



FEUP

# Princípios de compressão de informação visual

---

- vídeo e imagem digitais
  - princípios de compressão de media
    - compressão versus qualidade
    - redundância no sinal
    - informação irrelevante
  - ferramentas de compressão de imagem e vídeo
    - espaços de cor, resoluções e sub-amostragem de cor
    - técnicas de processamento no tempo
    - técnicas de processamento no espaço
    - técnicas de codificação estatística



# Princípios de compressão

---

- os algoritmos de compressão podem ser sem e com perdas
  - sem perdas (“lossless”) permite reconstruir o sinal sem qualquer distorção (ex. zip)
    - **sinal reconstruído = sinal original**, não só perceptualmente como também matematicamente
  - com perdas (“lossy”) significa que introduz degradações no sinal as quais não é possível eliminar totalmente, logo não permite reconstruir o sinal exactamente igual ao original
    - a quantidade de informação que se perde, “quantidade” de degradação, depende dos requisitos da aplicação
      - da quantidade de compressão necessária e do tipo de conteúdo
- existe ainda a variação de “**codificação com perdas mas perceptualmente sem perdas**”
  - em termos matemáticos existem diferenças mas o observador humano não consegue distingui-las

# Princípios de compressão - distorção

---

- a distorção no sinal reconstruído traduz a diferença relativamente ao sinal original
- pode ser medida de forma objectiva
  - como uma diferença dos valores de pixels correspondentes nas duas imagens
  - frequentemente medido através do SNR (Signal to Noise Ratio) ou MSE (Mean Square Error)
  - embora essas métricas ofereçam uma medida da distância entre o sinal original e o sinal reconstruído, por vezes não traduzem fielmente a percepção do observador humano
    - um valor baixo de PSNR ou elevado de MSE é uma indicação subjectiva de má qualidade (elevada degradação) mas um observador humano pode ter a percepção de um boa qualidade

# Princípios de compressão - factores determinantes

---

- características importantes a ter em conta na selecção de um algoritmo de compressão
  - eficiência
    - relação entre grau de compressão e qualidade
    - o grau de compressão pode ser medido pela relação entre os tamanhos dos ficheiros antes e depois da compressão
  - complexidade
    - só hardware, só software ou híbrido
    - tempo de processamento exigido, n° de operações por unidade de tempo
    - tempo real ou não
  - atraso
    - quanto tempo é necessário esperar até ser possível começar a decodificar o sinal comprimido?



# Princípios de compressão - qualidade

- é então importante conseguir **avaliar a qualidade** ou a eficiência (**qualidade versus bit rate**) de diferentes esquemas de compressão
  - medidas objectivas
    - PSNR (peak signal to noise ratio), MSAD (mean sum of absolute differences), MSE (mean square error), ...
    - podem ser automatizadas e obtidas em tempo real
      - é uma operação aritmética ...
    - mas podem não traduzir fielmente a percepção que temos sobre a qualidade
      - é por isso que existem medidas subjectivas
  - é medido em dB
    - um valor de 50 dB indica uma reconstrução do sinal quase perfeita
    - $\approx 30$  dB dá indicação de qualidade aceitável

## quando as medidas objectivas falham ...

- trocando entre si a primeira e a última linha da imagem
  - pouca perturbação para o observador (boa qualidade subjectiva/perceptual)
  - mas o valor de MSE é grande (qualidade objectiva baixa)



*cameraman* original



linhas trocadas (MSE=337.8)



# Avaliação da qualidade na compressão

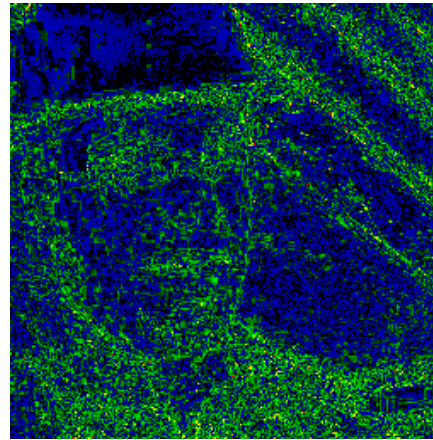
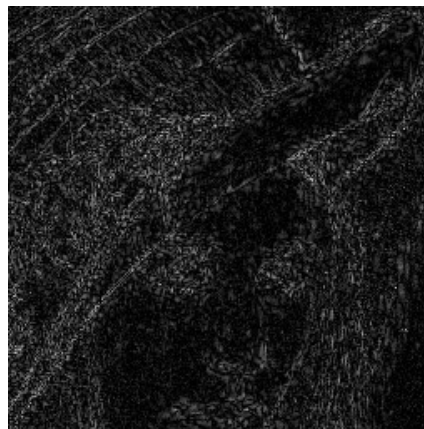
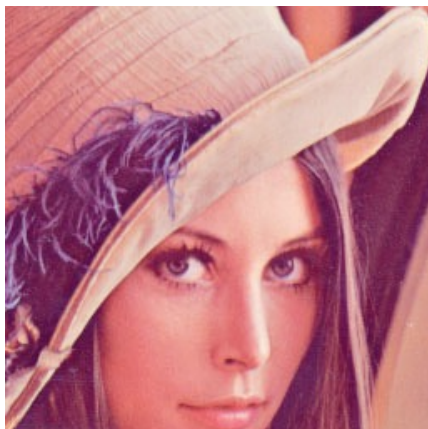
- medidas subjectivas
  - são mais difíceis de realizar
  - **MOS** (Mean Opinion Score)
    - utiliza uma audiência para visualizar as sequências e as classificar numa escala de 1 a 5
    - segue um procedimento de “estímulo duplo”
      - a cada pessoa é dada a visualizar a sequência original (com qualidade total) e de seguida uma versão comprimida e reconstruída
      - a pessoa deve classificar numa escala de 1 a 5 a sequência comprimida de uma forma relativa
        - atribuindo 1 se tiver uma qualidade que está muito longe da qualidade original (com muita degradação)
        - atribuindo 5 se a qualidade for igual (se as degradações forem imperceptíveis)
  - mas podem ser automatizadas também
  - **VQM** (video quality metric)
    - métricas que tentam modelar de forma probabilística o comportamento do sistema visual humano



# Avaliação da qualidade na compressão

- avaliação objectiva

$$MSE = \frac{\sum_{M,N} [I_1(m,n) - I_2(m,n)]^2}{M * N}$$

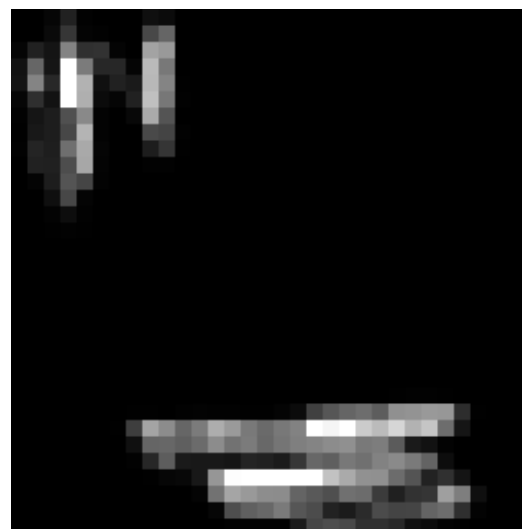


$$PSNR = 10 \log_{10} \left( \frac{R^2}{MSE} \right)$$



# Avaliação da qualidade na compressão

- avaliação subjectiva automatizada



VQM - blocos com mais brilho correspondem a diferenças maiores, logo menor qualidade



# Princípios da compressão - redundância e irrelevância

---

- como é que é possível comprimir e ainda assim obter uma boa representação do sinal original?
- tirando partido da redundância que existe no sinal
  - dados redundantes duplicam informação, ou não trazem informação adicional
  - são previsíveis na medida em que podem ser obtidos à custa de dados anteriores
- tirando partido das propriedades do sistema humano de percepção
  - redundância perceptual (psico-acústica e psico-visual)
  - ou vista de outra forma, informação contida nos dados mas que é irrelevante para os sistemas audio e visual humano pois não são capazes de os perceberem
- irrelevância



# Princípios da compressão - **redundância**

---

- Dado que:
  - sinal áudio digital = sucessão de amostras no tempo
  - imagem digital = matriz rectangular de pixels (amostras espaciais)
  - video = sequência de imagens que se sucedem a uma certa frequência no tempo
- **amostras vizinhas** nesses sinais (amostras temporais de áudio, pixels ou imagens) estão **mais ou menos correlacionadas** entre elas
  - isto é, parte da sua informação é a mesma ou muito semelhante, logo, **redundante**
  - em geral, a correlação será tanto mais maior, quanto mais próximas no tempo ou no espaço essas amostras estiverem

## Princípios da compressão - **redundância** (2)

---

- vários tipos de redundância nos sinais de áudio e vídeo
  - **redundância espectral**
    - por exemplo, duplicação de informação (**redundância!**) entre as cores primárias RGB
      - daqui a vantagem de se usarem outros espaços de cor :-)
  - **redundância espacial**
    - por exemplo, entre pixels de uma imagem adjacentes ou próximos
  - **redundância temporal**
    - por exemplo, entre duas imagens consecutivas de uma sequência vídeo com movimento moderado
    - pixels que pertencem ao background de duas imagens numa sequência vídeo, onde apenas pessoas se movem
  - **redundância estatística ou de codificação** (**própria da codificação**)
    - palavras do código com comprimento maior do que o necessário
    - código ineficiente



## Princípios da compressão - **redundância** (3)

---

- Redundância relativa ao sistema humano de percepção
  - o nosso sistema não consegue perceber parte da informação áudio e vídeo
    - **por exemplo, o olho humano é muito mais sensível às baixas frequências do que às altas, logo**
      - distorções nas baixas frequências do sinal perturbam muito mais o visionamento do que distorções nas altas frequências (a nossa sensação é a de uma imagem mais deteriorada, com pior qualidade)
      - erros/distorções em zonas da imagem que varia pouco (uma parede pintada com uma única cor homogénea, por ex.) contribuem mais para piorar a qualidade da imagem subjectiva do que erros em zonas da imagem de alta frequência (por ex., um jardim com flores pequenas de várias tonalidades e formas)



# Princípios da compressão - (4)

---

- **Redundância perceptual relativa à visão**
  - maior sensibilidade às variações de brilho do que às variações de cor
    - erros/distorções introduzidos na componente de cor são mais bem tolerados do que erros na luminância
  - limite na acuidade espacial
    - a percepção visual humana não consegue analisar/distinguir pixels individuais ou cada valor da escala de valores da luz colorida
- **Redundância perceptual relativa à audição**
  - o ouvido humano não consegue perceber sons se as suas amplitudes ficam abaixo do limiar de audição
  - o ouvido humano não consegue distinguir sons vizinhos no tempo, quando esses sons têm amplitudes ou frequências muito diferentes
  - É por isso possível eliminar (não codificar) informação dos sinais audiovisuais sem introduzir degradação aparente porque essa informação não é relevante para o processamento normal audiovisual



# Princípios de compressão - irrelevância

---

- imagem não comprimida de resolução total = matriz bidimensional de grande  $n^\circ$  de pixels, cada um representado por três valores
  - um para cada componente RGB
    - oferecendo uma aproximação óptima ao espectro contínuo de luz colorida
- no entanto, essa aproximação óptima tem informação redundante, irrelevante para o observador humano
  - que não consegue distinguir detalhes espaciais inferiores a 0,1 mm
    - limite da acuidade espacial
    - não há interesse em representar áreas diferentes entre si e que sejam inferiores a 0,1 mm ou em usar um número extremamente elevado de amostras



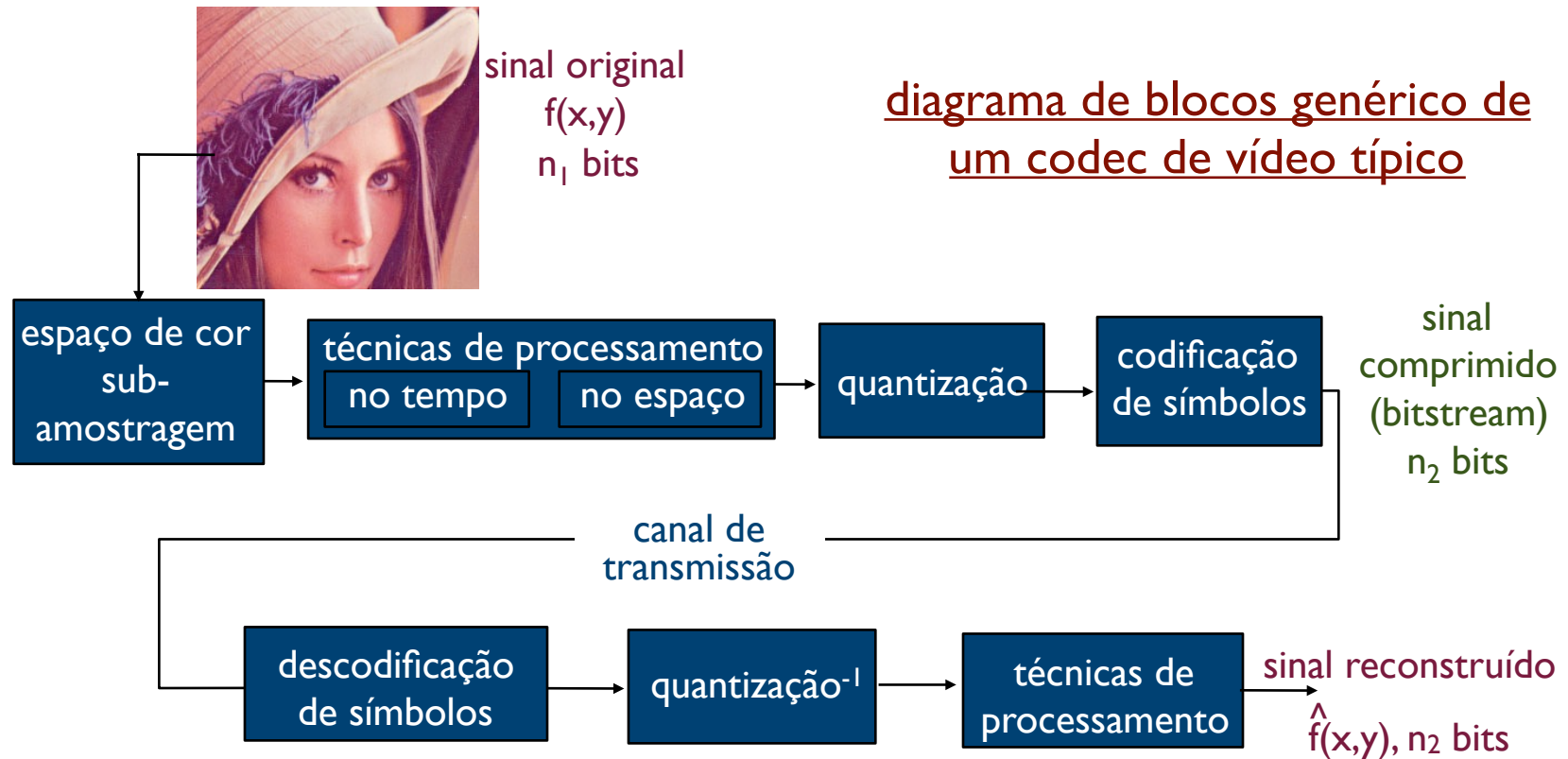


## Princípios de compressão - irrelevância (2)

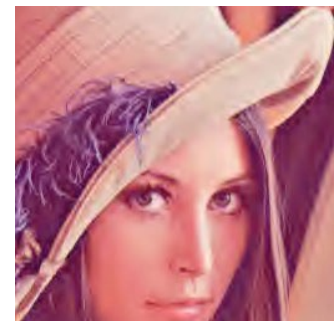
---

- não consegue distinguir variações de brilho (luminância) inferiores a 1%
  - se uma área tiver um valor de brilho que difere menos do que 1% do valor do brilho de uma área que lhe é adjacente, o olho humano não vai distinguir essa diferença de brilho
  - vai percepcionar as duas áreas como tendo o mesmo brilho
    - logo não há interesse em usar muitos níveis ou bits para representar essas diferenças mínimas
- o SVH tem apenas 3 tipos de sensores para detectar as 3 cores RGB
  - já vimos que é por estímulo simultâneo de pelo menos 2 desses sensores e pelo fenómeno de integração que conseguimos percepcionar diferentes cores ao longo do espectro de luz visível
    - por isso, não é necessário ter um sistema complexo para codificar todas as cores possíveis do espectro

# Princípios da compressão - ferramentas



- cada bloco tenta eliminar um certo tipo de redundância
- grau total de compressão =  $n_1/n_2$





# Espaços de cor

- Já vimos que existem vários espaços ou modelos para representar sinais de luz colorida
  - alguns são mais eficientes do ponto de vista tecnológico pois permitem representações mais compactas, com menos informação correlacionada
  - em particular o espaço YUV / YIQ / Y
    - Y: luminância
    - UV, IQ, C<sub>b</sub>C<sub>r</sub> : sinais diferença de cor
  - estas componentes são obtidas como combinação linear das cores primárias

$$Y = 0.299R + 0.587G + 0.114B$$

$$U = -0.147R - 0.289G + 0.436B$$

$$V = 0.615R - 0.515G - 0.100B$$

domínio analógico

$$Y = 0.2989 R + 0.5866 G + 0.1145 B$$

$$Cb = -0.1687 R - 0.3312 G + 0.5000 B$$

$$Cr = 0.5000 R - 0.4183 G - 0.0816 B$$

domínio digital



## Espaços de cor (2)

---

- normalmente os displays recebem RGB
  - mas esse espaço de representação da cor não é eficiente para armazenamento ou para transmissão
    - existe um elevado grau de correlação entre essas três componentes
      - duplicação de informação
    - e é difícil indicar qual delas tem mais importância para o SVH
    - seria desejável poder eliminar a duplicação e identificar a componente mais importante para a visão humana
      - que sabemos ser o brilho ou quantidade de luz
        - já que sem luz os bastonetes não funcionam ...
  - o espaço YUV consegue isso e é um bom compromisso entre eficiência de processamento e qualidade perceptual
    - cada componente transporta informação específica com pouca sobreposição à das outras componentes

# Espaços de cor (3)

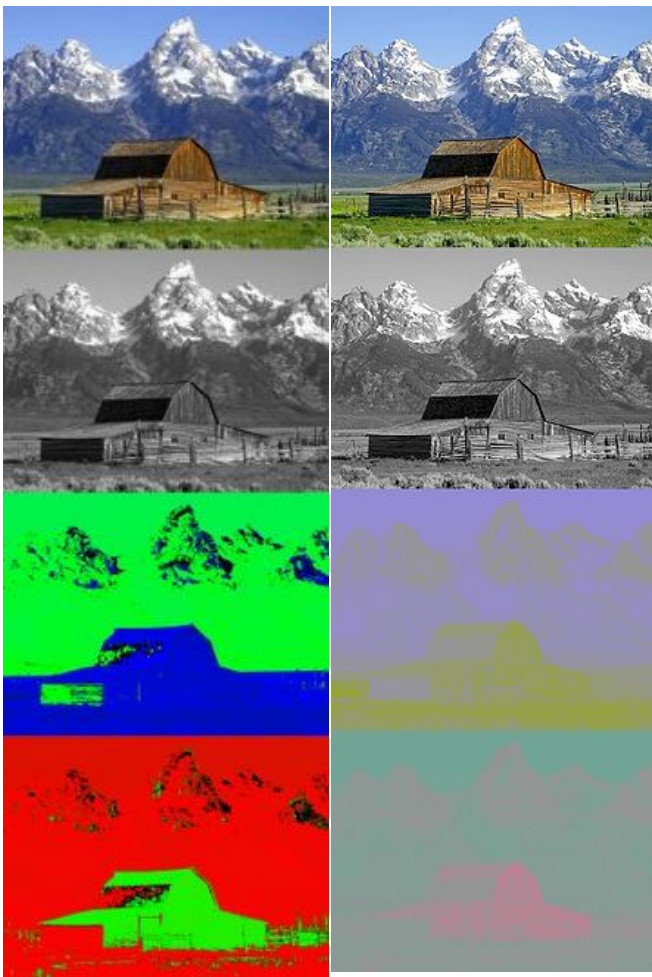
- Espaço YUV / YC<sub>b</sub>C<sub>r</sub>

- uma vez estando as componentes descorrelacionadas, é possível implementar algoritmos de processamento de vídeo que introduzem mais ou menos erros<sup>(\*)</sup> de acordo com a importância perceptual do sinal
- dessa forma o sistema visual humano, não se apercebe (tanto) desses erros
  - ▶ o sinal de luminância (Y) pode ser armazenado ou transmitido com maior resolução
  - ▶ os dois componentes de cor (Cb e Cr) podem ser sub-amostrados e comprimidos de forma independente para aumentar a eficiência do sistema



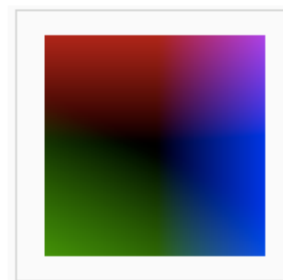
ao comprimir acima de um determinado valor, introduzem-se necessariamente erros

# Espaços de cor (4)

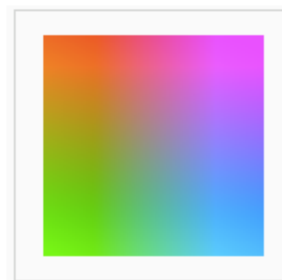


YUV

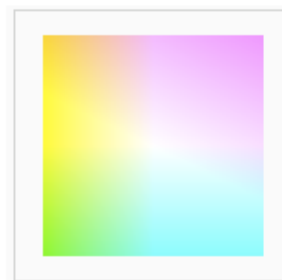
YCrCb



Y=0



Y=0.5



Y=1

# Sub-amostragem de cor

---

- a norma ITU-R Rec. 601, usada em ambientes profissionais, amostra a luminância (brilho) e as componentes de cor separadamente
- no espaço de cor  $YC_rC_b$  usa a frequência de 13.5 MHz para a luminância  $Y$
- a frequência de amostragem das componentes de cor varia de acordo com a resolução pretendida
  - se quisermos obter o mesmo  $n^\circ$  de amostras para cada componente, então utiliza-se a mesma frequência
  - no entanto é normal usar menos amostras para a cor
    - para difusão de televisão utiliza-se  $1/4$  de  $13.5 = 3.375$  MHz



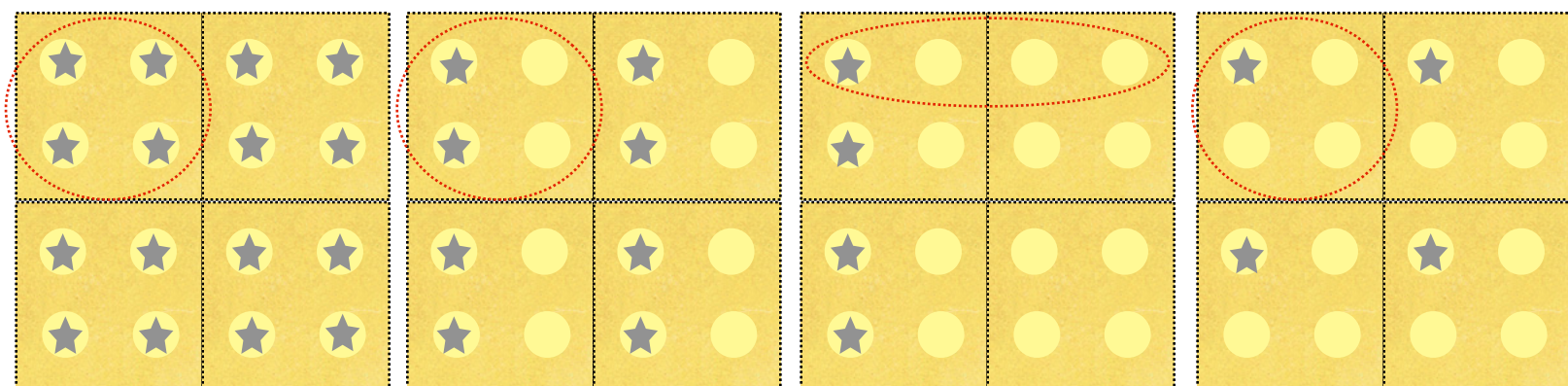


# Sub-amostragem de cor

- O esquema de amostragem exprime-se como **x:y:z**
  - **x** representa o nº relativo de amostras de luminância
  - **y** representa o nº relativo de amostras de crominância (Cr and Cb) nas linhas ímpares
  - **z** representa o nº relativo de amostras de crominância (Cr and Cb) nas linhas pares
  - ex., **4:2:0** indica que para cada 4 amostras de Y existem 2 amostras de crominância (1 Cr e 1 Cb) apenas nas linhas ímpares
    - **origina uma compressão de 1:4**
    - por cada bloco de 2 x 2 pixels, existem 4 amostras de Y e apenas 1 de cada sinal diferença de cor (Cr and Cb)
    - é o formato usado em difusão de TV

# Sub-amostragem de cor

- O esquema de amostragem exprime-se como **x:y:z**
- para cada x amostras de Y existem y amostras de croma (Cb e Cr) nas linhas ímpares e z amostras de croma (Cb e Cr) nas linhas pares
  - ▶ se  $y, z < x$  dá origem a uma taxa de compressão relativa do sinal de cor



**4:4:4** - por cada 4Y (2x2), 4 de Cr e 4 de Cb nas linhas pares e ímpares: não há sub-amostragem!

**4:2:2** - por cada 4Y (2x2), 2 de Cr+Cb na linhas ímpares e 2 de Cr+Cb nas pares - sub-amostragem horizontal 2:1

**4:1:1** - por cada 4Y (4x1), 1 de Cr+Cb na linhas ímpares e 1 de Cr+Cb nas pares - sub-amostragem horizontal 4:1

**4:2:0** - por cada 4Y (2x2), 2 de Cr+Cb na linhas ímpares e 0 de Cr+Cb nas pares - sub-amostragem horizontal 2:1 e vertical 2:1

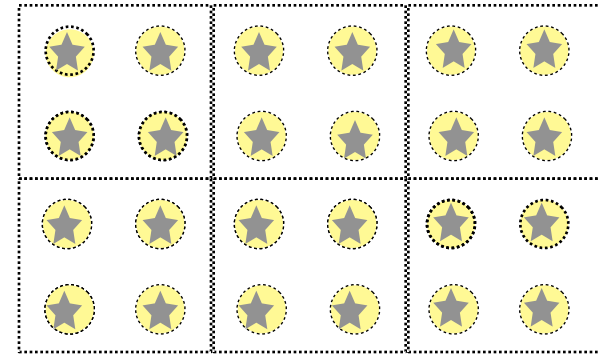

luminância (1 amostra Y)


crominância (1 amostra Cr e 1 amostra Cb)

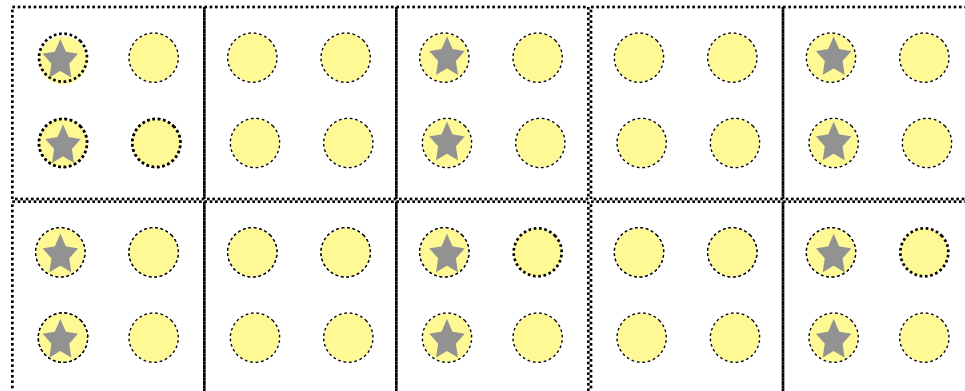
# Sub-amostragem de côr

● luminância (1 amostra Y)  
★ crominância (1 Cr e 1 Cb)

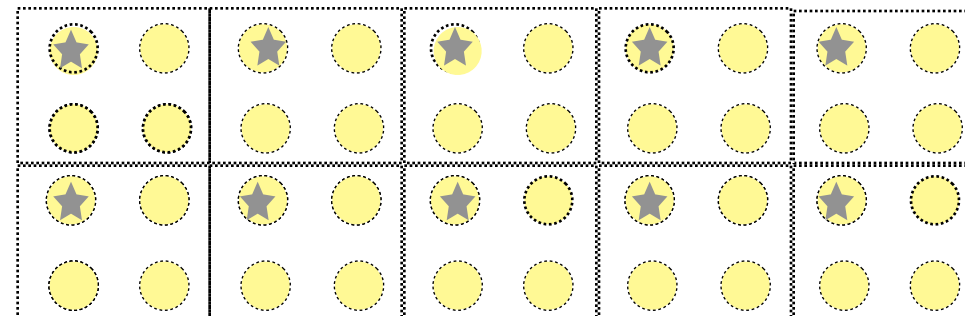
4:4:4 - não há subamostragem



4:1:1 - há subamostragem na horizontal (ao longo da linha, em cada 4 pixels de luminância só *preenchemos* um com côr)



4:2:0 - há subamostragem na horizontal (ao longo da linha, em cada 2 pixels de luminância só *preenchemos* um com côr) e na vertical



*coluna-sim, coluna-não; linha-sim, linha-não*



## Vídeo - formatos espaciais

---

- a resolução espacial dos formatos digitais de vídeo exprime-se em  $n^\circ$  de pixels em cada linha por  $n^\circ$  de linhas em cada imagem
- alternativamente, em  $n^\circ$  de amostras em cada linha por  $n^\circ$  de linhas em cada imagem para cada componente (luminância e diferença de cor)
- alguns formatos comuns relativamente à resolução espacial e sub-amostragem de cor
  - HHR Half Horizontal resolution
    - utilizado em MPEG-2
  - SIF Source Intermediate Format
    - utilizado em MPEG-I



FEUP

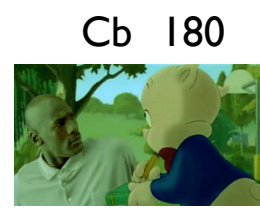
Departamento de Engenharia Informática

# Vídeo - formatos espaciais (2)

**HHR**  
576 pels  
480 linhas



**SIF**  
352 pels  
240 linhas





## Vídeo - formatos espaciais (3)

---

- CIF Common Input Format e QCIF Quarter CIF
  - 352 pixels x 288 linhas
  - utilizado em MPEG-1, MPEG-2, videoconferência (H.261), Internet
- SDT Standard Television (640/704 pixels x 480 linhas)
  - utilizado em TV digital e DVDs
- ITU-R 601 (720 pixels x 576 linhas)
  - utilizado em TV digital; sinal de entrada para codificadores MPEG-2, H.264
- HDTV High Definition TV (aspect ratio 16:9)
  - 1920 pixels x 1080 linhas. entrelaçado (1080i)
  - 1280 pixels x 720 linhas, progressivo, (720p)
  - 1920 pixels x 1080 linhas progressivo (1080p)



FEUP

## Vídeo - formatos espaciais (4)

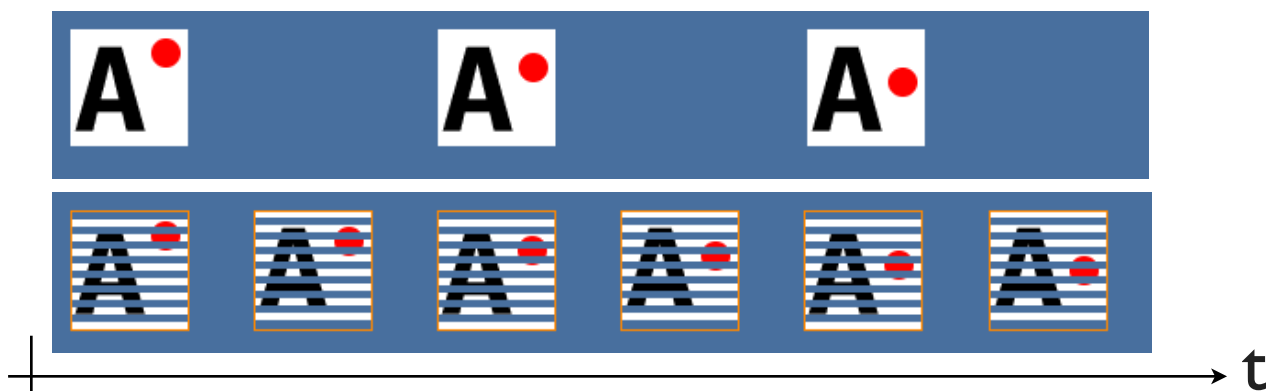
---

- cinema digital
  - 2K: 2048 pixels x 1080 linhas e 4K: 4096 pixels x 2160 linhas
- UHD ou SHD
  - 4K e 8K: 3840 pixels x 2160 linhas e 7680 pixels x 4320 linhas
  - no futuro 16K: 15360 pixels x 8640 linhas



# Vídeo - imagem e quadro

- **Progressivo versus entrelaçado**
- o entrelaçamento foi introduzido na TV analógica
  - cada imagem é dividida em dois campos/quadros cada um com metade das linhas (quadros par e ímpar)



- truque para manter a resolução do vídeo e taxa de refrescamento das imagens no écran, diminuindo a largura de banda
- conta com a persistência da imagem no écran e sistema visual humano



FEUP

# Entrelaçamento

---

- Na TV analógica, constatou-se que para uma boa visualização do sinal de TV seriam necessárias pelo menos
  - 570 linhas em cada imagem
  - 50 imagens por segundo
- O sistema PAL com 625 linhas, cada uma com 720 pixels, usando uma taxa de imagens de 50 por segundo, conduziria a uma largura de banda de cerca de 12 MHz (porquê?)
- a largura de banda de um sinal de TV analógico mede-se com base na maior frequência que pode ocorrer no sinal.



# largura de banda do sinal TV analógico

---

- o que é a frequência? o que são as altas e as baixas frequências numa imagem?
- alta frequência ocorre quando há grandes variações de intensidade luminosa e/ou de cor de um pixel para o seguinte
- baixa frequência quando os pixels são muito homogéneos e o seu brilho e/ou cor pouco varia.
- No limite temos:
  - a frequência mais alta, quando um pixel é branco e o seu vizinho é preto
    - essa frequência vai ser igual ao inverso do tempo dos dois pixels ( $f_{\max} = 1/2T_{\text{pixel}}$ )
  - a frequência mais baixa, quando um pixel é exactamente igual ao seu vizinho, verificando-se isto para toda a imagem
    - essa frequência vai ser igual à frequência de imagem ( $f_{\min} = 1/T_{\text{imagem}}$ )



# largura de banda do sinal TV analógico (2)

- Assim num sinal PAL com 50 imagens por segundo, 625 linhas por imagem e 720 pixels por linha:

$$T_{\text{pixel}} = 1/(720 \text{ pels/linha} \times 625 \text{ linhas/imagem} \times 50 \text{ imagens/s}) = 44.(4) \text{ ns}$$

$$f_{\text{max}} = 1/(2 \times 44.4 \times 10^{-9}) = 11.250 \text{ MHz}$$

$$f_{\text{min}} = 1/T_{\text{imagem}} = 50 \text{ Hz}$$

- taxa de repetição de imagem:  $f_{\text{imagem}} = 50 \text{ Hz}$
- taxa de repetição de linha:  $f_{\text{linha}} = n^{\circ} \text{ de linhas} \times f_{\text{imagem}} = 625 \times 50 = 31250 \text{ Hz}$
- taxa de repetição de pixel:  $f_{\text{pixel}} = n^{\circ} \text{ de pixels} \times f_{\text{linha}} = 720 \times 31250 = 22.5 \text{ MHz}$



# Entrelaçamento - o motivo

---

- como vimos, os canais de rádio-frequência utilizados para a difusão do sinal de TV, têm uma largura de banda disponível de 6 ou 8 MHz
  - 12 MHz era excessivo para difundir o sinal!
- Foi assim introduzida a técnica de entrelaçamento, que permitia respeitar a taxa mínima de refrescamento
  - agora não de imagem mas sim de quadro
  - como cada quadro tem apenas metade das linhas, permite diminuir para metade a largura de banda necessária

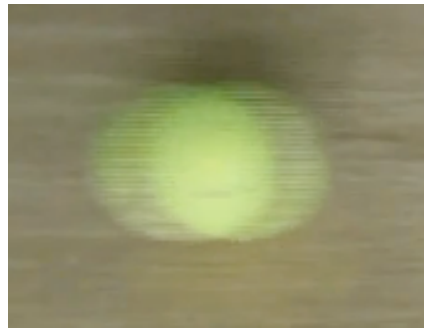


# Progressivo versus entrelaçado

- o entrelaçado permite aumentar a resolução espacial das imagens<sup>(\*)</sup>
  - oferece boa qualidade para imagens paradas
  - como tem uma taxa maior de refrescamento, o movimento pode ser reproduzido de uma forma mais fiel, sem saltos
    - no entanto funciona apenas para imagens com movimento limitado
    - se fizermos pan/pause numa sequência com muito movimento, a imagem vai aparecer com flicker
  - depende muito do tipo de conteúdo!
- em geral, o modo progressivo permite obter imagens mais homogéneas, com maior qualidade de detalhe e reprodução de texto

(\*) de uma forma fictícia e para uma mesma taxa de refrescamento! no progressivo para manter a taxa de refrescamento e cumprir restrições de largura de banda é necessário reduzir a resolução espacial.

# Progressivo versus entrelaçado (2)





## Progressivo versus entrelaçado (3)

- em sinais entrelaçados
  - contornos, em especial verticais, podem aparecer mal definidos



- introduz o efeito de “twitter” inter-linha
  - ▶ quando o detalhe da imagem na vertical se aproxima da resolução horizontal
  - ▶ ex., uma pessoa vestida com uma camisola às riscas fininhas
    - a camisola parece que tem movimento para a esquerda e para a direita

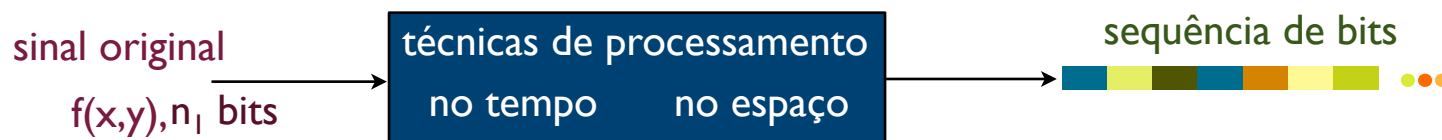


# Progressivo versus entrelaçado (4)

---

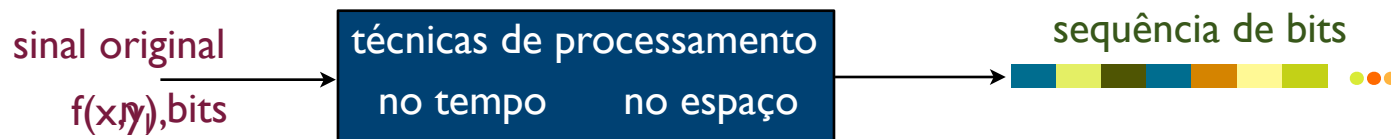
- a norma MPEG2 manteve o entrelaçado por compatibilidade com sistema analógico TV
  - mas suporta progressivo também
    - DVDs actuais usam 480p (720 pixels x 480 linhas, progressivo)
- para HDTV inicialmente foram propostos um formato entrelaçado (1080i) e um progressivo (720p)
  - mas os monitores LCD são inerentemente progressivos, por isso é necessário fazer uma conversão de entrelaçado para progressivo
- sempre que possível, isto é, não havendo restrições de banda, é preferível o formato progressivo!

# Princípios da compressão - ferramentas



- o objectivo deste bloco é o de **eliminar** (reduzir) **redundância temporal e espacial**
  - tirando partido da redundância do sistema humano de percepção
- assume-se que a redundância espectral já foi tratada
  - já se está a usar o espaço de cores apropriado!
- inclui um conjunto de técnicas, nos domínios espaço-temporal e das frequências
  - estimação/compensação de movimento e transformadas espaciais

# Princípios da compressão - ferramentas



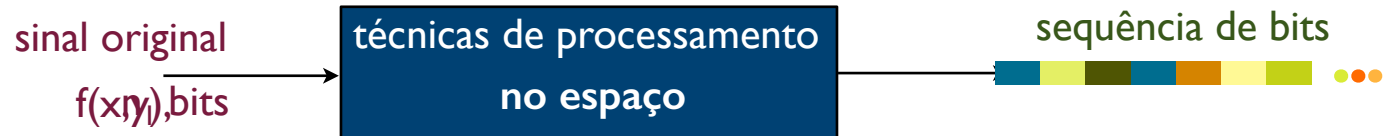
- inclui um conjunto de técnicas, nos domínios espaço-temporal e das frequências
  - estimação/compensação de movimento e transformadas espaciais
- transforma o sinal de entrada num formato não-visionável ou não-audível
  - sequência de símbolos

# Ferramentas de compressão - **estimação de movimento**



- **estimação e compensação de movimento**
  - elimina a redundância temporal
  - divide a imagem em blocos de pixels
  - para cada bloco, procura blocos semelhantes em imagens vizinhas, numa dada região vizinha
  - selecciona vectores de movimento (coordenadas  $x,y$ ) que apontam para bloco(s) dessa(s) regiões, que menos diferem do bloco actual
    - que conduzem a um menor erro de predição

# Ferramentas de compressão - transformadas espaciais



- transformada espacial (bi-dimensional, 2D)
  - transfere o sinal de vídeo do domínio espaço-temporal para o domínio das frequências
    - porque no domínio das frequências os elementos do sinal têm pesos distintos e assim podemos distingui-los melhor consoante a sua importância
    - a informação contida em cada elemento pode-se traduzir pela energia de cada um
      - no domínio espaço-temporal, a energia está espalhada por todo o sinal
      - uma representação do sinal imagem/vídeo no domínio das frequências, tende a concentrar a energia em torno dos elementos de baixa frequência



- transformada espacial (bi-dimensional, 2D)
  - a transformada é aplicada ao erro de predição, resultante da estimação de movimento, obtendo-se um conjº de coeficientes
  - uma grande percentagem da energia total do sinal erro de predição fica concentrada em torno de um nº pequeno de coeficientes (os de baixa frequência)
  - grande parte dos coeficientes contem energia mínima, logo não transporta informação relevante
    - são assim **redundantes** e por isso poderão ser eliminados!





## Ferramentas de compressão - **codificação**



- o codificador de símbolos explora redundância estatística ou de codificação
- utiliza codificação de entropia e códigos de comprimento variável
- atribui palavras de código mais curtas aos símbolos que ocorrem mais frequentemente
  - RLC, Run Length Coding
  - SFC, Shannon-Fano coding
  - Huffman
  - arithmetic coding



# Ferramentas de compressão - conclusão sumária

- compressão é obtida à custa da eliminação da **redundância** do sinal
  - **espectral**, entre as cores primárias
    - convertendo para espaços de cores onde as componentes estão menos correlacionadas
  - **temporal**, entre imagens consecutivas no caso do vídeo
    - utilizando técnicas predictivas com compensação de movimento
  - **espacial**, entre pixels vizinhos de uma imagem
    - aplicando uma transformada ao erro de predição, conseguindo concentrar energia (\*)
  - **estatística** ou de codificação
    - usando códigos mais eficientes, em particular de comprimento variável
- e também tirando partido das limitações do SVH
- **irrelevância**

\* mas a compressão é obtida efectivamente com a quantização