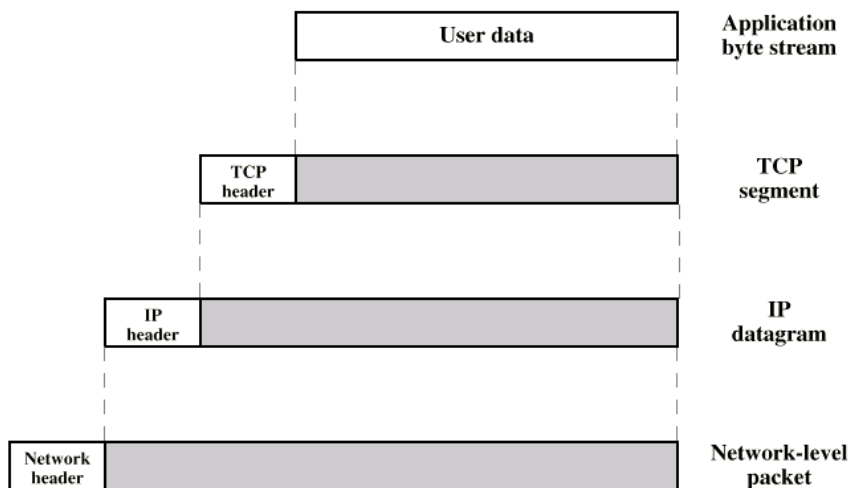
Arquitectura protocolar TCP/IP



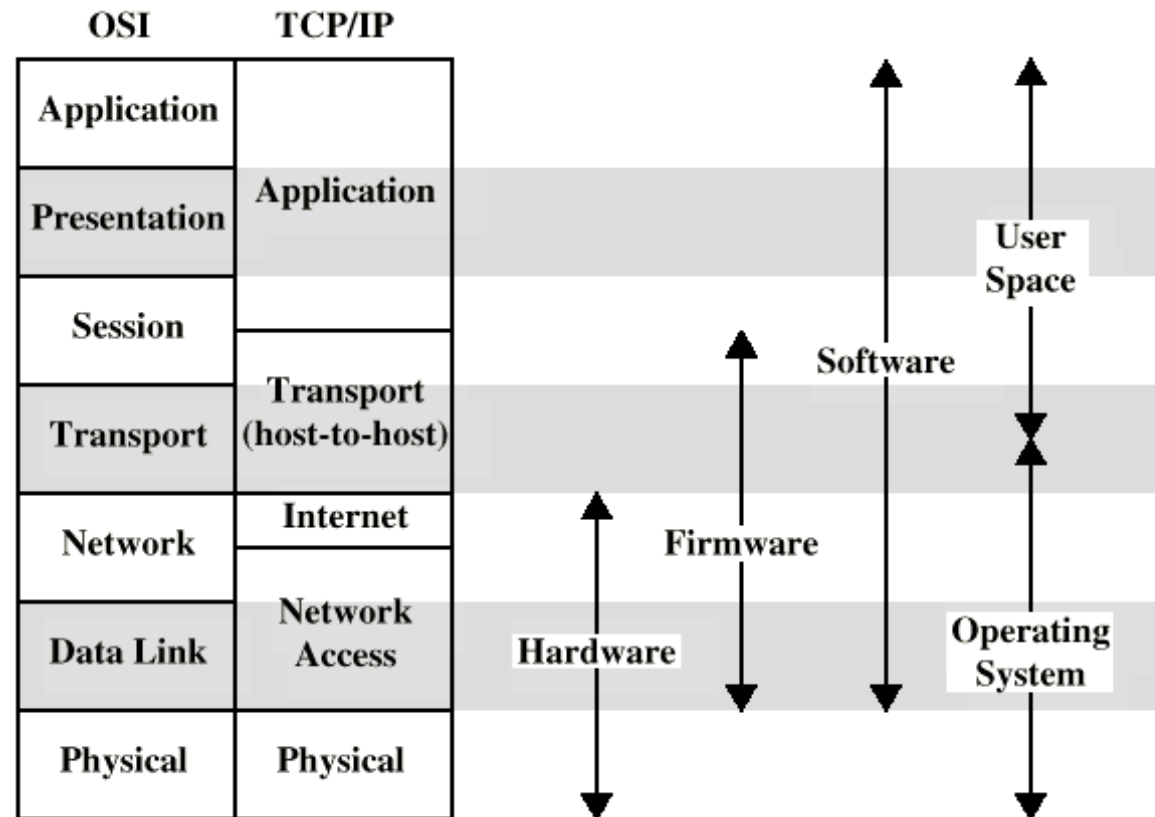
- » Aplicação – serviços de utilizador
 - Comunicação entre processos ou aplicações
 - Modelo típico: cliente-servidor
 - Exemplos: HTTP, FTP, Telnet
- » Transporte (TCP/UDP)
 - Transmissão de mensagens extremo a extremo
 - Independente do serviço de sub(redes) físicas
 - Transferência fiável (TCP) ou não fiável (UDP)
- » Internet (IP)
 - Encaminhamento através de múltiplas (sub)redes interligadas (*internetworking*)
 - Implementado em computadores (*hosts*) e nós intermédios (*routers*)
- » Acesso a uma rede (subrede)
 - Acesso a uma (sub)rede e comunicação entre estações (*hosts / routers*) ligadas à mesma (sub)rede física
- » Interface física
 - Características eléctricas e mecânicas do acesso à (sub)rede (níveis de sinal, débitos de transmissão, conectores, etc.)

Algumas características do TCP/IP

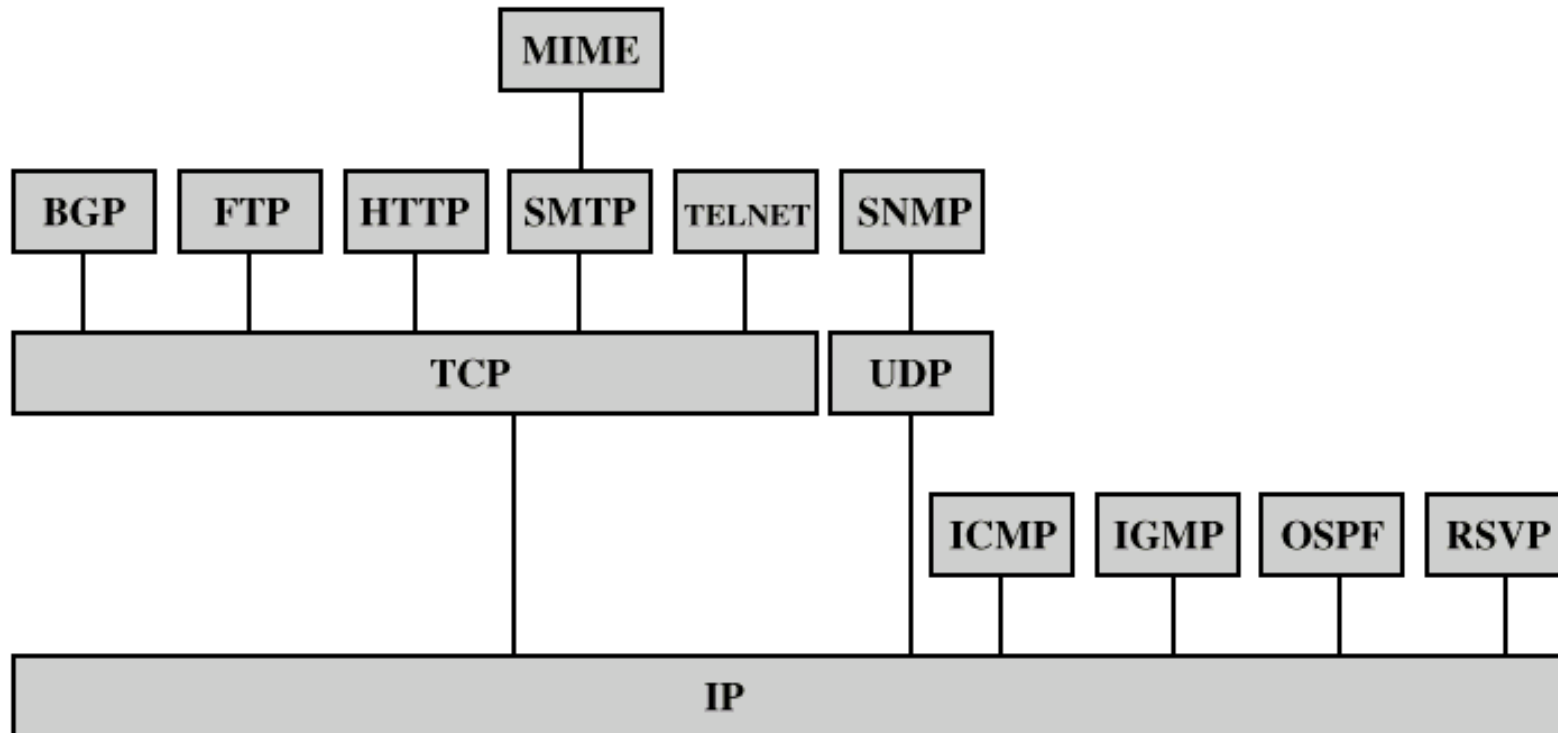
- » O IP (*Internet Protocol*) é implementado em todos os computadores (*hosts*) e *routers*
- » Cada computador tem um endereço IP único em cada subrede a que pertence
- » Cada processo num computador tem um endereço único (porta)



OSI vs TCP/IP



Exemplo de protocolos da pilha TCP/IP



BGP = Border Gateway Protocol
FTP = File Transfer Protocol
HTTP = Hypertext Transfer Protocol
ICMP = Internet Control Message Protocol
IGMP = Internet Group Management Protocol
IP = Internet Protocol
MIME = Multi-Purpose Internet Mail Extension

OSPF = Open Shortest Path First
RSVP = Resource ReSerVation Protocol
SMTP = Simple Mail Transfer Protocol
SNMP = Simple Network Management Protocol
TCP = Transmission Control Protocol
UDP = User Datagram Protocol