



**Universita' di Verona
Dipartimento di Informatica**



Compressione dei dati multimediali

**Davide Quaglia
a.a. 2006/2007**

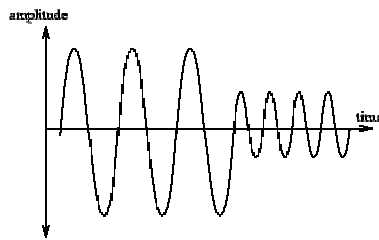
1

Natura dei dati multimediali

2

Generazione dei suoni

- I **suoni** sono generati da onde di pressione dell'aria che fanno vibrare la membrana dell'orecchio
 - L'**ampiezza delle vibrazioni** determina l'intensità (volume) del suono.
 - La **frequenza di vibrazione** determina l'acutezza del suono.
 - Il segnale ha sempre **media nulla**



3

Generazione delle immagini

- La luce colpisce la retina e genera un segnale nervoso.
- La lunghezza d'onda della luce determina i colori.
- Esiste una distanza minima sotto la quale due punti sono percepiti dall'occhio come un unico punto (**risoluzione spaziale**).
- Esiste un intervallo di tempo minimo sotto il quale due immagini consecutive danno la percezione del movimento (**risoluzione temporale**).

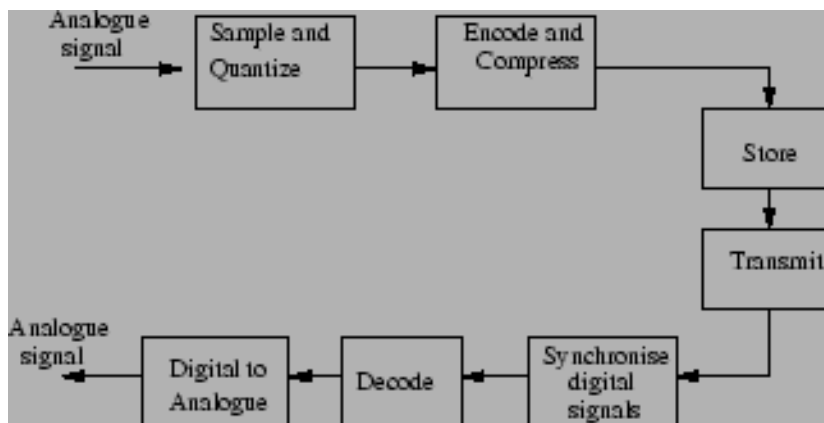
4

Conversione analogico/digitale

- La pressione dell'aria o l'intensità di luce sono segnali che variano nel tempo assumendo **valori continui** esprimibili mediante **numeri reali** (**segnale analogico**).
- Affinché tali valori possano essere elaborati e compressi occorre trasformarli in una **sequenza discreta** di numeri binari interi con **precisione finita** (**segnale digitale**)
- Due azioni:
 - campionamento
 - quantizzazione

5

Conversione analogico/digitale



6

Campionamento di un segnale

- Per catturare la variazione di un segnale nel tempo (suono) o nello spazio (immagine) occorre ripetere la **misura** ad intervalli regolari di tempo o di spazio.
- Intuitivamente più il segnale varia velocemente (nel tempo o nello spazio) e maggiore deve essere la **frequenza di campionamento**.

7

Quanti campioni ?



16 x 21 pixel

8

Quanti campioni ?



64 x 85 pixel

9

Quanti campioni ?



128 x 171 pixel

10

Quanti campioni ?

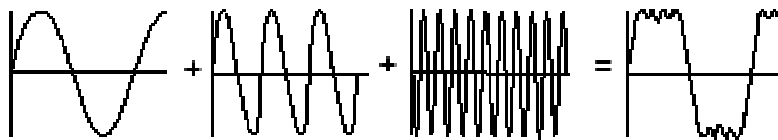


512 x 683 pixel

11

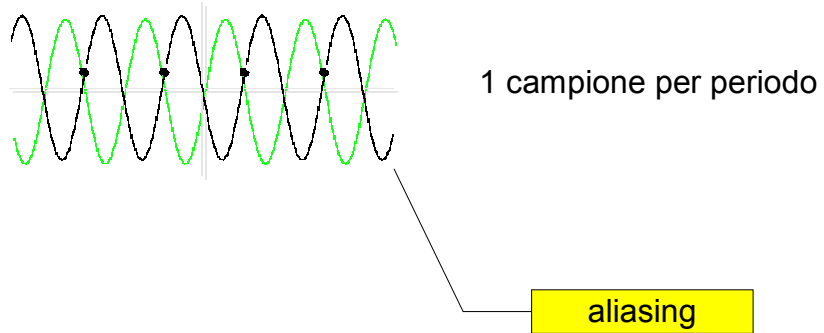
Teorema del campionamento

- Un segnale può sempre essere rappresentato come **somma di sinusoidi** (rappresentazione in frequenza).
- Per ricreare fedelmente un segnale occorre catturare **tutte** le sinusoidi che lo compongono.



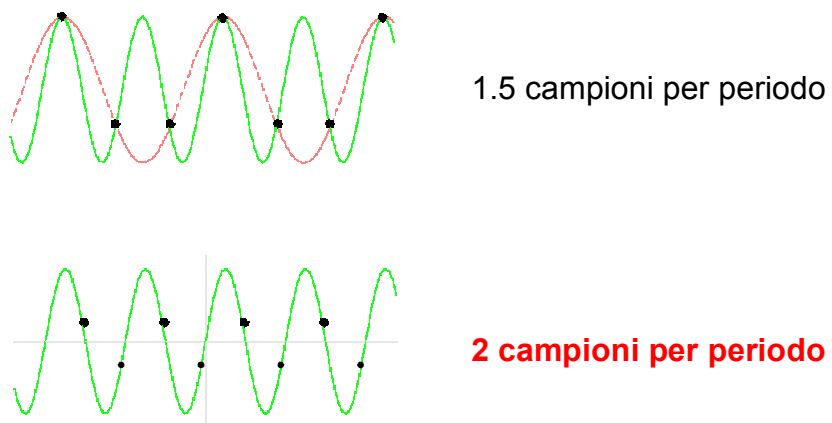
12

Teorema del campionamento (2)



13

Teorema del campionamento (3)



14

Teorema del campionamento (4)

- Per riprodurre fedelmente una sinusoide occorrono 2 campioni per periodo.
- La frequenza di campionamento deve essere doppia della frequenza della sinusoide.

15

Teorema del campionamento (5)

- Se il segnale da campionare ha **larghezza di banda f** allora la sua componente sinusoidale a frequenza più alta ha periodo $T=1/f$.
- Quindi la frequenza di campionamento di tale segnale deve essere doppia della larghezza di banda del segnale (**Teorema di Nyquist**).

16

Effetto della risoluzione spaziale sulle immagini



512 x 683 pixel



128 x 171 pixel

17

Effetto della risoluzione spaziale sulle immagini (2)



64 x 85 pixel



16 x 21 pixel

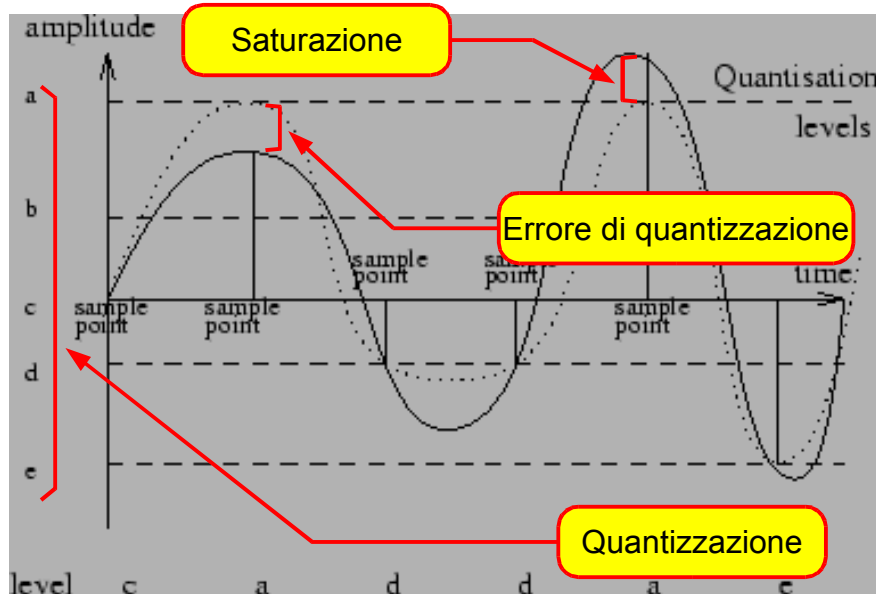
18

Quantizzazione di una misura

- Assegnazione di una misura a precisione infinita ad un numero avente precisione finita.
 - 1) Determinazione di un range di variazione.
 - 2) Individuazione di un insieme di punti all'interno di tale range.
 - 3) Assegnamento di un numero intero a ciascun punto.
 - 4) Misurazione del segnale analogico e rappresentazione della misura con il numero corrispondente al punto più vicino.

19

Quantizzazione: problemi



20

Effetto della quantizzazione sulle immagini



256 livelli (8 bit)



8 livelli (3 bit)

21

Effetto della quantizzazione

- La quantizzazione implica sempre un errore di arrotondamento detto di **errore di quantizzazione**.
- Maggiore è il numero di bit su cui si rappresenta la misura e minore è l'errore di quantizzazione.
- Tale errore è irreversibile.
 - Quando un procedimento di compressione prevede uno o più fasi di quantizzazione allora non è possibile ritornare alla rappresentazione originale.
- **Compressione con perdita (lossy)**
- La codifica di dati multimediali comporta sempre una perdita di informazione.

22

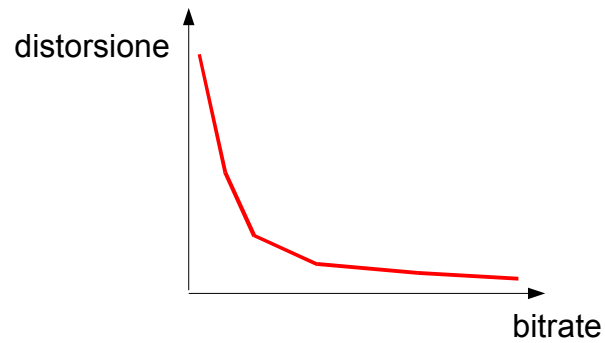
Distorsione di quantizzazione

- Una possibile misura di distorsione

$$MSE = \frac{\sum_1^N (v_i - v'_i)^2}{N}$$

• v_i : simbolo prima della quantizzazione

• v'_i : simbolo dopo la decodifica



23

Compressione senza perdita di informazione

24

Sommario

- Eliminazione della correlazione statistica
- Codifica entropica

25

Premessa

- Quanto si dirà in questi lucidi si applica a sorgenti di informazioni che producono **serie di dati discreti a precisione finita**:
 - dati digitali su file (es., eseguibili, database)
 - sorgenti multimediali dopo campionamento e quantizzazione
- Le tecniche che verranno presentate **non** provocano una perdita irreversibile di informazione.

26

Definizioni

- Una sorgente emette una **serie ordinata di dati**
- Tale serie di dati si può rappresentare come una **sequenza di simboli** dove ciascun simbolo appartiene ad certo **alfabeto** dipendente dal tipo di applicazione
 - Es: campioni sonori quantizzati su 16 bit con segno
--> l'alfabeto è costituito dai numeri interi nell'intervallo [-32768, 32767]
 - Es: immagine in bianco e nero con pixel su 256 livelli di grigio
--> l'alfabeto è costituito dai numeri interi nell'intervallo [0, 255]

27

Cosa vuol dire compressione ?

- Premesso che ogni simbolo deve essere codificato con dei bit per essere elaborato o trasmesso
- Definizione teorica di compressione

Cambio reversibile di alfabeto tale che la rappresentazione binaria della sequenza di simboli, tradotta nei simboli del nuovo alfabeto, richiede meno bit.

28

Eliminazione della correlazione statistica

29

Correlazione statistica

- Sia data una sequenza ordinata di simboli $s_0, s_1, s_2, \dots, s_n$ di un certo alfabeto emessa da una sorgente.
- C'è correlazione quando la probabilità che s_i assuma un certo valore dipende dal valore assunto dagli elementi precedenti della sequenza.
- Si dice che l'informazione contenuta nella sequenza è **ridondante** e si può cambiare alfabeto in modo da usare meno bit.

30

Esempio di correlazione nei testi

- 13% di lettere eliminate
- quante parole si riesce a ricostruire ?

L sp zie s no al eate pre iose nella p epa azi ne di suc ulenti pia ti. Es e s no ben con sci te fin dall'an ichi à; at or o ad es e vi er no ve e e pro rie vie com erci li e per esse si c mba terono du e bat agl e.

31

Esempio di correlazione nei testi

- 6% di lettere eliminate
- quante parole si riesce a ricostruire ?

L sp zie sono al eate pre iose nella prepa azione di suc ulenti pia ti. Es e sono ben conosciute fin dall'antichità; at orno ad es e vi erano vere e proprie vie com erciali e per esse si comba terono dure bat aglie.

32

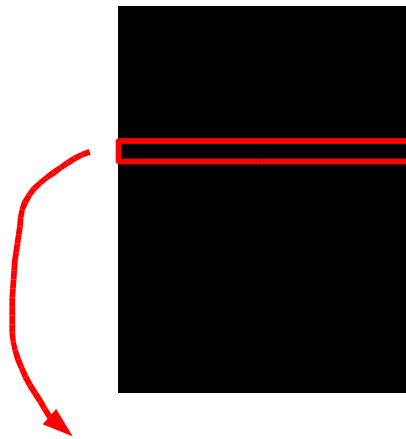
Esempio di correlazione nei testi

Le spezie sono alleate preziose nella preparazione di succulenti piatti. Esse sono ben conosciute fin dall'antichità; attorno ad esse vi erano vere e proprie vie commerciali e per esse si combatterono dure battaglie.

33

Correlazione nelle immagini

- Immagine b/n su due livelli di grigio (fax)

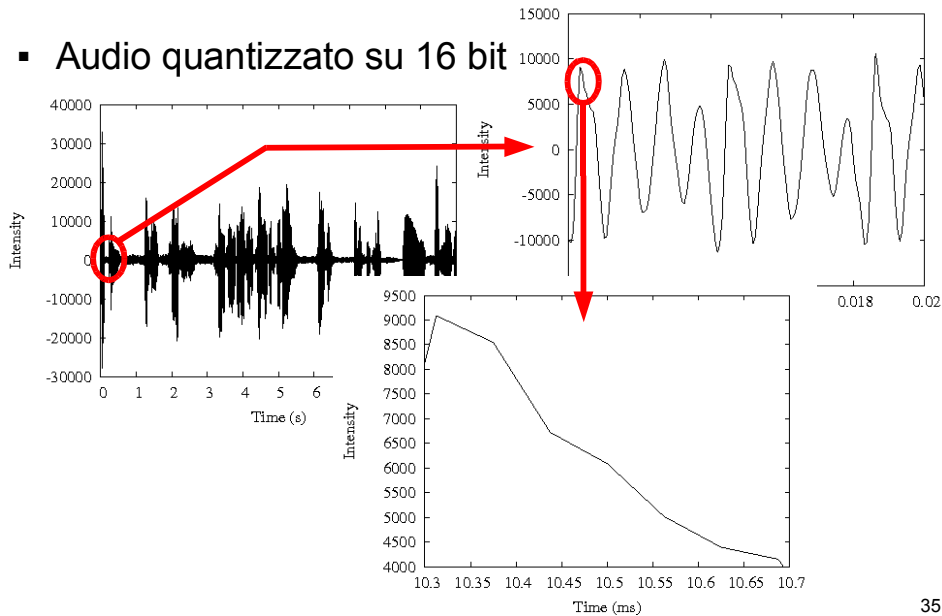


Sequenza: 1,1,1,1,0,0,0,0,0,1,1,1,1,1

34

Correlazione nella voce

- Audio quantizzato su 16 bit



35

Eliminazione della correlazione

- **Si cambia alfabeto di rappresentazione**
- Codifica run-length
 - Es del fax
1,1,1,1,0,0,0,0,0,0,1,1,1,1,1 --> (1,4),(0,6),(1,5)
- Codifica differenziale
 - Es. dell'audio (vedi la figura più dettagliata)
 $s_0 s_1 s_2 \dots s_n \rightarrow (s_1 - s_0), (s_2 - s_1), \dots, (s_n - s_{n-1})$
- Trasformata
 - Es. dell'audio (vedi la figura intermedia)
Sviluppo in serie di Fourier: ampiezza delle componenti sinusoidali
 $s_0 s_1 s_2 \dots s_n \rightarrow a_0, a_1, \dots, a_n$

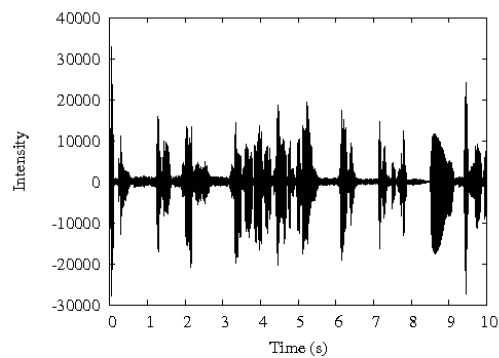
36

Codifica entropica

37

Frequenza dei simboli: esempio

- Audio su 16 bit: alfabeto = interi su $[-32768, 32767]$



- I simboli hanno tutti la stessa occorrenza ?
- Ricordate il caso dell'alfabeto Morse ?

38

Quanti bit/simbolo ?

- E' meglio rappresentare con meno bit i simboli più frequenti e con più bit quelli meno frequenti.
- Numero minimo teorico di bit/simbolo per l'alfabeto s :

$$H(s) = \sum_k p_k \log_2 \frac{1}{p_k}$$

- p_k è la frequenza di apparizione del simbolo k -esimo
- **entropia della sorgente di simboli** (Shannon)
- tale formula fornisce un valore medio minimo ma non dice come assegnare i bit ai simboli per ottenerlo !

39

Esempio di calcolo dell'entropia

- Una sorgente emette simboli appartenenti ad un alfabeto di 4 simboli a, b, c, d
- Frequenze di apparizione dei 4 simboli sono:
 - $1/2, 1/4, 1/8, 1/8$
 - somma delle frequenze uguale a 1
- Entropia della sorgente:

$$\begin{aligned} H(s) &= \frac{1}{2} \log_2(2) + \frac{1}{4} \log_2(4) + \frac{1}{8} \log_2(8) + \frac{1}{8} \log_2(8) \\ &= \frac{1}{2} + \frac{1}{2} + \frac{3}{8} + \frac{3}{8} \\ &= 1.75 \text{ bit/simbolo} \end{aligned}$$

40

Codifica entropica: problema 1

- Simboli rappresentati su un numero variabile di bit



- come fa il decoder a sapere quando inizia/finisce un simbolo ?

41

Algoritmo di Huffman

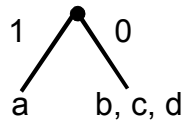
- Metodo di assegnamento bit ai simboli che garantisce la corretta decodifica
- Si costruisce un albero binario dove le foglie rappresentano i simboli
- Ad ogni biforcazione la somma delle frequenze dei simboli del sotto-albero di destra deve essere il più possibile vicina alla somma delle frequenze dei simboli del sotto-albero di sinistra.
- Ciascun arco di una biforcazione è etichettato con 0 e 1 rispettivamente

42

Algoritmo di Huffman: esempio

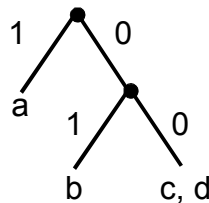
- Alfabeto di 4 simboli a, b, c, d con frequenze rispettivamente di $1/2, 1/4, 1/8, 1/8$
- Primo passo: a, b, c, d
 $1/2 \quad 1/2$

$a \rightarrow 1$



- Secondo passo: b, c, d
 $1/4 \quad 1/4$

$a \rightarrow 1$
 $b \rightarrow 01$

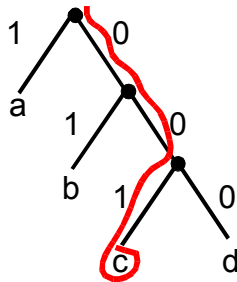


43

Algoritmo di Huffman: esempio (2)

- Terzo passo: c, d
 $1/8 \quad 1/8$

$a \rightarrow 1$
 $b \rightarrow 01$
 $c \rightarrow 001$
 $d \rightarrow 000$



- In ricezione per decodificare i simboli si visita l'albero binario in base ai bit in arrivo

Es: $001 \rightarrow c$

44

Huffman: considerazioni

- L'algoritmo di Huffman è ottimo (rispetto all'entropia) se le frequenze sono potenze di 2.
- Per distribuzioni di frequenze più complicate esistono algoritmi più sofisticati
 - Codifica aritmetica
 - Codici di Golomb

45

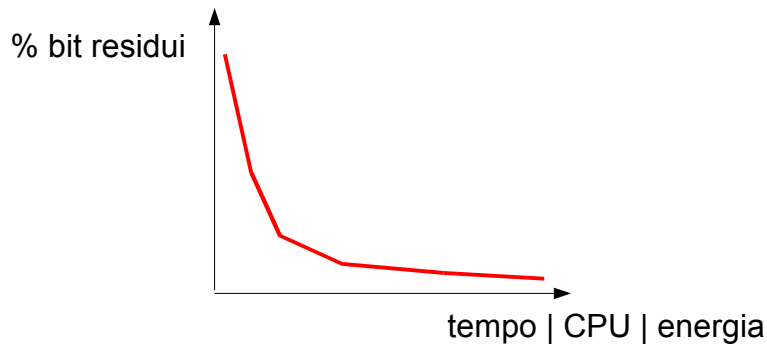
Codifica entropica: altri problemi

- Stima delle frequenze p_k
 - migliore è la stima e maggiore è la compressione
 - ho bisogno di fare ipotesi vincolanti sulla sorgente oppure considerare un elevato numero di esempi
- Errori sul bit durante la trasmissione rendono la decodifica impossibile
 - punti di re-sincronizzazione periodici nel flusso di bit
 - diminuzione dell'efficienza di compressione

46

Considerazioni sulla complessità

In generale se si vuole comprimere di più una sequenza di simboli si devono usare **algoritmi più complessi** che impiegano più tempo oppure necessitano di una **CPU più potente** e comunque sempre portano ad un **maggiore consumo di energia**.



47

Considerazioni sulla complessità

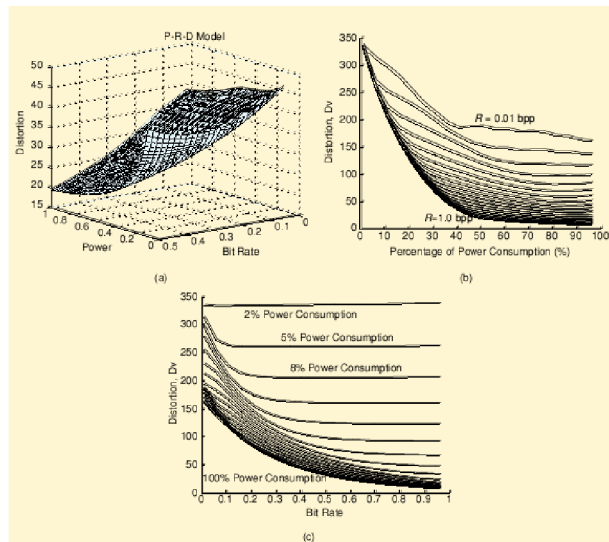


Figure 5. (a) The P-R-D Model, (b) the D-P curves at different bit rates R_i , and (c) the D-R curves for different power consumption levels.

48

Principali algoritmi di compressione per voce, immagini e video

49

Sommario

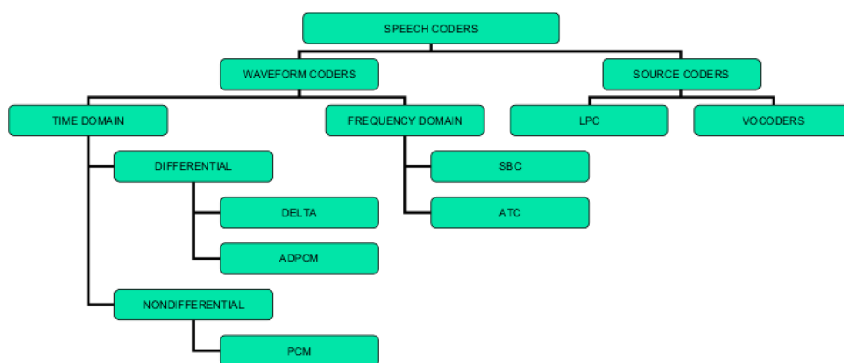
- Compressione della voce
- Compressione di immagini
 - JPEG
- Compressione di video
 - algoritmi
 - principali standard

50

Compressione della voce

51

Principali metodi compressione voce



Courtesy of R. Z. Zaputowycz

52

Pulse Code Modulation (PCM)

- Il segnale vocale viene
 - filtrato a 3.3 kHz
 - campionato a 8 kHz
 - quantizzato su 8 bit
- Quantizzatore logaritmico
 - preciso a volume basso
 - approssimato a volume alto
 - adatto alla percezione umana
- ITU-T G.711
 - 64 kb/s
 - due tipi di curve logaritmiche: uLaw, aLaw

53

Differential PCM (DPCM)

- Il segnale vocale viene
 - filtrato a 3.3 kHz
 - campionato a 8 kHz
 - quantizzato su 16 bit
- Codifica della differenza tra due campioni successivi
- Eliminazione della correlazione statistica

54

Adaptive Differential PCM (ADPCM)

- Il segnale vocale viene
 - filtrato a 3.3 kHz
 - campionato a 8 kHz
 - quantizzato su 16 bit
- Codifica della differenza tra due campioni successivi
- Quantizzazione della differenza variabile nel tempo (**adattativa**)
 - bassa precisione quando il volume e' alto
 - alta precisione quando il volume e' basso
- ITU-T G.726
 - vari bitrate: 40, 32, 24, 16 kb/s

55

Compressione di immagini

56

Immagini in bianco e nero

- Campionamento
 - Griglia di pixel
 - Risoluzione data da colonne x righe
- Quantizzazione
 - 8 bit/pixel --> Matrice di valori interi su 8 bit
 - La quantizzazione può essere uniforme o non-uniforme (p.es., logaritmica), a seconda della distribuzione di probabilità delle intensità e il comportamento percettivo umano.

57

Immagini a colori

- Ogni colore è dato dalla sovrapposizione di 3 componenti
- Tricromia additiva
 - R (rosso)
 - G (verde)
 - B (blu)
- Tre matrici per rappresentare la griglia di pixel

58

Rappresentazione YUV

- In principio la TV era solo in bianco e nero
- Poi avvio delle trasmissioni a colori
 - necessità di poter vedere le trasmissioni a colori anche su televisori in bianco e nero
- Passaggio da rappresentazione RGB a YUV:
 - Y, luminanza (toni di grigio)
 - U e V cromaticanza
- I televisori in bianco e nero usano solo la componente Y
- I televisori a colori decodificano anche U e V

59

Conversione RGB --> YUV

- La componente Y è una media pesata delle componenti RGB
 - $Y = rR + gG + bB$
- $U = B - Y$
- $V = R - Y$
- La conversione RGB --> YUV è una trasformazione lineare
 - reversibile
 - rappresentazione matriciale

$$\begin{bmatrix} Y \\ U \\ V \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r & g & b \\ -r & -g & 1-b \\ 1-r & -g & -b \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix}$$

60

Percezione delle comp. YUV

- L'occhio umano è molto sensibile ai contorni
- I contorni sono veicolati dalla componente Y















- Le componenti U e V possono avere una risoluzione spaziale minore della componente Y senza evidenti perdite di qualità



- Opportunità di compressione (lossy)

61

Formato CIF

Base				3 matrici 352 x 288
4:4:4				3 matrici 352 x 288
4:2:2				1 matrice 352 x 288 e 2 matrici 176 x 288
4:1:1				1 matrice 352 x 288 e 2 matrici 176 x 144

62

Formato Quarter-CIF (QCIF)

Base	R	G	B	3 matrici 176 x 144
4:4:4	Y	U	V	3 matrici 176 x 144
4:2:2	Y	U	V	1 matrice 176 x 144 e 2 matrici 88 x 144
4:1:1	Y	U	V	1 matrice 176 x 144 e 2 matrici 88 x 72

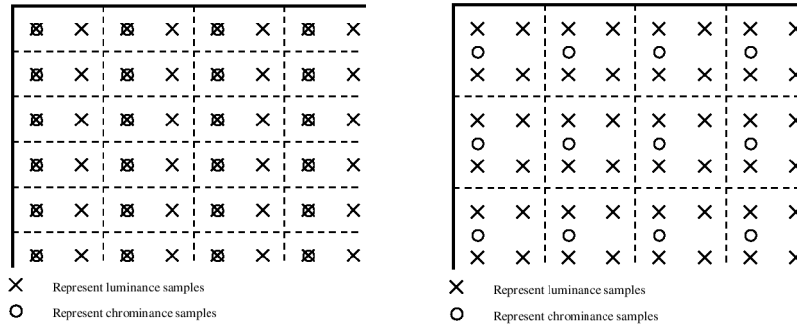
63

Sottocampionamento di U e V

- Prima di sottocampionare le componenti U e V bisogna passarle in un filtro passa-basso al fine di ridurre la larghezza e soddisfare il teorema di Nyquist
- ESEMPIO DIMOSTRATIVO: supponiamo di dover sottocampionare del 50% un'immagine con righe bianche e nere alternate:
- filtrando ottengo un'immagine grigia (OK)
- senza il sottocampionamento avrei un'immagine tutta nera o tutta bianca (**aliasing**)

64

Sottocampionamento: campioni e pixel



4:2:2

4:1:1

65

Sottocampionamento: guadagno

- Formato QCIF
- 8 bit per campione (non per pixel !)
- **4:4:4**
 - $176 \times 144 \times 3 = 76464$ byte
- **4:2:2**
 - $176 \times 144 \times 2 = 50976$ byte
- **4:1:1**
 - $176 \times 144 \times 1,5 = 38232$ byte

66

Sottocampionamento: applicazioni

- **4:4:4**
 - applicazioni studio, mediche e per archiviazione
 - utile quando occorre elaborare più volte l'immagine
- **4:2:2 e 4:1:1**
 - sufficiente per applicazioni domestiche
- **ATTENZIONE**

La compressione 4:2:2 e 4:1:1 si può effettuare solo su matrici YUV

67

JPEG: passi

- Conversione RGB --> YUV
- Sottocampionamento 4:4:4 --> 4:1:1 (**lossy**)
- Eliminazione della correlazione statistica mediante Discrete Cosine Transform (DCT) su blocchi di 8x8 campioni
 - 16x16 pixel --> 4 blocchi Y, 1 U e 1 V
- Quantizzazione dei coefficienti DCT (**lossy**)
- Codifica run-length
- Codifica di Huffman delle coppie run-length

68

Discrete Cosine Transform

- Permette il passaggio dal dominio spaziale a quello delle frequenze spaziali.
 - Sottocaso dello Sviluppo in Serie di Fourier
- In forma matematica, da matrice y a matrice z via moltiplicazione per la matrice che definisce la trasformata
 - $z = A y$ trasformazione diretta
 - $y = A^{-1} z$ trasformazione inversa
 - matrice z : matrice 8x8 dei coefficienti delle componenti cosinusoidali a varie frequenze
- Operazione **lineare** e **reversibile**
 - in teoria non introduce distorsione (**lossless**)
 - in pratica arrotondamento: y e z sono interi, A è float

69

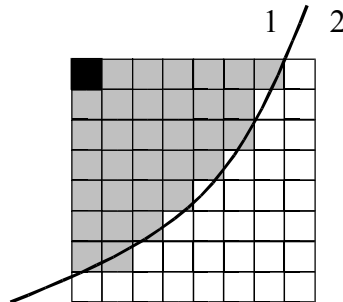
DCT su immagini

- Primo coefficiente --> frequenza nulla --> valor medio di luminosità (oppure U o V)
- Segnale poco ripido --> coefficienti nulli a frequenze elevate
- Segnale ripido --> alti coefficienti a frequenze elevate
- Le immagini naturali contengono molte zone di colore piatte o sfumate
 - molto spesso i coefficienti a frequenze elevate sono nulli
- I contorni degli oggetti introducono alti coefficienti a frequenze elevate

70

Matrice trasformata

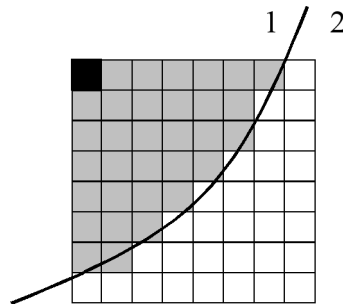
- La cella nera contiene la componente continua
- Le sfumature contribuiscono ai coefficienti nell'area 1
- I bordi invece ai coefficienti nell'area 2
- Spesso, per immagini naturali, l'area 2 contiene molti coefficienti piccoli o nulli.



71

Quantizzazione dei coefficienti DCT

- L'occhio è poco sensibile alla precisione dei coefficienti alle alte frequenze spaziali
- Tutti i coefficienti vengono divisi per delle costanti note al decodificatore
- Al risultato della divisione viene troncata la parte decimale
- Quantizzazione lineare

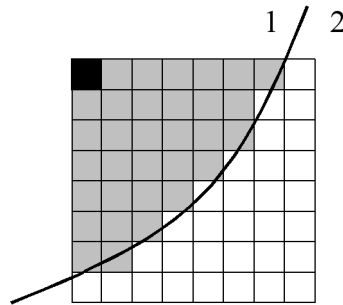


8	16	19	22	26	27	29	34
16	16	22	24	27	29	34	37
19	22	26	27	29	34	34	38
22	22	26	27	29	34	37	40
22	26	27	29	32	35	40	48
26	27	29	32	35	40	48	58
26	27	29	34	38	46	56	69
27	29	35	38	46	56	69	83

72

Quantizzazione dei coefficienti DCT

- I già bassi valori dei coefficienti nell'area 2 diventano spesso nulli
- Maggiore è il divisore e maggiore è l'errore di quantizzazione (irreversibile)
- Introduzione di distorsione (effetto blocchi delle immagini JPEG molto compresse)



8	16	19	22	26	27	29	34
16	16	22	24	27	29	34	37
19	22	26	27	29	34	34	38
22	22	26	27	29	34	37	40
22	26	27	29	32	35	40	48
26	27	29	32	35	40	48	58
26	27	29	34	38	46	56	69
27	29	35	38	46	56	69	83

73

Effetto della quantizzazione dei coefficienti DCT



alto bitrate

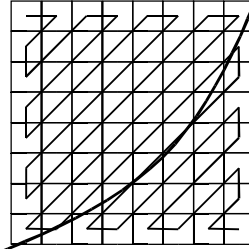


basso bitrate

74

Codifica Run-length dei coefficienti

- Percorso seguito per la scansione dei coefficienti
- Massimizza la probabilità di trovare sequenze di valori uguali
- Dopo la metà del percorso è molto probabile che ci sia un'unica sequenza di zeri che diventa un unico simbolo run-length (simbolo ad alta probabilità)



75

Codifica di Huffman

- Le coppie run-length (valore del coefficiente, ripetizioni) vengono codificate con codici binari a lunghezza variabile.
- Le coppie più frequenti sono rappresentate da codici più corti.

76

Compressione del video

77

Ridondanza spaziale e temporale

- Il Video si può assimilare ad una sequenza di immagini dette **frame**
 - in genere 20-30 frame/s per qualità film.
- La forma di codifica video più semplice consiste nel codificare i frame come immagini indipendenti
 - MotionJPEG --> ogni frame è un JPEG
- Nei video oltre alla correlazione SPAZIALE (DCT – JPEG) esiste anche la correlazione TEMPORALE (cioè tra frame diversi)
- Per eliminare la correlazione temporale si usa la **codifica differenziale con compensazione del moto**

78

Codifica differenziale con compensazione del moto

- Il primo frame viene codificato come in JPEG
 - frame indipendente e autoreferenziante
 - frame INTRA (**I-frame**).
- Per ciascun blocco 16 x 16 pixel (**macroblocco**)
 - Ricerca nel frame precedente dell'area d'immagine più simile al macroblocco (**motion estimation**)
- Codifica INTRA (come in JPEG) della differenza tra le 2 matrici (**residuo**) e codifica della posizione relativa tra le due aree (**vettore di moto**).

79

Motion estimation

- E' una fase computazionalmente intensa
 - consumo di tempo o necessita' di CPU potente
 - consumo di energia
- Si usano soluzioni SUB-OTTIME:
 - si riduce il range di ricerca
 - si compie la ricerca su versioni sottocampionate dei 2 frame (e quindi di dimensioni ridotte)

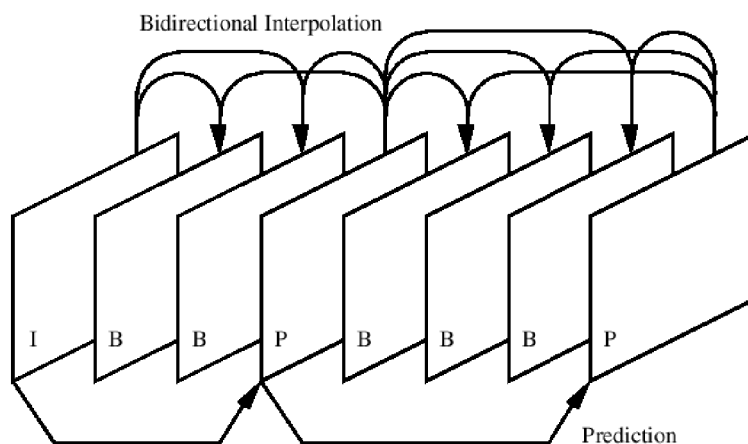
80

Tipi di frame

- Frame di tipo INTRA (I)
 - codifica JPEG indipendente dai frame vicini
- Frame di tipo PREDITTIVO (P).
 - codifica differenziale con compensazione del moto rispetto ad un frame precedente
 - dipendente da tale frame
- Frame di tipo BI-DIRECTIONAL (B).
 - codifica differenziale con compensazione del moto rispetto ad un frame precedente e ad uno successivo
 - aumenta la probabilità di avere residui bassi
 - dipendente da entrambi i frame
 - alta intensita' computazionale

81

Tipi di frame (2)



82

Display vs. Coding Order

- Sequenza di frame come viene catturata o riprodotta (**display order**):
I B P B P B P B P I
Frame # 0 1 2 3
- Ordine di codifica e trasmissione dei frame (**coding order**):
Frame # 0 2 1.....
- Si Codifica il frame 0, poi il frame2, dopodichè avendo informazioni su 0 e 2 si puo' codificare il frame 1 di tipo B. --> **RITARDO ALGORITMICO**

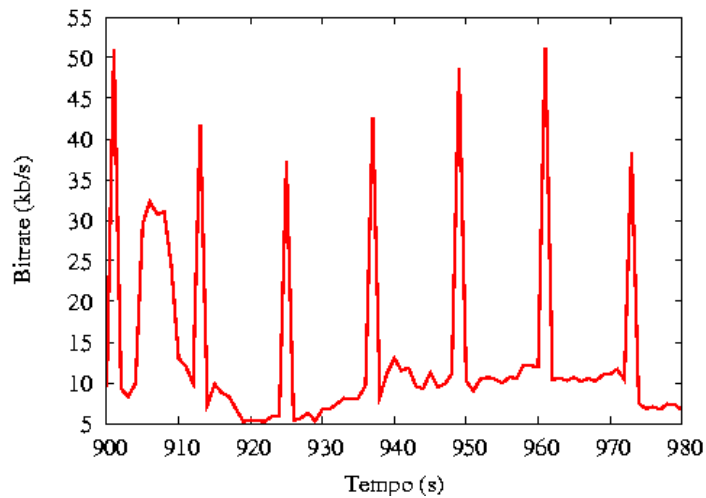
83

Andamento del bitrate

- I frame di tipo I hanno bit-rate più elevato rispetto agli altri perché non implementano la compensazione del moto.
- I frame di tipo B invece hanno il bit-rate più basso perché implementano una doppia compensazione del moto.
- I frame di tipo P hanno una dimensione intermedia.
- La trasmissione di video compresso genera traffico VBR.

84

Trasmissione di video compresso



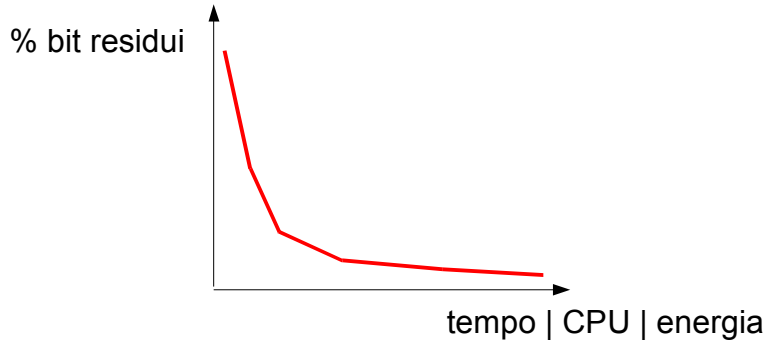
85

Complessità computazionale

- E' il reciproco dell'andamento del bit-rate !
- I frame di tipo I hanno ridotta complessità perché non c'è compensazione del moto.
- I frame di tipo B invece hanno elevata complessità perché effettuano una doppia compensazione del moto.
- I frame di tipo P sono una via di mezzo (effettuano una sola compensazione del moto).
- Occorre tenere conto di tale variabilità nel progetto dell'architettura del codificatore (hardware, software).

86

Complessità computazionale (2)



87

Complessità computazionale (3)

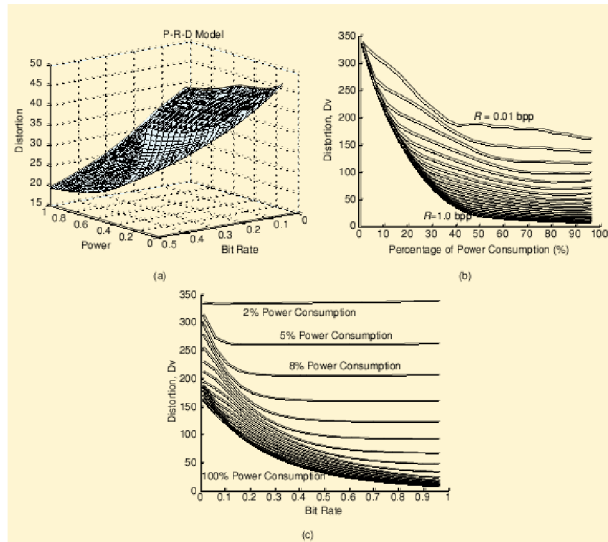


Figure 5. (a) The P-R-D Model, (b) the D-P curves at different bit rates R_i , and (c) the D-R curves for different power consumption levels.

88

Ritardo

- Il ritardo è MINIMO per tutti i frame di tipo I
- MEDIO per i frame I + P
- ALTO per i frame I + P + B dovuto al ritardo algoritmico (quindi indipendente dalla potenza della CPU !)
- Per applicazioni interattive (videoconferenza) si usano solo frame I e P
- Frame di tipo B si usano per lo streaming

89

Standard di compressione video

- ITU-T H.261
 - videoconferenza
- ISO MPEG-1
 - VideoCD (~1.4 Mb/s)
- ISO MPEG-2 / ITU-T H.262
 - DVD (~3 Mb/s)
 - DVB: digitale terrestre e satellite (~2 Mb/s)
- ITU-T H.263
 - videoconferenza
- ISO MPEG-4
 - DivX, XviD (700 kb/s – 5 Mb/s quasi lossless)
- ITU-T H.264 **stato dell'arte !!!**

90