

Arquitecturas de Redes

Modelos Arquitectónicos

FEUP/DEEC/CDRC I – 2002/03
MPR/JAR

Arquitecturas de Redes

- » Uma Arquitectura de Rede é um modelo abstracto que permite descrever a organização e o comportamento dos sistemas que constituem a rede
 - 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 da rede
- » O modelo deve ser 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 e universal é possível especificar e desenvolver soluções particulares e concretas baseadas no modelo

Necessidade e objectivos

- » As funções a realizar numa rede têm um elevado grau de complexidade 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 (desempenho) muito diferentes
 - ◆ para garantir flexibilidade e adaptabilidade a um ambiente em permanente evolução, uma rede de dados não pode ser projectada e optimizada 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 poder ser baseada num modelo monolítico, por várias razões
 - dificuldade de concepção e de desenvolvimento
 - dificuldade de manutenção e de alteração (evolução tecnológica)
 - inflexibilidade (dificuldade de aplicar a situações diferentes ou 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 (flexibilidade e adaptabilidade)
- » Os modelos arquitectónicos 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 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, 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

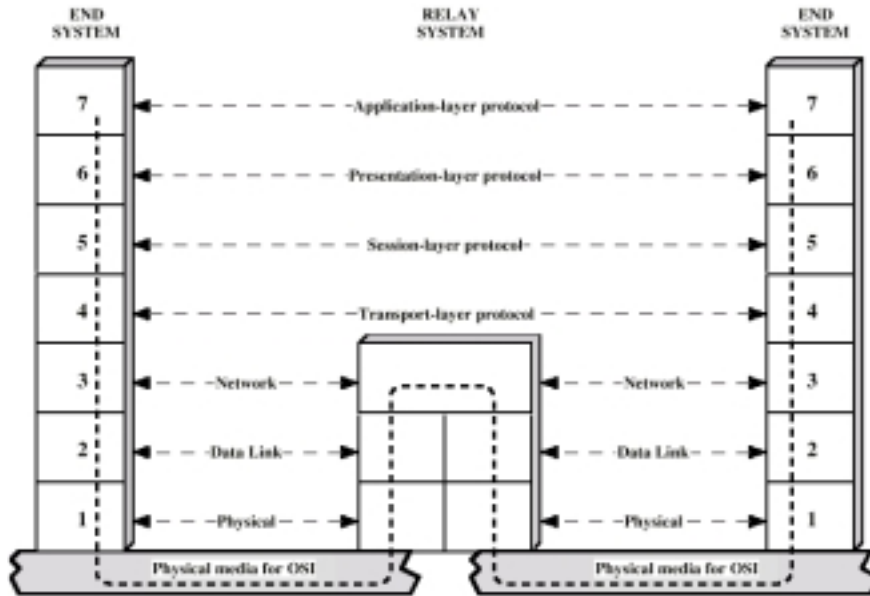
- » Numa arquitectura em camadas os sistemas que constituem a rede aparecem funcionalmente organizados e estruturados em camadas - uma camada atravessa transversalmente todos os sistemas
- » Uma camada é constituída por entidades (processos, recursos) responsáveis pela realização das funções específicas 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, para além de mensagens que contêm dados (de camadas superiores)
- » Esta comunicação pressupõe regras, isto é, um Protocolo
- » Numa arquitectura em camadas, os Protocolos aparecem igualmente estruturados em camadas - a comunicação entre dois sistemas pode então ser decomposta e descrita com base na comunicação que ocorre em cada camada

Protocolos, Interfaces e Serviços

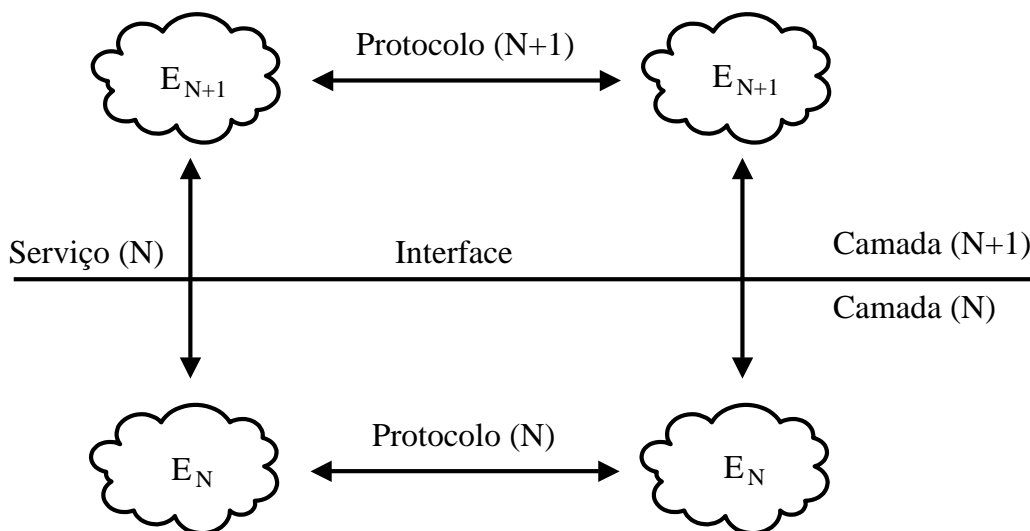
- » Um Protocolo é um conjunto de regras de comunicação entre entidades residentes na mesma camada (*peer entities*), em sistemas diferentes; com excepção da camada protocolar mais baixa, esta comunicação (horizontal) é lógica (ou virtual), pois as entidades de uma camada comunicam usando o serviço da camada inferior (e este princípio é aplicado recursivamente)
- » Um Protocolo contém três tipos de elementos
 - Sintaxe (formato dos dados, códigos, níveis de sinal, etc.)
 - Semântica (conjunto de procedimentos e mecanismos suportados em informação de controlo)
 - Temporizações (adaptação de velocidades, sincronização, etc.)
- » Um serviço é disponibilizado através de uma 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

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

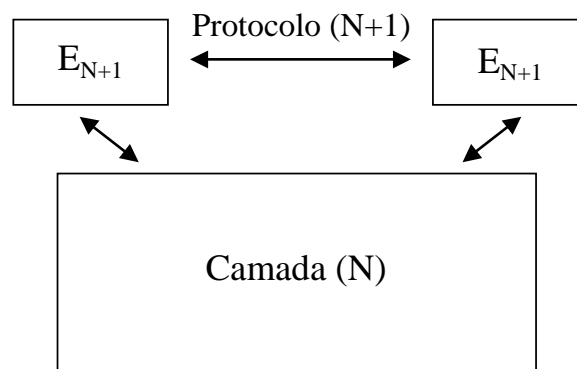


Modelo de comunicação

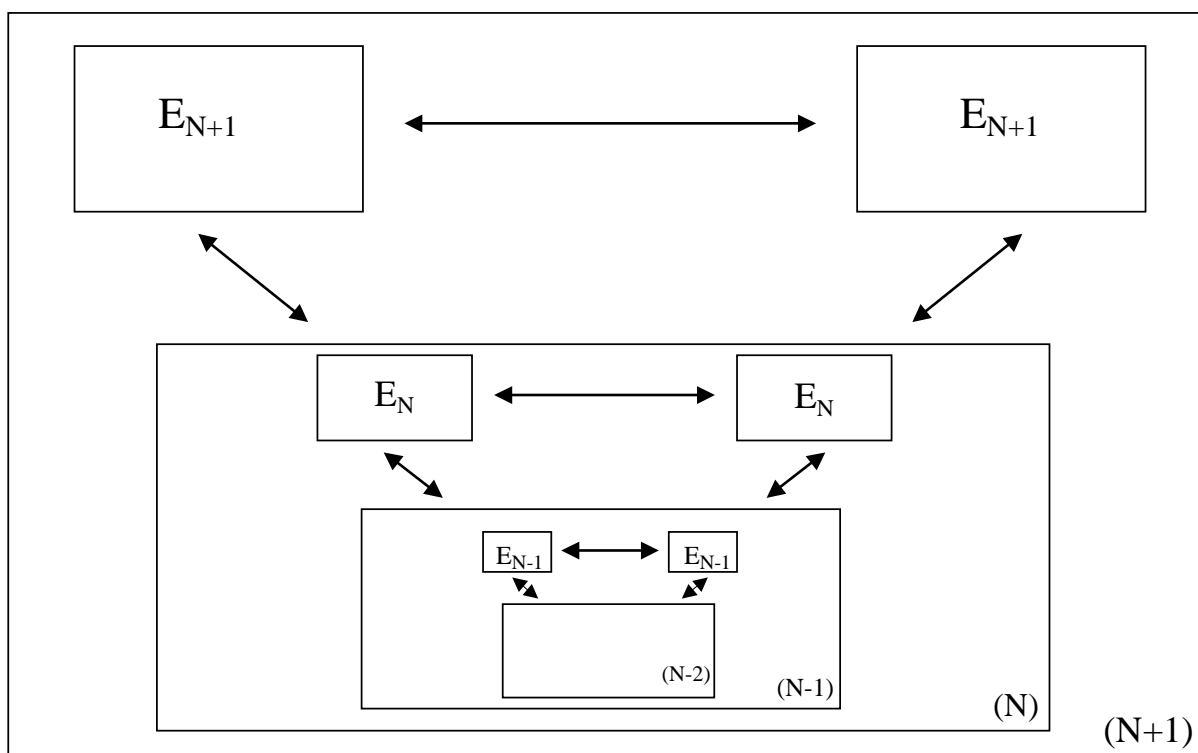


Serviço

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



Utilização Recursiva de Serviços



Modelo de Referência - necessidade

- » Os fabricantes de computadores desenvolveram arquiteturas 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, começaram a implantar-se redes públicas de comunicação de dados, baseadas em diferentes tecnologias, protocolos de acesso e serviços
- » 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

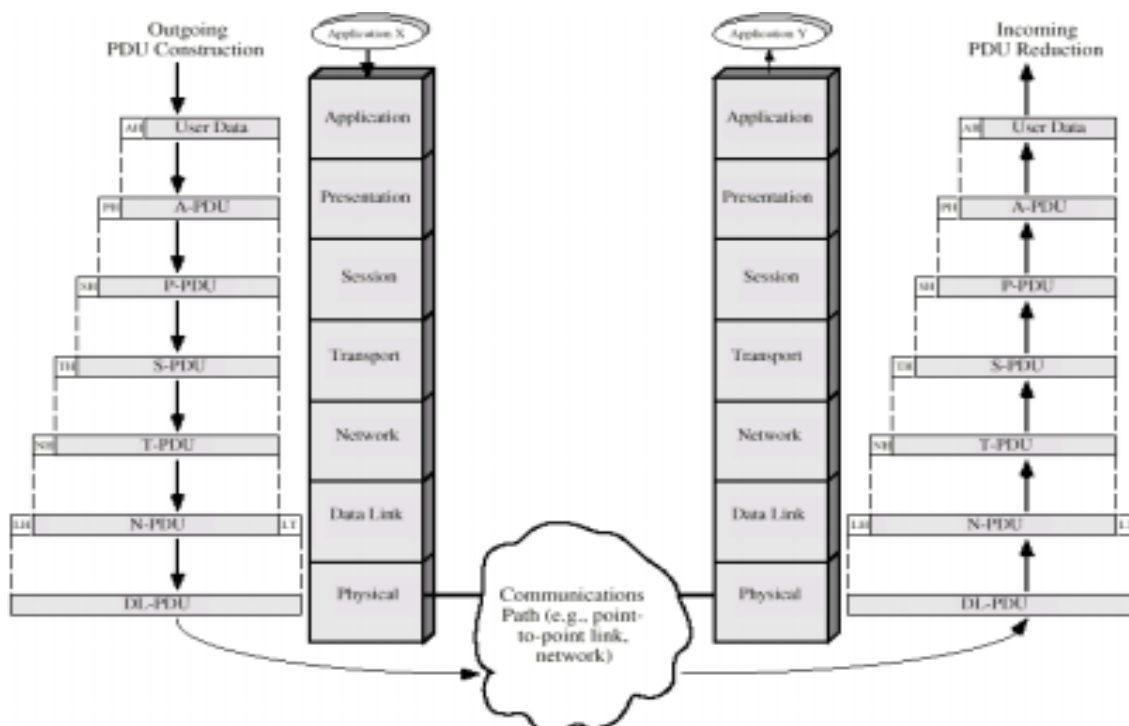
Modelo de Referência OSI

- » 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 da 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 70, continua a ser usado como modelo de descrição de redes e serviços que se desenvolveram desde então

Modelo de Referência OSI

- » 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

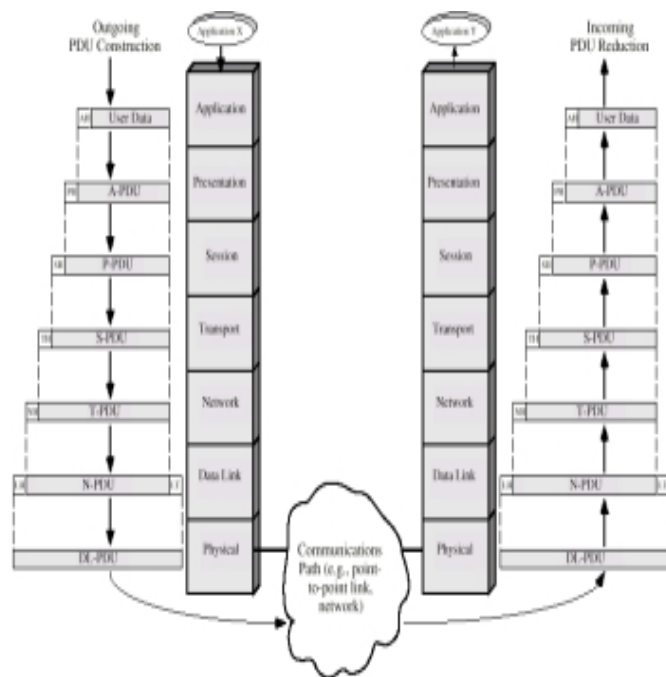
Camadas OSI



Comunicação em ambiente OSI

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

- » Para comunicar com a Aplicação Y, a Aplicação X usa os serviços da camada 7
- » As entidades da camada 7 de X comunicam com as entidades da camada 7 de Y usando um protocolo da camada 7
- » O protocolo da camada 7 usa os serviços da camada 6
- » ... e assim sucessivamente



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

- » Activação, manutenção e desactivação de uma ligação de dados
- » Encapsulamento de dados em tramas para transmissão
- » 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, 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)
 - » Eventualmente Controlo de Erro (serviço fiável) e Controlo de Fluxo
 - » Exemplos: 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

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

- » Invocada pelo utilizador do serviço
- » Invoca um serviço (acção, procedimento)

Indication

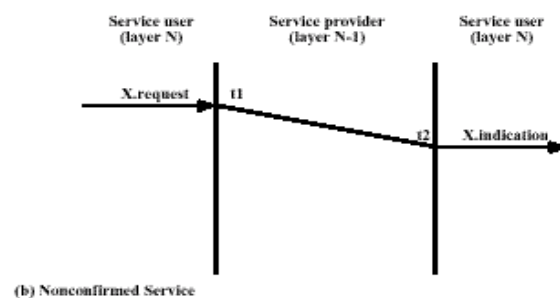
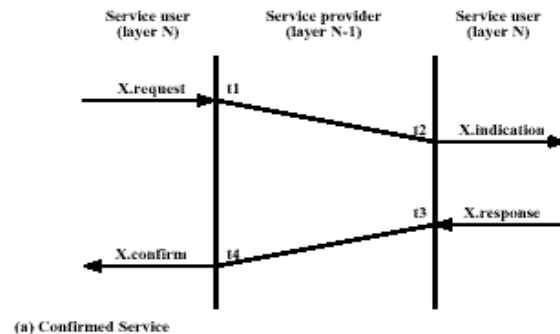
- » Invocada pelo fornecedor do serviço
- » Invoca um serviço ou indica um serviço invocado pelo utilizador remoto

Response

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

Confirmation

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



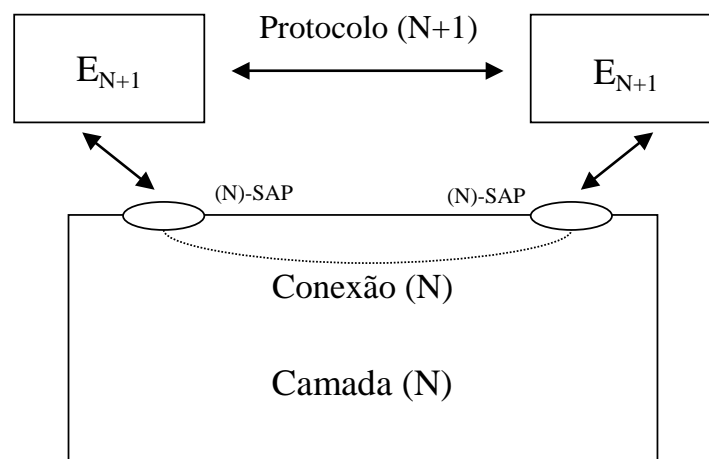
Pontos de Acesso ao Serviço (SAPs)

- » 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)

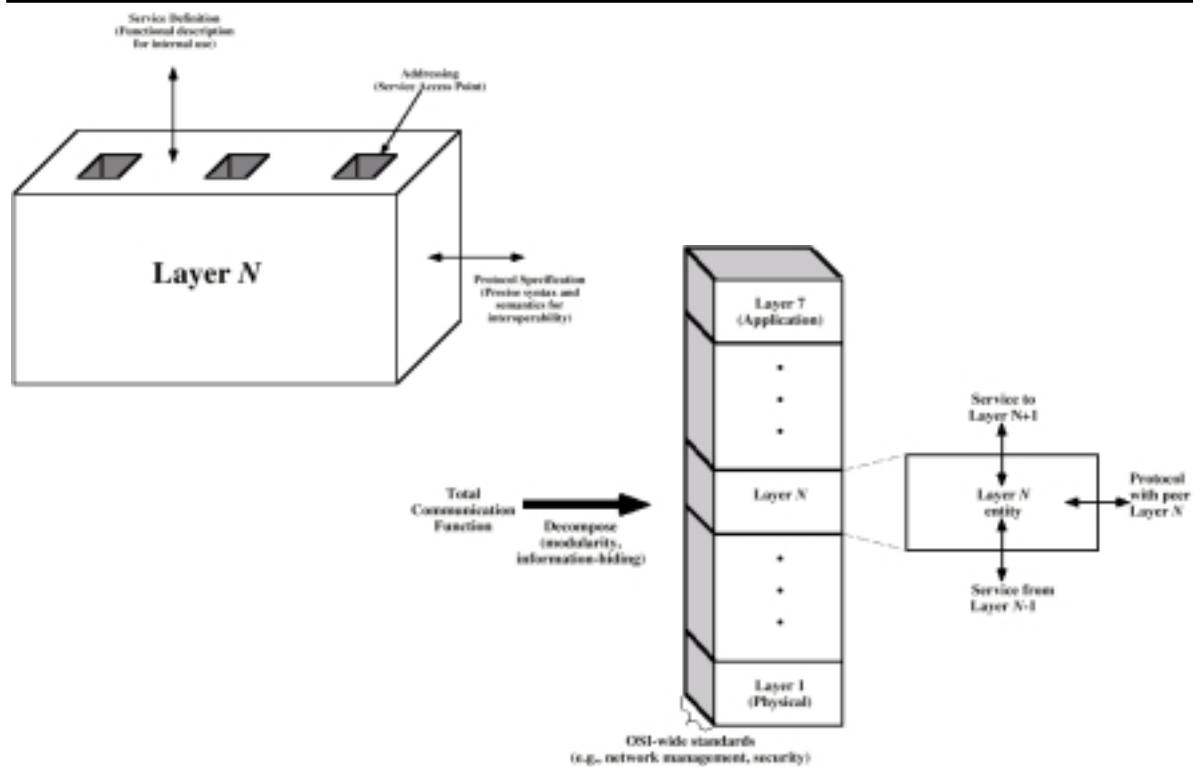
Tipos de Serviço

- » 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
 - 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 fluxo
- » Controlo de erros
- » Endereçamento
- » Multiplexagem

Unidades de Dados

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

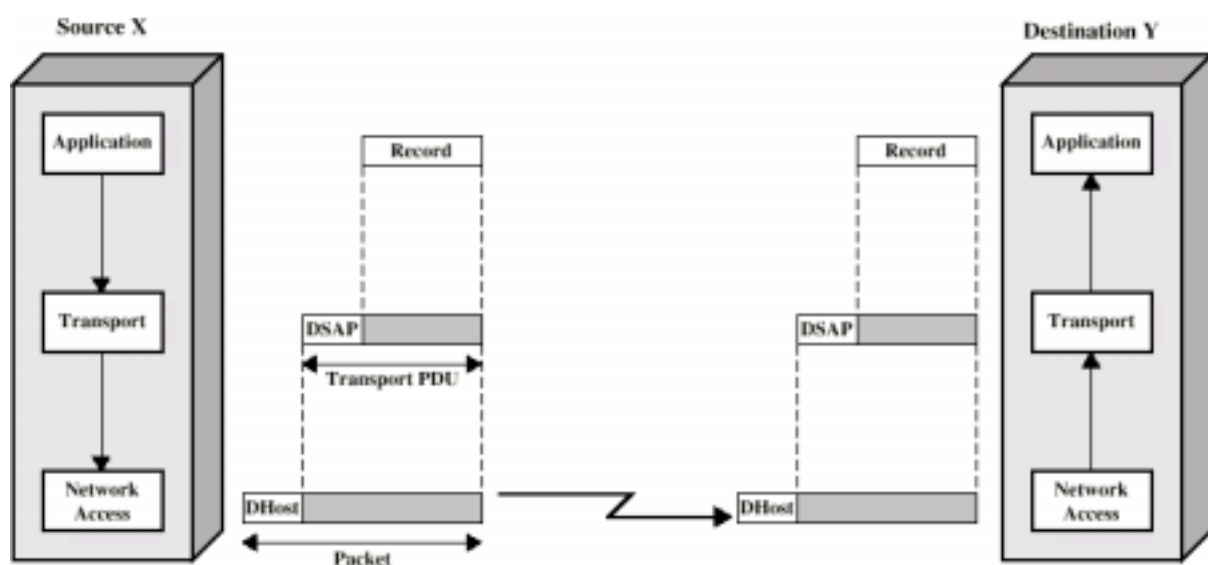
(N)-SDU - *Service Data Unit*

- » As unidades de dados trocadas entre entidades protocolares na camada (N) designam-se por 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

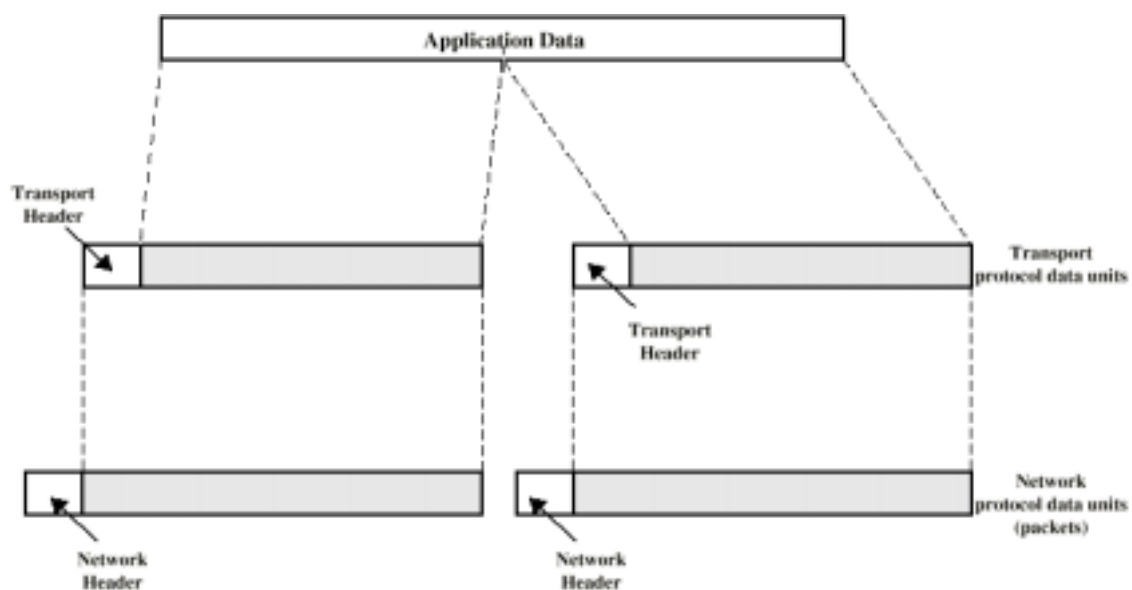
Encapsulamento



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 erro mais eficiente
 - Acessos mais equilibrados à rede
 - 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

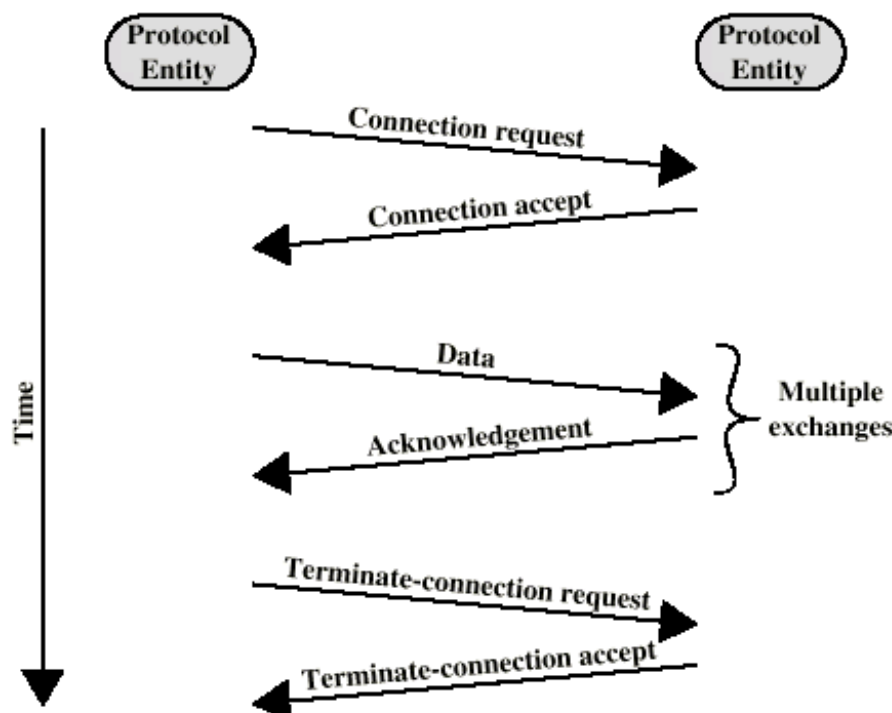


Modos de operação dos protocolos

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

- » 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
- » 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 Fluxo e de Erros

» 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 Fluxo

- Efectuado pela entidade que recebe dados
- Limita (controla) o débito do emissor
- Pode ser necessário em várias camadas protocolares (nó a nó ou extremo a extremo)

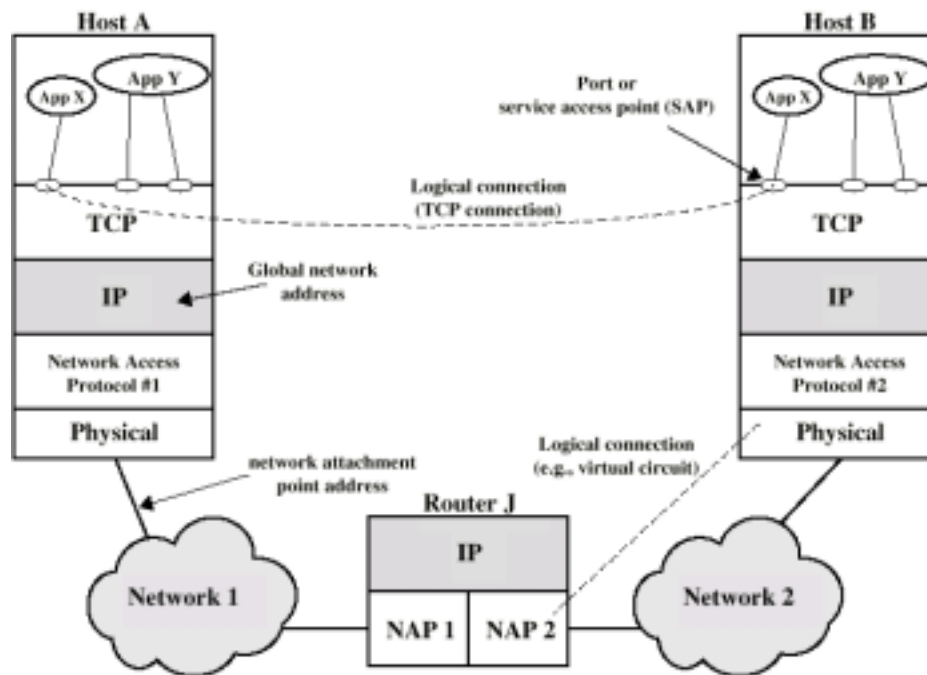
» Controlo de Erros

- Protecção contra perda ou corrupção de PDUs
- Implica detecção de erros e retransmissão de PDUs não aceites pelo receptor
- 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*

Exemplo 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 - exemplo: 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
 - » Um para um
 - » Multiplexagem ascendente - múltiplas conexões numa camada partilham uma conexão na camada inferior
 - » Multiplexagem descendente (*Inverse Multiplexing* ou *splitting*) - uma conexão numa camada é construída sobre múltiplas conexões na camada inferior

Arquitectura Protocolar TCP/IP

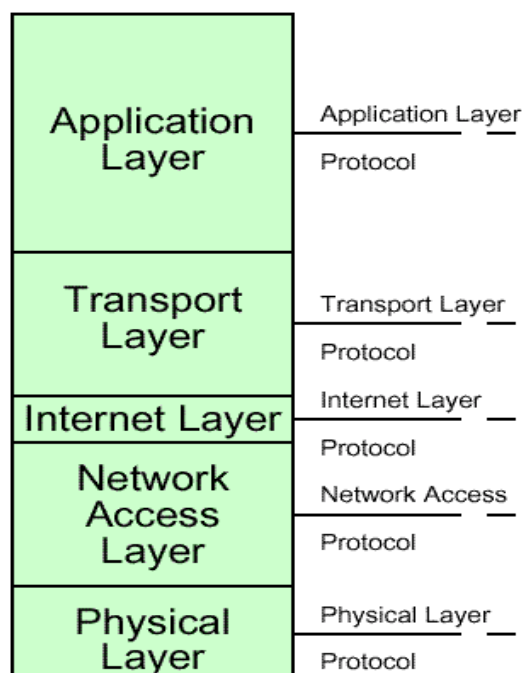
◆ Arquitectura dominante

- » 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 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 usam 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
 - Fornece serviços a outras entidades
 - Serviços podem ser fornecidos a camadas não adjacentes (ao contrário do modelo OSI)

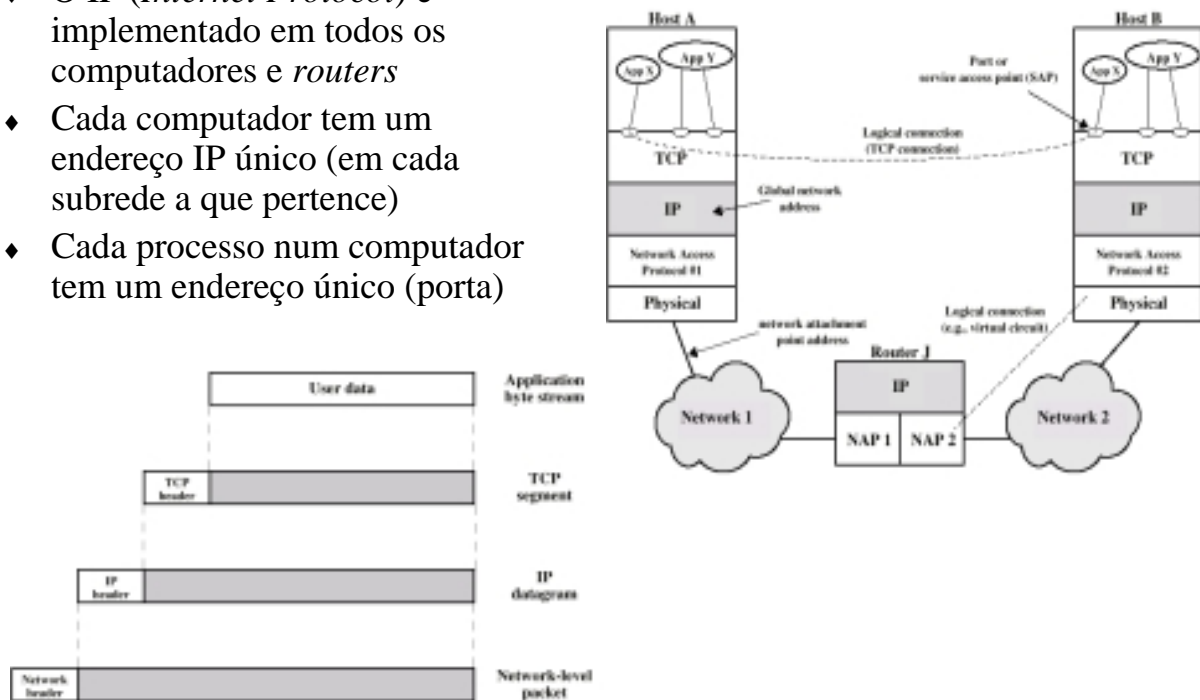
Arquitectura Protocolar TCP/IP



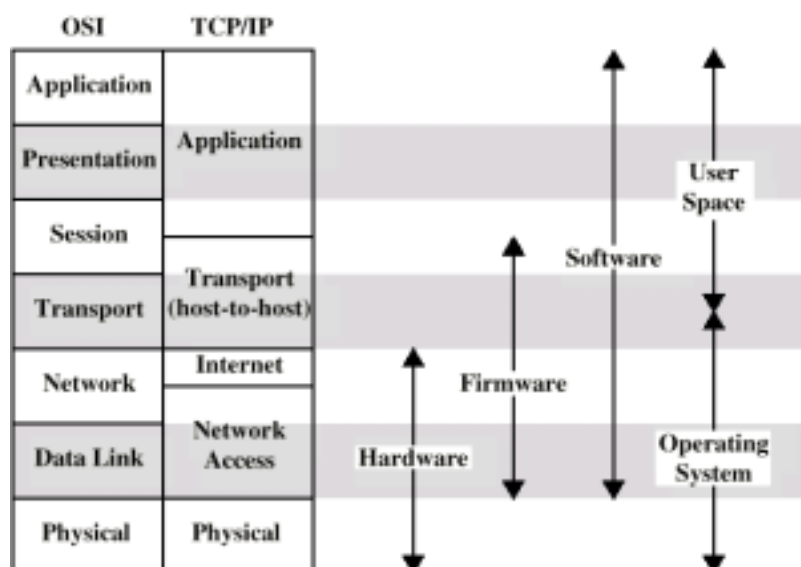
- » Aplicação – serviços de utilizador
 - Comunicação entre processos ou aplicações
 - Modelo cliente-servidor
 - HTTP, FTP, telnet
- » Transporte (TCP/UDP)
 - Transmissão de mensagens extremo a extremo
 - Independente do serviço de sub(redes) físicas
 - Pode incluir transferência fiável (TCP)
- » Internet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

Algumas Características do TCP/IP

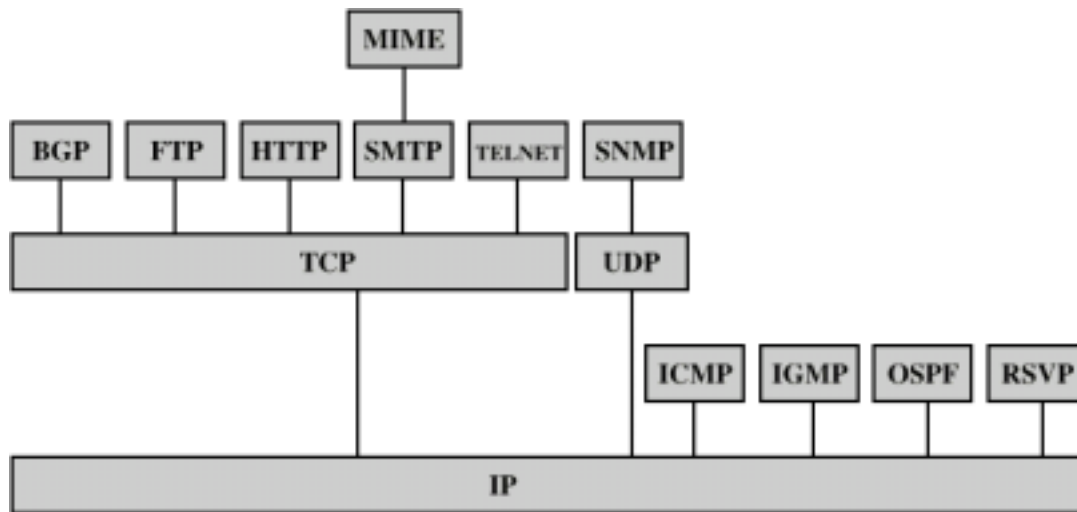
- ♦ O IP (*Internet Protocol*) é implementado em todos os computadores e *routers*
- ♦ Cada computador tem um endereço IP único (em cada subrede a que pertence)
- ♦ Cada processo num computador tem um endereço único (porta)



OSI vs TCP/IP



Família de Protocolos TCP/IP



BGP = Border Gateway Protocol	OSPF = Open Shortest Path First
FTP = File Transfer Protocol	RSVP = Resource ReSerVation Protocol
HTTP = Hypertext Transfer Protocol	SMTP = Simple Mail Transfer Protocol
ICMP = Internet Control Message Protocol	SNMP = Simple Network Management Protocol
IGMP = Internet Group Management Protocol	TCP = Transmission Control Protocol
IP = Internet Protocol	UDP = User Datagram Protocol
MIME = Multi-Purpose Internet Mail Extension	