

# RC

No Author Given

No Institute Given

## 802ft

802.11 - Formato da trama

Endereço 1:

- Receptor: no que recebe a trama e deve confirmar a recepção
- Todas as estações lêem este endereço

Endereço 2

- Transmissor: no que transmite a trama e deve retransmitir em caso de não-confirmação

Endereços 3 e 4 dependem do modo de operação

DA - Destination Address - receptor final

SA - Source Address - origem da transmissão

RA - Receiver Address - estação wireless que deve processar a trama wireless

STA -> RA=DA

wired node -> RA=MAC AP; DA=router

TA - Transmitter Address - interface wireless que transmitiu a trama

BSSID - MAC da interface wireless do AP (Infrastruture networks); aleatorio BSSID  
(Ad-hoc networks)

## 802.11 - Configurações wireless LAN

### 1- Independent/Ad-Hoc Network

- WLAN isolada sem sistema de distribuição
- Sem AP, com duas ou mais STAs
- STAs configuradas em modo ad hoc
- Caracter temporário - Um AP interliga uma ou mais STAs a um sistema de distribuição

### 2 - Infrastructure Network

- Um AP interliga uma ou mais STAs a um sistema de distribuição
- Comunicações entre STAs realizadas sempre através do AP
- STAs configuradas em modo infra-estrutura

### STA - Station - Estação com interface wireless

- Varre os canais a procura de tramas beacon contendo o SSID (Service Set Identity) e o endereço BSSID (Basic SSID - geralmente MAC do AP)
- Scan passivo - Beacon
- Scan activo - Probe Request
- Escolhe um AP para se associar
- Possibilidade de autenticação
- Configura-se normalmente por DHCP
- Sequência: Scanning - Join - Authentication - Association

**AP - Access Point (Base Station (BS) )**

Estação base com interface wireless e wired. Permite ligação do BSS ao sistema de distribuição.

**BSS - Basic Service Set / Base Station Subsystem**

Célula (ou segmento WLAN) contendo grupo de estações abrangidas pelo alcance do AP; Ad-hoc/Independent or infrastrutured BSS

**ESS - Extended Service Set**

Vários BSS ligados entre si pelos APs a um sistema de distribuição.

**DS - Distribution System**

Liga os BSS de uma ESS via APs; disponibiliza recursos da rede as BSS; geralmente wired.

OS BSSs podem ser:

- Parcialmente sobrepostas: para cobertura continua numa determinada área
- Totalmente sobrepostas: para redundância ou melhoria de desempenho
- Fisicamente disjuntas: interrupção de serviço na transição

A norma 802.11 suporta mobilidade entre BSSs (roaming) pertencentes a mesma ESS, mas não suporta transição entre ESSs. O IAPP (Inter-Access Point Protocol) coordena a interacção entre APs na transição entre BSSs.

**802.11 - Nivel MAC**

- Métodos de acesso:
- MAC-DCF CSMA/CA (obrigatório)
- Physical channel sensing
- Evitar a colisão através de um mecanismo de random back-off
- Distancia minima entre pacotes consecutivos
- Pacotes ACK (não para broadcasts)
- MAC-DCF c/ RTS/CTS (opcional)
- Physical e Virtual channel sensing
- Protocolo de handshaking com pequenos pacotes de reserva do meio
- Evita o problema de “hidden terminal”
- MAC- PCF (opcional) - sem contenção
- Access Point faz o poll as estações de acordo com uma lista
- DCF (Distributed Coordination Function)
- PCF (Point Coordination Function)

**802.11 - CSMA/CA****Carrier Sense Multiple Access Collision Avoidance (802.11)**

Cada STA escuta o meio antes de iniciar a transmissão (physical channel sensing). Se o meio estiver livre por alguns microsegundos (DIFS), a STA pode transmitir por um tempo limitado. Se o meio estiver ocupado, faz back off por um período aleatório antes de escutar o meio novamente. Uma STA não escuta o meio enquanto transmite. Não transmite e recebe ao mesmo tempo:

- não consegue detectar colisões (CD)
- evitar colisões (CA)

### **Algoritmo CSMA/CA**

Se sentir o meio desocupado por DIFS segundos (Distributed Inter Frame Space):

- transmite trama (sem efectuar Collision Detection)
- receptor devolve ACK apos SIFS segundos (Short Inter Frame Space) Se sentir o meio ocupado:
- espera por um DIFS livre + random backoff (Collision Avoidance)

MAC reenvia pacote se não vier a confirmação => ARQ stop-and-wait

Ar menos fiável do que meios guiados => taxas de erros maiores => MAC fragmenta tramas para evitar retransmissão de pacotes grandes.

### **Virtual channel sensing (RTS/ CTS)**

- RTS requisita o uso do meio CTS silencia as estações que estão acessíveis para o receptor (mas possivelmente escondidas do emissor); isto previne colisões provocadas por estações escondidas durante a troca de dados
- RTS e CTS muito curtos: colisões improváveis
- Estação envia RTS com parâmetro de reserva depois de esperar por DIFS (reserva declara o tempo que o trama de dados necessita do meio)
- Receptor envia acknowledgement via CTS depois de SIFS (se apto a receber)
- Emissor pode agora enviar os dados, com confirmação via ACK
- Outras estações registam os anúncios de reserva do meio enviados via RTS e CTS

### **Controlo de Erros**

Envolve a detecção de falhas nas tramas trocadas de modo a tornar a ligação de dados fiável. Tipos de falhas: trama perdida ou trama errada;. As técnicas para controlo de erros são ARQ, que envolve:

- detecção de erros na trama recebida através do CRC;
- confirmação positiva: para tramas recebidas sem erros;
- confirmação negativa e retransmissão: para tramas onde e detectado erro;
- retransmissão por limite de tempo - se não e recebida confirmação de trama, dentro do período de tempo t;

#### **O ARQ (Automatic Repeat reQuest):**

- processa-se de forma automática e contínua, sem qualquer intervenção do utilizador;
- Existem diversas alternativas para métodos de ARQ;
- Métodos ARQ:
- Stop-and-wait (Pára-e-espera);
- Go-back-N (volta-atrás-N);
- Selective Reject (rejeição selectiva);

### **Stop-and-Wait ou idle RQ**

Usado na técnica de controlo de fluxo stop-and-wait

Transmissor:

- activa temporizador e mantém copia da trama ate obter ACK
- no máximo espera timeout ate transmitir de novo

Receptor:

- envia ACK, NAK (pedido explícito) ou no reply (pedido implícito)
- sequenciação necessária para resolver a situação de erro na trama de confirmação (duplicação da trama)
- vantagem: simples;
- desvantagem: reduzida eficiência

### **Volta-Atrás-N**

- usado na janela deslizante
- a falta de sequenciação ou erro na recepção implica a retransmissão a partir de uma determinada ordem.

### **Rejeição Selectiva**

- alternativa possível na janela deslizante
- apenas são retransmitidas as tramas que recebem confirmação negativa explícita (SREJ) ou se ocorre timeout.
- Trama posteriormente transmitidas e correctamente recebidas não tem que ser retransmitidas
- $W_{max}$  mais restritivo para não sobrepor as janelas na transmissão e na recepção ( $W_{max}=2(\hat{n}-1)$ ) e não ( $W_{max}=2(\hat{n})-1$ )
- vantagem: menos retransmissões, melhor utilização da ligação
- desvantagem: requer mais processamento (e controlo) na transmissão e na recepção

No mecanismo de rejeição selectiva a ordem das tramas na recepção não é mantida daí que:

- Implica a capacidade de guardar frames recebidos após rejeição
- Receptor: inserção de frames fora de sequência;
- Emissor: emissão de frames fora de sequência
- O mecanismo volta-atras-N é mais usado do que o de rejeição selectiva, pois apesar de conduzir a uma pior utilização da ligação, reduz a complexidade do receptor.

### **Classes de protocolos de ligação**

- protocolos orientados ao caracter
- protocolos orientados ao bit
- trama interpretada caracter a caracter
- ligação rígida a um código de caracteres para delimitar tramas e supervisionar a troca de dados
- protocolo depende do código em uso

## Controlo de Fluxo

Técnica para assegurar que a estação que transmite não sobrecarrega a que recebe, evitando perda de tramas. Em geral, a existência de buffers na estação de recepção, reduz mas não elimina a necessidade de controlar o fluxo. A perda de tramas pode ocorrer, também, na(s) rede(s) de interligação das estações quando estas se encontram congestionadas nalgum ponto do percurso entre a estação que transmite e a que recebe. Técnicas mais comuns de controlo de fluxo:

- stop-and-wait
- sliding window (janela deslizante)

### Stop-and-Wait

Após a transmissão de uma trama, a fonte aguarda confirmação da sua recepção (ACK) antes de transmitir a trama seguinte. O receptor pode parar o fluxo de dados suspendendo temporariamente as confirmações. Esta técnica funciona bem quando uma mensagem é fragmentada em poucas tramas de grande dimensão. Contudo, se o tamanho das tramas é grande: é maior a probabilidade de erro na trama e é maior a ocupação de recursos (buffers, processadores)

### Sliding-Window

- permite que existam múltiplas tramas de dados em trânsito
- o transmissor pode enviar até  $W$  tramas de dados sem que receba qualquer confirmação da sua recepção
- obriga o uso de sequenciação ( $n$  bits, numeração modulo  $2n$ )
- cada confirmação positiva indica a próxima trama esperada
- pode haver confirmação simultânea de múltiplas tramas
- existem mecanismos distintos para transmitir e receber
- $W$  é designado abertura da janela:  $W=2(n)-1$

## Fórmulas

A utilização ou rendimento da ligação depende de  $W$  e do parâmetro  $a$ . O parâmetro  $a$  é a razão entre o tempo de propagação e o tempo de transmissão:

$$a = T_{\text{prop}} / T_{\text{trama}}$$

$$a = (d/v) / (L/r)$$

$$a = rd / vL$$

$d$  - distancia (m)

$v$  - velocidade de propagação (m/s)

$L$  - comprimento trama (bits)

$r$  - ritmo de transmissão (bps)

### Stop-and-Wait (Pára-e-Espera)

Exemplo: uma estação envia  $n$  tramas para outra estação. Por cada trama enviada há uma de confirmação, ou seja, dois tempos de propagação:

$$T_{\text{total}} = n * (2 T_{\text{prop}} + T_{\text{trama}})$$

$$T_{\text{útil}} = n * T_{\text{trama}}$$

(tempo de transmissão dos acknowledges e processamentos adicionais nas estações são considerados = 0)

A utilização da ligação é a fracção do tempo total que é útil, ie, que é utilizado a transferir tramas de dados:

$$U = T_{\text{útil}} / T_{\text{total}}$$

$$U = 1 / (1 + 2a)$$

### **Sliding Window (Janela Deslizante)**

Exemplo: ligação full-duplex entre duas estações A e B

Caso 1 - A estação A transmite continuamente. A confirmação de chegada da trama 1 ocorre antes da janela se fechar, então:

$$U = 1 \quad \text{se} \quad W = 2a + 1$$

Caso 2 - A estação A tem a janela fechada em  $t_0 + W$  e não pode enviar tramas até  $t_0 + 2a + 1$  (chegada do primeiro ACK), então:

$$U = W / (2a + 1) \quad \text{se} \quad W < 2a + 1$$

## **Protocolo HDLC (High-level Data Link Control)**

- norma da ISO (ISO 3309, 4335) para uso em ligações PP e MP;
- outros protocolos de ligação (LLC, PPP) derivam do HDLC;
- orientado ao bit; muito usado em redes de computadores;

O HDLC suporta:

- estações: primárias, secundárias e mistas (combinadas);
- configurações: não balanceada e balanceada (HDX e FDX);

Modos de operação:

- Normal Response Mode (NRM) (não balanceado)
- Asynchronous Response Mode (ARM) (não balanceado);
- Asynchronous Balanced Mode (ABM) (balanceado);

### **NRM**

A estação primária pode iniciar a transferência de dados. A secundária apenas pode transmitir com um comando específico da primária. Exemplo: ligações computador-terminal/periférico.

### **ARM**

A estação secundária pode iniciar a transmissão sem receber qualquer solicitação da estação primária. Exemplo: ligação computador-periférico onde este necessita tomar a iniciativa.

### **ABM**

Qualquer estação pode tomar a iniciativa na transmissão. Exemplo: ligações computador-computador (é o mais usado).

## **HDLC: Definição da trama**

Estrutura da trama HDLC:

- as mensagens de controlo e os dados são transportadas em tramas de formato único e normalizado
- flag: 8 bits de padrão de alinhamento de trama: 01111110
- endereço: um ou mais octetos
- controlo: um ou dois octetos (formato normal ou estendido)
- dados: campo de informação de tamanho variável
- FCS: Frame Check Sequence (16 ou 32 bits) equivale a CRC

## **HDLC : Transparência, bit stuffing**

O protocolo HDLC usa a técnica de bit stuffing para obter transparência dos dados, isto é, para evitar que um possível padrão: 01111110, dentro da trama seja tomado como flag. É inserido um 0 após cinco 1 consecutivos. O receptor retira cada 0 que suceda a cinco 1 consecutivos.

## **HDLC: Verificação de erros**

### **Frame Check Sequence (FCS)**

É calculado sobre toda a trama, exceptuando as flags. Pode ser usado CRC-16 ou CRC-32 de acordo com o tamanho das tramas ou a fiabilidade da linha (Bit Error Rate, BER).

## **HDLC: Tipos de trama**

Tipos de tramas (I, S, U):

- (I) informação - usadas para transporte de dados do utilizador: 0N(S)P/FN(R);
- (S) supervisão - usadas para controlo de fluxo e de erros: 10SP/FN(R);
- (U) não-numeradas - usadas para inicializar/terminar a ligação: 11MP/FM;
- As tramas são também classificadas como comando ou resposta
- Formato do campo de control normal para cada tipo de trama

### **Tramas de informação**

- O campo de dados e passado de/para o nível protocolar superior
- N(S) número sequencial da trama corrente enviada
- N(R) número sequencial da próxima trama esperada receber
- O campo N(R) possibilita, a estação que envia, a confirmação implícita de tramas I recebidas - confirmação em piggyback
- O bit P/F (Poll/Final) é usado para efectuar o poll de uma estação forçando-a a uma resposta [Obs: não é o mesmo que o Poll de acesso a linha mencionado no Cap 2]

### **Tramas de supervisão**

- RR N(R) (Receiver Ready): usadas na impossibilidade de fazer piggyback, confirmação mais rápida
- RNR (Receiver Not Ready): indicam indisponibilidade temporária para a recepção de tramas I
- REJ N(R) ou SREJ N(R): retransmissão a partir da trama N(R) ou retransmissão selectiva da trama N(R): não contem informação do utilizador (nível superior), usadas unicamente na fase de transferência de dados

**Tramas não-numeradas (exemplos)** Comandos que inicializam a ligação lógica e estabelecem o modo de operação:

- SABM/SABME (set asynchronous balanced mode/extended);
- SNRM/SNRME (set normal response mode/extended);
- SARM/SARME (set asynchronous response mode/extended);

DISC: termina a ligação lógica

UA (Unnumbered Ack): confirma o estabelecimento ou terminação da ligação

## **LAPB: Link Access Procedure, Balanced**

- subconjunto do HDLC operando em modo ABM.
- usado em links PP de acesso a redes alargadas (WAN):
- o lado da rede e o DCE é o lado do assinante e o DTE
- ex: usado como nível 2 do X.25
- tanto o DCE como o DTE são estações mistas podendo actuar como primárias ou como secundárias no estabelecimento de uma ligação lógica.

Outros protocolos de ligação: LAPB

- utilização do bit P/F
- numa trama de comando o bit P/F é P=1|0 indicando se é exigida uma resposta ou não
- numa trama de resposta o bit P/F é F=1|0 indicando se é uma resposta a um comando com P=1 ou não
- uma trama de resposta com F=1 é a resposta a uma trama de comando transmitida com P=1

## **Logical Link Control (LLC)**

Normalizado pelo IEEE 802.2, semelhante ao HDLC, mas formato do LLC-PDU é distinto do HDLC-PDU porque é usado para efectuar uma ligação lógica servida por uma camada MAC (medium access layer), i.e., o LLC opera sobre um nível MAC, por exemplo IEEE 802.3. A detecção de erros é efectuada no nível MAC (RC-32). Opera com estações mistas, usa 2 endereços: emissor e receptor designados por:

- Destination- Link Service Access Points (D-LSAP)
- Source- Link Service Access Point (S-LSAP)

## **LAPD -Link Access Procedure, D-Channel**

Um acesso básico RDIS usa 2 canais B de 64 Kbps cada para transmissão de dados e 1 canal D de 16 Kbps para controlo da ligação. No canal D opera o LAPD. O LAPD é um subconjunto do LAPB. É o protocolo nível 2 da pilha RDIS (ITU-T Q.920/921). Usa sempre 7 bits para sequenciação (não permite 3 bits) e usa endereços de 16 bits.

## **Frame Relay**

- Usado em redes de comutação de pacotes para débitos elevados
- protocolo de ligação que veio substituir o X.25
- usa o Link Access Procedure for Frame-Mode Bearer Services (LAPF)
- ABM: sequenciação com 7-bits e CRC com 16 bits
- endereçamento com 2, 3 ou 4 octetos
- Data Link Connection Identifier (DLCI) - identifica uma conexão lógica entre um sistema origem e um sistema destino (switching das conexões lógicas ocorre ao nível 2)

## **ATM - Asynchronous Transfer Mode**

- CO (orientado à conexão), usado em redes de alto débito
- não é baseado em HDLC
- as conexões designam-se circuitos virtuais
- definem-se caminhos virtuais (Virtual Path) entre estações
- definem-se circuitos virtuais (Virtual Circuits) dentro de VPs identificados por VPI e VCI (virtual path/circuit identifier)
- as tramas são denominadas células
- uma célula tem um comprimento fixo de 53 Bytes (5 cabeçalho + 48 dados)
- Tecnologia orientada à conexão, baseada na comutação muito rápida de pequenas unidades de informação de tamanho fixo chamadas células.



- normalização - ex: interfaces a 155 e 622 Mbps

## **Intertop**

### **Repetidor**

- opera ao nível físico (OSI), equipamento passivo
- não interpreta as tramas
- monitorização contínua de sinais e sua regeneração
- repete tudo o que “ouve”
- permite cobrir maiores distancias
- permite maior flexibilidade no desenho da rede
- usado em LANs, MANs, WANs

### **Bridge**

- opera ao nível da ligação lógica (OSI)
- ligação por interface de rede; tem endereço físico
- interpreta o formato das tramas; faz aprendizagem
- permite isolar tráfego
- divide o domínio colisão
- configuração transparente
- em configuração múltipla, evita ciclos infinitos (Algoritmo Spanning Tree)

### **Switch**

- mais de 2 interfaces
- capacidade aprendizagem como as bridges
- permite paralelismo
- requer buffering adequado
- reduz carga na rede
- aumenta desempenho
- pode validar endereços MAC
- cria LANs virtuais
- usado em LAN, MAN e WAN

### **Estrela**

- Estações ligadas a um nó central
- controlo centralizado
- vantagens: facilita tarefas de gestão da rede
- desvantagens: sobrecarga do nó central, dependência funcional da rede;

# IP

## Internetworking

Nenhuma das tecnologias existentes de rede local (LAN) é adequada para satisfazer todos os requisitos de comunicações das aplicações. Nenhuma dessas tecnologias é totalmente escalável:

- Os endereços não têm estrutura, resultando em: dificuldade de administração e encaminhamento
- Não há mecanismos de encaminhamento nos protocolos
- Os PDU têm comprimentos limitados;
- Os métodos de acesso não suportam grandes distancias

### Questões:

Será que para existir um serviço de rede único e global (universal) é necessário adotar a mesma tecnologia de rede em todos os locais? Ou será possível oferecer serviços de conectividade universal mesmo adotando diferentes tecnologias locais? R: É possível a conectividade global entre redes com diferentes tecnologias locais introduzindo uma camada protocolar superior independente das mesmas: A camada protocolar de rede, também chamada de Internetworking

O internetworking baseia-se na utilização de funcionalidades específicas de rede (realizadas tanto em hardware como em software) que proporcionam um serviço global de interligação de redes locais (LAN) heterogêneas:

- Software: protocolos de rede -internetworking
- Hardware: encaminhadores - routers

O protocolo de internetworking mais utilizado é o Internet Protocol (IP), da pilha protocolar TCP/IP. No IP, o datagrama é o termo normalmente utilizado para designar a unidade de dados da rede:

- Datagrama: unidade de dados que é encaminhada independentemente (de outras que a precedam ou sucedam) pela rede, sem garantia de entrega [usualmente designado por pacote]
- O processo de entrega dos datagramas IP é normalmente baseado no endereço destino do datagrama e nas tabelas de routing presentes nos diversos routers e hosts
- É um protocolo de interligação de redes - paradigma protocolar do melhor esforço (best effort):
- O protocolo esforça-se por entregar os datagramas ao destino, mas não o garante (datagramas podem perder-se)
- Versões: IPv4 (em uso generalizado), IPv6 (em instalação)

### Principais funções:

- Define uma unidade elementar para transferência de dados:
- O PDU do IP é um datagrama IP
- Endereçamento e encaminhamento
- Incorpora um esquema de endereçamento universal
- Inclui mecanismos para o encaminhamento de datagramas
- Fragmentação de datagramas: trânsito em qualquer LAN

## IPv6

- define um novo formato de pacotes com introdução de novas funcionalidades na camada IP
- novos formatos de endereços
- diminuição do overhead de processamento
- melhor desempenho dos elementos de rede
- introdução de novas options IP
- introdução de mecanismos de segurança a nível da camada de rede
- outras...

### Campos manipulados na fragmentação:

- identification - identifica fragmentos pertencentes ao mesmo datagrama original
- more fragments - flag que determina se o fragmento é o último
- may fragment - identificação da possibilidade ou não do datagrama ser fragmentado pela rede
- fragment offset - offset dos dados do fragmento relativamente ao datagrama original

### Endereçamento por classes ou Classful

- esquema original, baseado na RFC 791
- usa os primeiros bits como identificadores de classe
- Endereçamento sem classes (ou Classless)
- não considera os bits de classe, utilizando uma máscara de 32 bits para determinar o endereço de rede
- permite routing mais eficiente por agregação de rotas, designado CIDR (Classless Internet Domain Routing)
- tabelas de encaminhamento mais pequenas
- as rotas são agregadas por grupos de endereços adjacentes
- usado pelas tabelas de routing de ISPs

O endereço IP é um endereço da camada de rede IPv4: 32 bits

xxxxxxxx.xxxxxxxxxx.xxxxxxxxxx.xxxxxxxxxx

(em notação decimal - dot decimal notation)

- uma parte identifica a rede (ou subrede) e a outra identifica o interface da estação (host) nessa rede
- na internet, cada endereço de rede tem de ser único
- distribuídos por 5 classes (A a E)
- atribuídos pela IANA (Internet Assigned Number Authority)

### Restrições a Endereços IP

Endereços reservados:

- os primeiros 4 bits não podem ser 1
- 127.x.x.x e o endereço reservado para loopback
- bits de host a 0s ou 1s são reservados (a rede ou broadcast)
- bits de subnet a 0s ou 1s são reservados
- Endereços privados: atribuídos para internets privadas (sem conectividade global, não devem ser visíveis nem são encaminhados na internet exterior), FC1918:
  - bloco 192.168.0.0 - 192.168.255.255
  - bloco 172.16.0.0 - 172.31.255.255

### **Endereços para configuração dinâmica do Link-Local:**

Está reservado o bloco 169.254 /16 para comunicação entre estações ligadas ao mesmo meio físico nas seguintes condições:

- Quando um interface não foi configurado com um endereço IP, nem manualmente nem por uma fonte na rede (ex: DHCP) a estação pode configurar automaticamente o interface com um endereço IPv4 de prefixo 169.254 /16

### **Algoritmo:**

1. Gera um endereço aleatório uniformemente distribuído no intervalo [169.254.1.0 , 169.254.254.255]
2. Envia ARP-request com endereço de destino igual ao gerado (probe)
3. Se houver ARP-reply então repete 1. porque há colisão de endereço
4. Senão anuncia endereço gerado através de um ARP-announcement

**Máscara de endereço** Máscara é o padrão que conjugado com o endereço IP, devolve a parte do endereço de rede (ou sub-rede). No endereçamento por classes as máscaras são (default mask):

- Classe A: 11111111.00000000.00000000.00000000  
notação decimal: 255.0.0.0  
notação CIDR: /8
- Classe B: 11111111.11111111.00000000.00000000  
notação decimal: 255.255.0.0  
notação CIDR: /16
- Classe C: 11111111.11111111.11111111.00000000  
notação decimal: 255.255.255.0  
notação CIDR: /24

No endereçamento sem classes (subnetting), as máscaras têm qualquer outro valor permitindo à criação de subnets (subredes) da classe original ou supernets.

- Considere-se o endereço IP 130.1.5.1 é o endereço da estação 5.1 da rede 130.1.0.0 (classe B) considerando máscara por defeito (default mask): 255.255.0.0 ou /16
- Considere-se o endereço IP 130.1.5.1/24 é o endereço da estação 1 da sub-rede 130.1.5.0

### **Sub-redes (Subnetting)**

- permite melhor aproveitamento, organização e gestão do espaço de endereços
- introduz outro nível hierárquico para routing
- Desvantagem: vários endereços não utilizáveis

### **Entrega (forwarding)**

É facilitada pelo endereçamento hierárquico. O endereço IP é: a.b.c.d/m = X.Y (rede.estação):

1. usar máscara para extrair o endereço de rede X
2. procurar entrada que melhor se ajuste a X. Se X é local, entregar no interface X.Y (entrega directa), senão usar X para determinar o próximo salto (next hop);
3. A entrada 0.0.0.0/0 ajusta-se a todos os X

## **Encaminhamento (routing)**

### **a Estático**

- baseado em rotas pré-definidas
- as rotas permanecem fixas
- reduz o tráfego na rede
- esquema simples mas pouco flexível

### **b Dinâmico**

- rotas actualizadas ao longo do tempo
- os routers trocam informação de routing entre si
- esta actualização dinâmica de rotas é obtida através de protocolos específicos de encaminhamento (routing): -RIP, OSPF, BGP, etc
- grande flexibilidade e adaptação (automática) a falhas ou mudanças na configuração de rede
- o tráfego de actualização pode causar sobrecarga na rede

## **Computação dinâmica das rotas:**

- centralizada: cada router, conhecendo a topologia da área, determina o melhor caminho para os possíveis destinos dessa área
- distribuída: cada router envia informação de encaminhamento que conhece aos routers seus vizinhos (redes a que dá acesso)

Princípio utilizado:

- Vector Distância (Vector Distance): e.g. Routing Information Protocol (RIP), IGRP
- Estado das ligações (Link State): e.g. Open Shortest Path First (OSPF)

Caminho de defeito e a rota a seguir caso não exista uma entrada específica na tabela para a rede de destino

- é um caso particular de encaminhamento estático
- a rota por defeito tem prioridade inferior à das outras rotas
- é identificado pelo termo default ou pela rede 0.0.0.0
- permite reduzir a tabela de encaminhamento
- os protocolos de encaminhamento modelam a rede como um grafo e calculam o melhor caminho para um dado destino

## **ARP (Address Resolution Protocol)**

- Mapeia um endereço de rede no endereço MAC (48 bytes) que lhe corresponde
- RFC 826: An Ethernet Address Resolution Protocol
- Operação: local a LAN
- não usa encapsulamento IP
- o EtherType ARP é: 0x0806
- ARP-PDUs: ARP Request e ARP Reply

## **Internet Control Message Protocol**

Funções do Internet Control Message Protocol:

- reporta situações anómalas ocorridas no tratamento de datagramas IP
- usa encapsulamento IP
- em datagramas fragmentados, reage apenas ao primeiro fragmento
- não torna o IP fiável, apenas assinala erros
- o IP usa obrigatoriamente o ICMP

## **Mensagens ICMP**

- echo request, echo reply
- destination unreachable (estação, rede, porta,...)
- redirect (redireccionamento por um melhor caminho)
- TTL exceeded of datagram lifetime (TTL atingiu 0)
- timestamp and reply (responde c/ estampilha temporal)
- parameter unintelligible
- address mask request and reply
- router advertisement and solicitation
- information request and reply

# **Lanspro**

## **Tecnologias LAN**

### **LAN de Acesso Partilhado (shared LAN)**

- as estações disputam a largura de banda existente
- a transmissão no meio é difundida por todas as estações
- por definição, uma LAN e um domínio de entrega directa de tramas entre estações, designado por domínio de colisão.
- as estações recebem a trama com um atraso mínimo
- o método de acesso partilhado varia com a topologia:
- acesso contencioso: barramento e estrela com hub-repetidor
- acesso ordenado: anel e barramento com testemunho (token)
- o desempenho de uma LAN varia com o tipo de aplicações e com o número de estações interligadas

### **LAN Comutada (switched LAN)**

- é uma geração recente de LAN
- é introduzido um comutador para criar e isolar sub-domínios de colisão dentro de um domínio de entrega directa
- o comutador de LAN filtra a difusão em função dos endereços da estação de destino das tramas (função bridging)
- Vantagens :
  - maior largura de banda agregada por redução das colisões
  - consequentemente, melhor desempenho

### **LAN Virtual Comutada (switched VLAN)**

- as estações ligam directamente ao comutador
- certos comutadores têm a capacidade de associar conjuntos de portas em diferentes sub-domínios de colisão constituindo LANs virtuais
- as LAN virtuais não existem externamente ao comutador, mas são construídas internamente por configuração do comutador
- o princípio de funcionamento é idêntico ao da LAN Comutada
- as estações ligam-se ao comutador normalmente em ponto-a-ponto full-duplex

### **Protocolos:**

- O nível de ligação é dividido em 2 sub-níveis
- Logical Link Control (LLC) (IEEE 802.2)
- funções similares ao HDLC
- endereço de nível lógico (LSAP - LLC Service Access Point)
- pode suportar primitivas orientadas ou não a conexão
- Medium Access Control (MAC)
- varia com o tipo de LAN, i.e. cada LAN tem um sub-nível MAC próprio
- determina a sequência de bits que é posta no meio de transmissão
- determina quem acede ao meio

### **Encapsulamento**

- Um LLC protocol data unit (L-PDU) contém informação de controlo e dados que a entidade LLC transmissora envia à entidade LLC receptora
- Na transmissão, o sub-nível MAC encapsula cada L-PDU, adicionando o seu próprio header (cabecalho) e trailer (terminação)
- Na recepção, o sub-nível MAC remove o header e trailer de cada MAC-PDU e entrega o LPDU ao sub-nível superior.

### **Ethernet: Definição da trama (MAC)**

Características genéricas:

- Preamble: 7 octetos [1010..10] para sincronismo de bit
- Start of Frame Delimiter: 1 oct [10101011] padrão sincronismo de trama
- Endereços de Destino e de Origem: 6 octetos (endereço ethernet)
- Tipo/Compr: 2 octetos, definem o protocolo nos Dados
- Dados: 46 a 1500 octetos, contêm o PDU do protocolo encapsulado
- FCS: 4 octetos, Frame Check Sequence para controlo de erros
- Endereços: endereço da estação emissora e receptora / broadcast

### **Campo Tipo/Comprimento**

- se valor ! 0x05DC (1500)
- é interpretado como comprimento do campo de dados e o campo de dados contém a camada de ligação LLC
- a trama é designada IEEE 802.3 Ethernet item se valor > 0x0600 (1536)
- é interpretado como ethertype (tipo de protocolo)
- valor identifica o protocolo contido no campo de dados
- trama é designada Ethernet II (RFC 894)

## **Ethernet**

Características genéricas:

- trama máxima: 1518 octetos;
- trama mínima: 64 octetos
- MTU: maximum transfer unit e 1500 octetos
- entrega segundo o paradigma do melhor-esforço
- método de acesso ao meio: CSMA/CD (carrier sense multiple access/collision detection)

### **Deteção de colisão**

- baseada no tempo de ida-e-volta (round trip) de uma trama
- é necessário garantir um tamanho mínimo de trama que assegure a detecção de colisão no pior caso possível
- Jamming: Para garantir que outras estações se apercebam da ocorrência de colisão, a que detecta deve forçar uma transmissão de alguns bits antes de parar de transmitir, i.e. reforçar a colisão para garantir que ela é detectada por todos os intervenientes.
- No ethernet, a trama de jam é designada de jam signal

**Carrier Sense Multiple Access/Collision Detection (CSMA/CD)** Acesso ao meio: se meio está activo (detecção de portadora), então acesso ao meio (aguarda até meio estar livre), senão transmite(trama) ou detecta (tx e lança processo de detecção). Se detecta = colisão (detecção de colisão), então transmite(jam) (aborta transmissão, reforça colisão):

- $K := K + 1$ ; (conta as colisões)
- espera(K); (espera tempo aleatório, backoff)
- acesso ao meio (tenta novamente o acesso)

senão  $K := 0$ .

Após transmissão de uma trama mais do que uma estação pode estar à espera de uma oportunidade de transmissão. Consequência: Se houver mais do que uma estação a aguardar o fim de uma transmissão, quando tal suceder, a colisão é certa. Para reduzir colisões: Após uma colisão, as estações envolvidas esperam (retraem) um tempo aleatório  $n \cdot tp$  (que, com alguma probabilidade será diferente para cada uma) antes de acederem novamente ao meio para retransmitir.

Algoritmo de retracção exponencial binária truncada (truncated binary exponential back-off algorithm):

- espera(K)
- retorna um tempo de atraso  $N \times tp$
- $N$  é um inteiro aleatório uniformemente distribuído no intervalo  $[0, 2^K - 1]$
- $K$  é o número de colisões anteriores
- Valor máximo  $K_{max} = 16$  (16 colisões consecutivas)

## **Ethernet**

Características genéricas:

- ritmo de transmissão: 10 Mbps, 100 ...
- meio de transmissão: UTP, cabo coaxial, fibra
- 10BASE-5; 10BASE-2; 10BASE-T; 10BASE-F



### **Fast Ethernet (IEEE 802.3u)**

Características genéricas:

- ritmo de transmissão: 100 Mbps
- meio de transmissão: UTP ou fibra óptica
- usa mesmo formato de trama MAC, varia o nível físico
- opção mais usada: 100BASE-TX (cerca 95% das 100BASE-T)

## **Módulo 2**

Os protocolos de ligação lógica ou ligação de dados constituem o primeiro nível de troca ordenada, controlada e fiável de dados entre sistemas interligados por meio de uma ligação física.

**Nível físico:** envio de um sinal sobre um meio de transmissão, sincronismo (nível do bit), codificação de linha, modulação do sinal, multiplexagem física, interface com o meio.

**Nível de ligação lógica** estrutura das tramas, configuração e acesso à linha, endereçamento, controlo de fluxo, controlo de erros, gestão da ligação (controlo da troca de dados).

**Definição da trama:** formato da unidade de dados (Protocol data unit - PDU)

**Configuração da linha:** considera a topologia, define a disciplina de acesso à linha e a sua duplexidade

**Endereçamento:** identifica os interfaces das estações que podem enviar e receber tramas

**Controlo de fluxo:** regula a cadência de tramas enviadas

**Controlo de erros:** detecta erros de transmissão e executa procedimentos de recuperação

**Gestão da ligação:** define como se faz o estabelecimento, a manutenção e a terminação da associação lógica.

### **Erros**

Valores do campo do endereço:

0001 = A  
0010 = B  
0011 = C  
0100 = D  
...

Valores e significado do campo de tipo:

100 = trama-I  
001 = trama-ACK (confirma)  
010 = trama-NAK (rejeita)  
001 = trama-Poll (cede controlo)  
000 = trama-Select (estabelece)  
011 = trama-Fin (termina)

### **Tipo de estações**

- Primária: faz gestão da ligação (1:n) (tramas comando)
- Secundária: sob controlo da primária (tramas resposta)
- Mista: partilha o controlo da ligação com outra do mesmo tipo (pode comportar-se como primária ou como secundária)

Fases de uma ligação lógica:

1. Estabelecimento da ligação: trama-Sel : noReply, trama-ACK, ...
2. Transferência de dados: tramas-I : tramas-ACK, trama-NAK, ...
3. Terminação: trama-Fin : trama-ACK, noReply, ...

Em geral, estas fases de controlo estão presentes em protocolos de linha quer PP quer MP.

**Ligações Ponto-a-Ponto (PP)** Em geral, são ligações com um canal (circuito ou banda) para transmissão em cada sentido. Por usarem canal dedicado (não partilhado), a ligação lógica pode efectuar-se imediatamente porque o canal está naturalmente adquirido.

**Ligações Multiponto (MP)** Em geral, são ligações com um único canal de transmissão que é partilhado por várias estações. A ligação lógica tem de ser precedida pela aquisição do canal através de um protocolo de acesso ao meio (protocolo MAC).

#### **Tipos de protocolos de acesso para ligações MP**

- Poll/Select: a estação primária passa o controlo para uma estação secundária (poll) ficando esta autorizada a seleccionar outra estação para enviar dados.
- Contencioso: todas as estações são primárias e secundárias (mistas) podendo duas ou mais transmitir simultaneamente dando origem a colisões de tramas que terão de ser posteriormente retransmitidas. Existe contenção para a aquisição do meio.

## **Redes l2**

Uma rede é caracterizada por:

1. topologia de interligação entre os seus elementos:
  - a Linhas
  - b Comutadores (DCE)
  - c Equipamentos terminais (estações, DTE)
2. tecnologia usada na transmissão: eléctrica, óptica, wireless, infravermelho, etc.
3. tecnologia usada na comutação: comutação de pacotes, de circuito, de célula, etc.
4. serviço prestado: datagramas, circuitos virtuais (best-effort, QoS, tempo real, etc.)
5. pilha de protocolos usados

#### **WAN, MAN, LAN, PAN, BAN**

Designação depende da área geográfica coberta:

- **WAN** (wide area networks): área alargada, acima das dezenas de quilómetros
- **MAN** (metropolitan area networks): cobertura de uma área metropolitana, até poucas dezenas de quilómetros
- **LAN** (local areas networks): área local, até poucas centenas de metros
- **PAN** (personal area networks): área pessoal, até poucas dezenas de metros
- **BAN** (body area networks): até uma dezena de metros
- condicionam o tipo de protocolos que podem ser usados

#### **Redes alargadas, WAN (Wide Area Networks)**

- linhas ponto-a-ponto
- nós de acesso à rede
- comutadores de tráfego
- longas distâncias

### **Redes locais, LAN (Local Area Networks)**

- linhas e acessos multiponto, ponto-a-ponto
- pequenas distâncias
- acesso directo à rede

As WAN são redes ponto-a-ponto, store-and-forward, o número de circuitos,  $c$ , necessários para a interligação total de  $N$  estações, seria:  $c = (N(N-1))/2$ . Para reduzir as interligações, utilizam-se comutadores de tráfego interligados por um (menor) número de circuitos ponto-a-ponto de alta capacidade multiplexando tráfego. Os circuitos de acesso à WAN são ponto-a-ponto e podem usar diferentes protocolos de acesso tipologias WAN.

### **Tecnologias WAN**

Rede store-and-forward de datagramas:

- datagramas da mesma associação seguem rotas independentes (são comutados independentemente)
- datagramas podem chegar fora da ordem de partida
- Exemplo: associação entre estações A e G  
ordem de chegada dos datagramas: 1,2,3,5,4,6

Rede store-and-forward de circuitos virtuais:

- datagramas seguem a mesma rota
- datagramas chegam sempre pela ordem de partida
- Exemplo: associação entre estações B e P por circuito virtual

### **Objectivos das LAN**

- Acesso e partilha de recursos locais:
- servidores, equipamentos especializados, etc
- Comunicação para cooperação entre processos
- computação distribuída
- Acesso a redes alargadas ou internets
- interface partilhada para ligação a redes externas

### **Características protocolares das LAN**

- Elevadas velocidades de transmissão
- mega (10<sup>6</sup>), giga (10<sup>9</sup>) bps ...
- Protocolo de controlo de acesso ao meio (MAC)
- barramentos
- configuração em estrela
- anéis de multi-acesso
- Protocolos de acesso rápidos
- admite acesso contencioso (possibilidade de colisões e mecanismos de tratamento)
- Utilização dos recursos
- baixo factor de utilização conduz a melhor desempenho
- Desempenho "aceitável" para diferentes tipos de tráfego
- tempo real
- transaccional
- regular
- Acesso democrático oferecido a todos os sistemas

- Fácil instalação, configuração e interligação
- tendência para diferenciação e priorização de tráfego dos users

### **Outras características das LAN**

- Utilização generalizada: permitem a interligação de sistemas (computadores, sistemas de voz e video) em áreas limitadas
- ligação de um elevado número de sistemas terminais
- em geral constituem redes privadas
- Tecnologia normalizada e de baixo custo.

### **Elementos duma rede:**

- estações possuem interfaces de rede [NIC, Network Interface Cards]
- rede possui equipamentos de interligação [repetidores, bridges, switches, routers, etc.]
- equipamento interligado por cablagem ou wireless [cabo coaxial, UTP, fibra óptica, etc.]

### **Topologias LAN mais frequentes**

- barramento, anel, estrela e árvore
- usam meios de transmissão variados: UTP, cabo coaxial, fibra óptica
- podem usar repetidores para extensão do meio de transmissão e seu isolamento físico/eléctrico
- utilização de equipamento específico para redução de colisões e melhorar desempenho (bridge, switch)

## **Funções principais de um router**

1. Escolha do melhor caminho (routing):
  - Consiste na construção da sua própria tabela de encaminhamento (routing table) que traduz o próximo salto do melhor caminho de um PDU para o seu destino
  - A tabela pode ser populada estática ou dinamicamente através de protocolos de encaminhamento executados entre routers
2. Entrega (forwarding):
  - Consiste na consulta da tabela de encaminhamento para decidir para onde enviar os PDU recebidos, i.e., o próximo salto: endereço de entrega/interface de saída

### **Características de um router**

- Opera ao nível da camada protocolar de rede
- Dispõe de múltiplos interfaces de rede
- ex: interliga diferentes redes IP e assegura a sua interconectividade
- cada interface tem uma identificação (endereço) de rede distinta

## Wireless

### Medium Access Control (MAC) em redes wireless:

Vários nodos partilham o mesmo canal de comunicação e têm dados para transmitir. Em caso de transmissões simultâneas → colisão e corrupção dos dados e corrupção dos dados transmitidos. Controlar o acesso ao meio em função do Protocolo MAC.

**MAC em redes wireless** Esquemas comuns para Controlo de Acesso ao Meio em redes wireless:

- Sem contenção → alocar parte do canal para cada nodo:
  - FDMA - Dividir o espectro do sinal em várias frequências;
  - TDMA - Dividir o espectro do sinal no tempo;
  - CDMA - Dividir o espectro do sinal com um código padrão.
- Com contenção → alocar o canal a pedido:
  - ALOHA;
  - CSMA.

### Frequency Division Multiple Access (FDMA)

Ideia básica:

1. Dividir o espectro em gamas de frequências, chamadas canais
2. Atribuir um ou mais canais a cada nodo
3. Cada nodo transmite/recebe no(s) canal(ais) atribuído(s)

Vantagens: Simples e eficiente para poucos nodos

Desvantagens: Canais dedicados eventualmente não usados; pouca adaptabilidade a alterações no número de nodos

### Time Division Multiple Access (TDMA)

Ideia básica:

1. Um canal dividido em intervalos de tempo chamados time slots
2. Atribuir um ou mais time slots a cada nodo
3. Cada nodo transmite/recebe no(s) time slot(s) atribuído(s)

Vantagens: bom para garantir requisitos temporais

Desvantagens: requer sincronização temporal, pouca adaptabilidade a alterações no número de nodos

### ALOHA

Inventado na University of Hawaii.

#### Basic ALOHA:

- Quando um nodo tem algo para transmitir, transmite;
- Transmissor espera por um ACK;
- Se não existir ACK, espera um tempo aleatório e retransmite.
- Slotted ALOHA:
- Divide o tempo em slots (não atribuídos a nenhum nodo em particular);
- Transmissões só podem começar no início dos time slots.

Vantagens: Sistema simples, sem pré-alocação e sem necessidades de sincronização

Desvantagens: Colisões tornam-se um problema → muito baixa utilização, slotted ALOHA reduz o problema mas não resolve (Util. Max. 18 para 36%)

### **Carrier Sense Multiple Access (CSMA)**

-Porque não escutar o meio antes de transmitir ? Isso evitaria algumas colisões... Ideia básica do CSMA:

1. Antes de transmitir, escutar o meio.
2. Se meio ocupado:
  - Esperar até que fique livre (persistente)
  - Tentar mais tarde (não-persistente)
3. Quando o canal esta livre:
  - Transmitir imediatamente ?
  - Esperar um período de tempo aleatório ?
  - Usando janela de contenção
  - Se mesmo assim existirem colisões ...
  - Como e difícil detectar colisões em redes wireless:
  - Usar ACKs

Vantagens: canal alocado conforme necessário, não é necessário sincronização, bom desempenho (Max. utilização do canal 80% (sem hidden nodes)).

Desvantagens: tempo de espera aleatório, alguns fenómenos em redes wireless podem influenciar o desempenho: hidden nodes, exposed nodes.