

## Comunicação de dados e Redes de computadores

- a informação processada por computadores é representada por meio de símbolos digitais (binário)
- a transmissão é efectuada sob a forma de sinais
- num meio existem canais para transmissão de informação, que constituem cada qual um recurso com uma determinada capacidade de transmissão
- para a comunicação de dados, estes são organizados em blocos (tramas)
- para a comunicação entre sistemas ligados em rede recorrem-se a pacotes

BURSTY → Padrão de tráfego irregular e com débito variável

- Capacidade de um canal →  $C(\text{bit/s})$  : limite superior de débito binário
- Débito binário →  $R(\text{bit/s})$  - mede símbolos binários transmitidos por segundo.
- Tempo de transmissão →  $T_f = \frac{L(\text{bit})}{R(\text{Data Rate})}$
- Tempo de Propagação →  $T_p = \frac{d}{v} = d \cdot \alpha$

$$\alpha = T_p / T_f$$

- Stop and wait →  $U = 1 / (1 + 2\alpha)$

- Sliding (Stop & Go) →  $w$  - tamanho da janela de transmissão

$$\begin{cases} \text{se } w \gg 1 + 2\alpha : U = 1 \\ \text{se } w < 1 + 2\alpha : U = w / (1 + 2\alpha) \end{cases}$$

- Stop and wait ARQ -  $P_e$  = probabilidade de um erro de transmissão

$$U = (1 - P_e) / (1 + 2\alpha)$$

- Go-Back-N (ARQ) →  $w = 2^k - 1$   $\begin{cases} \text{se } w \gg 1 + 2\alpha : U = (1 - P_e) / (1 + 2\alpha P_e) \\ \text{se } w < 1 + 2\alpha : U = (w(1 - P_e)) / ((1 + 2\alpha)(1 - P_e + wP_e)) \end{cases}$

- Selecting Repeat ARQ →  $w = 2^k - 1$

$$\begin{cases} \text{se } w \gg 1 + 2\alpha : U = 1 - P_e \\ \text{se } w < 1 + 2\alpha : U = (w(1 - P_e)) / (1 + 2\alpha) \end{cases}$$

## \* LAN's sem fios

BSS → "Basic Service Set": conjunto de estações que usam o mesmo protocolo

Ligações através de Access Point ("Bridge")

ESS → "Extended Service Set": ligações de 2 ou + BSS

\* Mobilidade → sem transição: dentro do mesmo BSS

→ transição entre BSS: dentro do mesmo ESS

→ transição entre ESS

× protocolo de acesso ao meio

→ DCF = "Distributed Coordination ~~Function~~ function"

CSMA/CA (collision avoidance)

→ PCF = "Point Coordination function"

Polling centralizado; acesso sem contensão; usa serviços DCF

→ DCF → CSMA → "listen before talk"

↳ Protocolos distintos dos CSMA's anteriores

× Bridges → simples → liga LAN's idênticas → mesmo nível físico e MAC

→ inteligentes → liga diferentes LAN's e converte entre diferentes MAC

→ isolam domínios de colisão

→ segmentação da rede melhora fidelidade, desempenho e segurança

→ Encaminhamento → fixo = é selecionada uma rota por cada par de endereços MAC

→ source routing = as tramas incluem a rota completa, desde a estação origem até à estação destino.

→ bridging transparente = bridges são invisíveis para as estações

## 4. Arquitetura de redes

Permite descrever a organização e o comportamento dos seus sistemas. Tem estrutura hierárquica, a Arquitetura em Camadas:

- camada inferior oferece um serviço à camada superior, através da interface

- entidades de uma mesma camada (peer entities) mas de diferentes sistemas comunicam através de um protocolo que define uma interface (peer interface)

OSI (modelo arquitetónico de referência)

- organização funcional em sete camadas

- serviços da camada N são oferecidos a entidades N+1 em pontos de acesso - (N)-SAP

→ 1 N-SAP → da entidade N → da entidade (N+1)

→ (N)-SAP constitui a interface lógica e é identificado por um endereço - (N)

- uma conexão é unicamente identificada na interface pelo par (SAP<sub>i</sub>, CEP<sub>i</sub>)  
connection end point

- As unidades de dados transferidas na interface (N1) ↔ N, designam-se (N)-SDU, *service data unit*
- entre entidades protocolares de camada N → (N)-PDU → *protocol data unit*

## LAN's

- vários atributos que os distinguem das WAN's
  - redes privadas, ampla gama de débitos, topologias simples com recurso a diversos meios de ~~transmissão~~ transmissão.
- a camada de ligação de dados OSI é dividida em (IEEE 802)
  - LLC (logical link control) e MAC (media access control)
    - = lógica de acesso ao meio: centralizada ou distribuída (+ eficiente)
    - = técnicas de acesso ao meio: síncronas ou assíncronas

## Algos. Assíncronos:

- Round Robin - distribuído (Token Bus, Token Ring, FDDI)
- Reserve (DQDB)
- Contentão (CSMA/CD, CSMA/CA)

## Endereços MAC - endereços físicos (ou de hardware)

tipos: Unicast, Multicast ou Broadcast

## Topologias: BUS, TREE, RING, STAR

- bus & tree: ligação física full-duplex; funcionamento half-duplex
- estrela: elemento central p.d. ser
  - repetidor múltiplex (hub) → repete sinal de uma porta para as outras (half-duplex)
  - comutador → comuta tramas entre portas (full-duplex)
- anel: constituído por repetidores, aos quais se ligam estações. percurso fechado para ~~passar~~ o sinal resultando num atraso (latência) de propagação no meio.
- Star ring: soluciona alguns problemas do Anel Geral

## \* Protocolo e Sistemas

ALOHA - quando tem trama, transmite sempre

- & "talk when you please" - confirma tramas correctamente transmitidas (ACK)
- sem ACK → retransmissão com intervalo de espera aleatório
- período de vulnerabilidade  $[T - T_f, T_f]$

Slotted ALOHA  $\rightarrow$  estações sincronizam transmissões pelo início de frame slots  
 $\rightarrow$  colisão nula ou total  
 $\rightarrow$  período de vulnerabilidade  $- T_f$

CSMA "listen before talk"

- $\rightarrow$  Recomendados se  $T_p \ll T_f \rightarrow a \ll 1$
- $\rightarrow$  se meio livre: ~~se~~ transmite e espera ACK durante round trip time.
- $\rightarrow$  sem ACK (ALOHA)
- $\rightarrow$  eficiência depende de  $a$
- $\rightarrow$  variantes: persistente  $\rightarrow$  se meio ocupado, espera até ficar livre e transmite
- non-persistent  $\rightarrow$  se ocupado, espera intervalo de tempo aleatório e repete algoritmo
- p-persistent  $\rightarrow$  mais complexo com  $p$  associado à probabilidade  $p$  de transmissão

CSMA/CD "collision detection"

- $\rightarrow$  se detectam colisão durante slot de contensão - inicia procedimento ~~frase~~
- $\rightarrow$  se não detectam continua transmissão até o fim
- $\rightarrow$  necessário impor  $T_f > 2 \cdot T_p \rightarrow a \leq 0,15$

Token Ring

transmissão na rede de uma bandeira de controle (token) que concede autorização de acesso ao meio

$\rightarrow$  variantes: single token

multiple token (PDDT) - possibilidade de existirem múltiplos tokens na rede mas apenas um livre

single packet - não é possível libertar o token depois da remoção completa da frame anterior

$\rightarrow$  se  $a < 1$ : single token  $\leftrightarrow$  multiple token

$\rightarrow$  inserção de novo token livre quando a estação após completar a transmissão da frame tiver removido o respectivo cabeçalho (tokens ocupado)

$\rightarrow$  "early token release" (com  $a > 1$  para uma ~~90~~ elevando de ~~frases~~ frames, o protocolo torna-se ineficiente)  $\rightarrow$  token libertado logo após o envio de frame

Token Bus  $\rightarrow$  a cada estação é atribuído uma identificação lógica  
 $\rightarrow$  gestão da rede muito complexa.

## filas de espera

$A/B/m$   
 ↓  
 densidade de probabilidade de tempo de chegada  
 ↓  
 densidade de probabilidade de tempo de serviço  
 ↓  
 número de servidores

ou B pode ser  
 M - densidade de prob. expon  
 D - todos com o mesmo valor  
 G - geral (arbitrário)

→ modelo usado:  $M/M/1$

$$p_n(t) = \frac{(\lambda t)^n}{n!} e^{-\lambda t}$$

(probabilidade de chegada de  $n$  utilizadores no intervalo de tempo  $t$ )  $\lambda$  → taxa chegada

$$\lambda p_k = \mu p_{k+1}$$

$$p_k = \rho^k p_0$$

$$\rho = \frac{\lambda}{\mu} \text{ (intensidade de tráfego) } (\leq 1)$$

$$\sum_{k=0}^{\infty} \rho^k p_0 = 1, \sum_{k=0}^{\infty} \rho^k = \frac{1}{1-\rho} \Rightarrow p_0 = 1-\rho$$

$$\Rightarrow p_k = (1-\rho) \rho^k$$

$$N = \sum_{k=0}^{\infty} k p_k = (1-\rho) \sum_{k=0}^{\infty} k \rho^k \Rightarrow N = \frac{\rho}{1-\rho}$$

→ número médio de utilizadores no sistema

$$T = \frac{N}{\lambda} = \frac{\rho/\lambda}{1-\rho} = \frac{1/\mu}{1-\rho} = \frac{1}{\mu-\lambda} \rightarrow \text{média de tempo entre chegada e partida (incluindo o tempo de serviço)}$$

$$N = \rho + \rho^2 \frac{2}{2(1-\rho)}$$

para os nossos problemas (pacotes)  $T = \frac{1}{\mu - \lambda}$

$\mu e^{-\lambda_i}$   
 taxa de serviço (pacotes/sec)



Endereçamento IP - Identifica uma interface de rede (um endereço por interface) e é estruturado em duas partes:   
 netid: identificador de rede   
 hostid: identificador da máquina (host, router)

IPv4 → 32 bits

A atribuição de hostid é da responsabilidade do Administrador de rede.

- All 0's: subrede identificada por <netid>

- All 1's: endereço de broadcast na subrede identificada por <netid>

### Classful Addressing

Classe A: 126 redes: netid = 1 a 126 // Classe A: 

0	netid	hostid
---	-------	--------

- netid = all 0's: reservado

- netid = 127: interface de loopback

- netid = 10: endereços privados

Classe B: netid = 128.0 a 191.255 // Classe B: 

10	netid	hostid
----	-------	--------

netid = 172.16 a 172.31: endereços privados

Classe C: netid = 192.0.0 a 233.255.255 // Classe C: 

1110	netid	hostid
------	-------	--------

netid = 192.168.0 a 192.168.255: endereços privados.

Classe D: endereços multicast // Classe D: 

11110	multicast group ID
-------	--------------------

Classe E: gama reservada para uso futuro. // Classe E: 

111110	(reservado para uso futuro)
--------	-----------------------------

No entanto apresenta limitações graves, daí que se criou o CIDR, onde o identificador (prefixo) de uma rede (netid) pode ter um número qualquer de bits dentro da gama possível (entre 13 e 27 bits). O endereço é representado na notação habitual, seguido de /n, em que n é o número de bits do prefixo comum a todas as máquinas da rede, adoptando-se assim uma atribuição hierárquica de endereços.

### Endereços especiais

Endereço	netid	hostid	Source/Destination
Endereço de uma rede	Específico	all 0s	Não aplicável
DBA	Específico	all 1s	Destination
LBA	all 1s	all 1s	Destination
Este host nesta rede	all 0s	all 0s	Source
Host específico nesta rede	all 0s	Específico	Destination
Loopback address	127	qualquer	Destination

DBA identifica todos os hosts numa rede específica (netid), pelo que os pacotes com este endereço de destino devem ser encaminhados pelos routers no percurso.

LBA é o endereço de broadcast na rede onde o pacote é gerado. Pacotes com este endereço de destino não são encaminhados para fora desta rede, sendo ignorados pelo routers respectivos.

## Testar no computador (Interface de loopback)

- datagrama não é passado à carta de rede;
- netid → 127.0.0.0;
- endereço IP da interface → 127.0.0.1 (por convenção)
- nome → localhost

O datagrama enviado para localhost não é visto na rede, permitindo que um cliente e um servidor na mesma máquina comuniquem usando TCP/IP

Dividir rede em subredes: Parte correspondente ao endereço de um host passa a ter o significado de identificador de subrede (subnetid) + identificador de host (hostid)

Ex: LAN/VLAN associada a uma subrede, todos PCs têm o mesmo netid.

Do exterior é vista como única rede, devido a netid. Os routers da empresa fazem encaminhamento interno usando informação de subrede, que identifica bits que devem ser interpretados como: netid + subnetid.

Endereço IP	1100 0000. 1110 0100. 0001 0001. 0011 1001	192.228.17.57
Subnet Mask	1111 1111. 1111 1111. 1111 1111. 1110 0000	255.255.255.224
Endereço IP AND Subnet Mask	1100 0000. 1110 0100. 0001 0001. 0010 0000	192.228.17.32
Subnet number	1100 0000. 1110 0100. 0001 0001. 001	4
Host number	0000 0000. 0000 0000. 0000 0000. 0001 1001	25

Classe A	1111 1111. 0000 0000. 0000 0000. 0000 0000	DEFAULT	(255.0.0.0)
	1111 1111. 1100 0000. 0000 0000. 0000 0000	Exemplo	(255.192.0.0)
Classe B	1111 1111. 1111 1111. 0000 0000. 0000 0000	DEFAULT	(255.255.0.0)
	1111 1111. 1111 1111. 1111 1000. 0000 0000	Exemplo	(255.255.248.0)



## Redes

Comunicação entre computadores ligados em rede requer um conjunto diversificado de funções e a cooperação entre diferentes tipos de sistemas.

- Finais ou Terminais (hosts) onde vivem as aplicações dos utilizadores e que usam os serviços disponibilizados pela rede para comunicar.
- Intermediários, que fazem parte da infraestrutura da rede, de que são exemplo routers e switches.

A informação é representada por meio de símbolos e sinais.

- Computadores: símbolos digitais (binários)
- A revolução digital permitiu a convergência entre computadores e comunicações.

Sistema de Transmissão: - Transfere sinais que representam sequências de bits.

- Sinais podem ser: analógicos ou digitais.
- Canal é recurso com capacidade de transmissão associada.

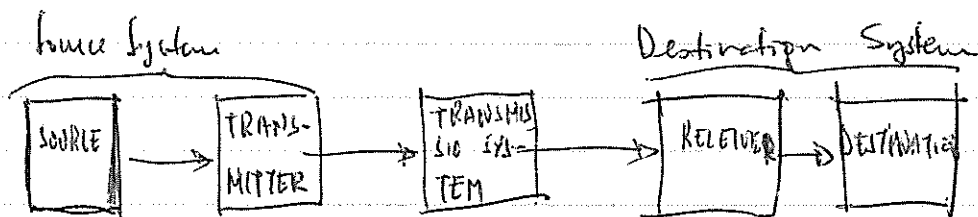
Fonte - gera a info a transmitir.

Emissor - converte os dados em sinais adequados ao sistema de transmissão.

Sistema de Transmissão - transporta os dados sob forma de sinais.

Receptor - converte os sinais recebidos em dados.

Destino - processa os dados recebidos.



Ligação Ponto-a-Ponto: Canal dedicado entre dois sistemas

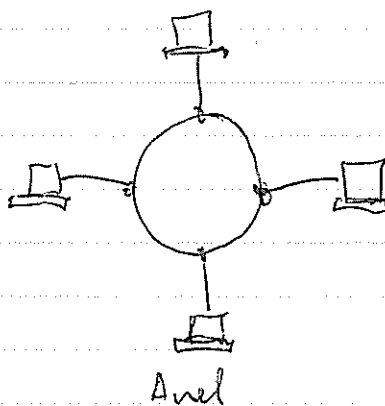
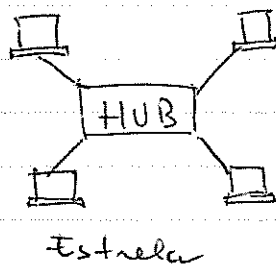
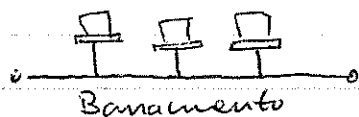
Ligação Multiponto: Canal partilhado por múltiplos sistemas

Frame - Unidade de dados trocada entre sistemas adjacentes (frame), transferidas através de uma ligação de dados (suportada numa ligação física). São delimitadas por cabeçalho (header) e terminados (trailer), que encapsulam um campo de dados (payload), e permitem executar funções suportadas pela ligação.



Comutação de Circuitos: Baseada em atribuição estática de recursos.

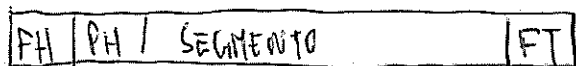
Comutação de Pacotes: Baseada na partilha dinâmica de recursos.



HUB - difunde nas portas de saída o sinal recebido em cada porta de entrada. (nível físico)

Comutador Central - transfere dados entre portas de entrada e de saída, de acordo com o conteúdo de uma tabela de comutação ( $\neq$  HUB)

Rede em Malha - Liga vários computadores.



- WAN →
- cobertura de grandes áreas geográficas
  - geridas por operadores de telecomunicações
  - Recursos de transmissão podem ser dedicados ou partilhados
  - Diversas tecnologias de transporte (modos de transferência)

LAN - > cobre uma área geográfica limitada (edifícios, campus)

→ Privada, todos os recursos pertencem à mesma entidade

→ Débitos Elevados (Mbit/s, Gbit/s)

→ Inicialmente usavam-se bus ou ring, actualmente usa-se soluções baseadas em comutadores.

funções a suportar numa rede:

+ Utilização eficiente do sistema de transmissão

+ Sincronização

→ Controlo de fluxo

+ Segurança

+ Endereçamento e Encaminhamento

+ Recuperação de anomalias

**PROTOCOLOS:** Conjunto de regras e formatos que regulam a comunicação entre entidades homólogas (peer identities) que residem em sistemas diferentes. A execução de um protocolo permite fornecer um serviço através de uma interface.

Um protocolo inclui elementos de natureza sintática, semântica e temporal. Deve definir a sintaxe (formato) e a semântica (significado) das mensagens, fornecer mecanismos de sincronização e especificar as acções a executar quando da ocorrência de acontecimentos.

Endereço que identifica computadores numa subrede: Endereço IP

**PILHA PROTOCOLAR TCP/IP**

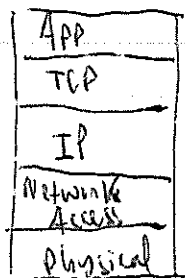
» Aplicações (HTTP, FTP, telnet)

» Transporte [TCP] (transmissão fiável e ordenada de dados, extremo-a-extremo)

» Internet [IP] (Encaminhamento através de redes interligadas, implementado em hosts e routers)

» Acesso à rede (Acesso à rede e comunicação entre hosts/routers ligados à mesma)

» Física (Parâmetros eléctricos e mecânicos do ligamento físico ao meio de transmissão)



## TRANSMISSÃO DE DADOS

→ Assigura a ligação física entre emissor e receptor.

### Meios de Transmissão:

Guiados: par de cobre entrançado, coaxial, fibra óptica  
Não Guiados: espaço livre

Modo de Comunicação: Simplex - unidireccional (televisão)

Half-Duplex - bidireccional alternada (rádio polícia)

Full-Duplex - bidireccional simultânea (telefone)

Comprimento de onda ( $\lambda$ ) é a distância correspondente a um ciclo de um sinal que se propaga no meio. Sendo  $T$  o período,  $f$  a frequência e  $v$  a velocidade de propagação:

$$\lambda = vT \quad \lambda f = v$$

Velocidade de propagação da luz no espaço livre:  $c = 3 \times 10^8 \text{ ms}^{-1}$

Através de propagação típicos:	Espaço Livre (1/e)	$3,3 \mu\text{s/km}$
	Cobre	$5 \mu\text{s/km}$
	Cabo Coaxial	$4 \mu\text{s/km}$
	Fibra Óptica	$5 \mu\text{s/km}$

→ Sinal periódico é expansível em série de Fourier. Não-periódico, transformado de Fourier.

→ Espectro de um sinal é a gama de frequências do sinal, a largura de banda ( $w$ ) é a largura do espectro ( $w = f_{\text{max}} - f_{\text{min}}$ ) e a largura de banda efectiva é a que contém a maior parte da energia do sinal.

Transmissão Digital, Características: Transmissão de bits que transportam informação  
Sinal é atenuado e integridade afectada por ruído  
Usa repetidores (Recebem, Regeneram e Retransmitem)

Transmissão Digital, Vantagens: Benefícios da tecnologia digital (baixo custo, comunicações digitais)  
Maior imunidade ao ruído e à distorção  
Exploração de técnicas de multiplexagem no tempo  
Utiliza técnicas de processamento digital de sinais  
Segurança e Privacidade

Sinal Digital exige largura de banda infinita, se tiver como objectivo preservar a forma dos impulsos.

Relação Débito Binário / Largura de Banda

→ Quanto maior for o débito binário, menor é a largura de banda efectiva do sinal

→ Quanto maior for a largura de banda do canal, menor é o débito binário possível.

Distorção → Amplitude: Potência do sinal diminui com distância (atenuação), sendo que depende das características do meio, variando exponencialmente com a distância, e aumenta com a frequência (distorção de amplitude). A potência do sinal recebido deve ser suficiente para que este seja detectado e superior ao ruído para ser detectado sem erros. O sinal é regenerado com recurso a repetidores.

Fase (Ataço): É a variação da velocidade de propagação com a frequência. Se o desvio de fase variar linearmente com a frequência, o sinal não é distorcido mas simplesmente atrasado. É uma característica de meios guiados.

Ruído

Térmico (Branco)

$$N_0 = kT \quad (W/Hz)$$

$$N = kT B \quad (W, dBW)$$

Intermodulação

Mistura de sinais de  $f_1$  e  $f_2$  pode originar  $nf_1 \pm mf_2$ . Alguns desses componentes podem interferir com sinais úteis. A causa é a não linearidade do sistema de transmissão.

Diafonia (Crosstalk)

Alojamento indesejado entre canais.

Impulsivo

Impulsos irregulares (bursts), com grande amplitude e pequena duração. As causas são interferência electro-magnética, descargas atmosféricas, arcos de contactos, etc.

Meios de Transmissão Guiados: o par de cobre entrançado, cabo coaxial, fibra óptica

- \* as características do meio têm impacto significativo sobre a qualidade da transmissão.

Meios de Transmissão não guiados: espaço livre (atmosfera)

- transmissão sobre portadora de rádio frequência
- afectados por problemas de propagação.
- espectro electromagnético limitado
- usamos planejam freq. para reduzir interferência.

Cabo entrançado, aplicações: LANs, redes telefónicas em edifícios, peq. distâncias (<10km)

Cabo entrançado, características: usado para sinais analógicos ou digitais, atenuação elevada, susceptível a interferência e ruído, possíveis débitos elevados em distâncias curtas.

Cabo entrançado, categorias: STP (shielded twisted pair) e UTP (unshielded twisted pair)

Cabo Coaxial, aplicações: LANs ~~thru~~ das primeiras gerações, sistemas de transmissão de longa distância (ultrapassados), sistemas de TV

Cabo Coaxial, características: boa imunidade a interferência, largura de banda elevada (centenas de MHz)

Cabo Coaxial, tipos: RG-6, RG-8, RG-11, RG-58, RG-59

## Fibra Óptica

Vantagens - Débitos de transmissão até centenas de Gbit/s; Leves, flexíveis e pouco volumosas; baixa atenuação; imune a interferência electromagnética

Desvantagens - interfaces óptico-eléctricas (custo), terminação difícil (perdas) e multiplexação difícil

Aplicações - transmissão a grande distância, back de backbone, LANs

## Rádio Frequência

Ondas Terrestres: Utilizadas quando o uso de meios guiados é impraticável, usa bandas que vão dos 2 aos 40 GHz, transmissão direccional, usa antenas parabólicas (diâmetro depende do comprimento de onda). A curvatura da terra e os efeitos de propagação exigem repetidores intermédios em ligações mais longas. Os débitos de transmissão andam na ordem das centenas de Mbit/s, sofre atenuação em espaço livre, usa repetidores entre 40 a 100 km e são aplicadas a redes de transporte de longa distância e fixed Wireless Access.

Microondas por satélite: Permitem grandes coberturas de áreas terrestres, usando uma largura de banda de centenas de MHz. O satélite é geostacionário (órbita a 36000 km da superfície) e recebe uma frequência e retransmite outra. Tem atrasos de propagação elevados e é aplicável em redes de transporte de longa distância, distribuições de TV e redes privadas.

Comunicações Móveis: Usam bandas VHF/UHF (30MHz - 3GHz), em alguns casos superiores, sendo a estrutura baseada em células. A mobilidade exige ligações sem fios. É aplicável a comunicações móveis terrestres, LANs sem fios, telefones portáteis. São exemplos os sistemas GSM, DECT, IEEE, UMTS.

Infravermelhos → Distâncias curtas, transmissão em linha de vista, directa ou por reflexão em superfícies, pois as radiações infravermelhas não atravessam paredes (boa segurança, ausência de problemas de interferência). O espectro não está licenciado e as aplicações são LANs e controlo remoto de equipamentos.

## Teoria da Informação

### Medida de Informação

Uma fonte digital produz um conjunto de mensagens  $m_i (i=1,2,\dots,n)$  com probabilidades de ocorrência  $p_i$ .

