MPEG 1

Ing. Marco Bertini - Università degli Studi di Firenze
Via S. Marta 3 - 50139 - Firenze - Italy
Tel.: +39-055-4796540
Fax: +39-055-4796363
E-mail: bertini@dsi.unifi.it
Web: http://viplab.dsi.unifi.it/~bertini

- Sviluppato inizialmente per video CD
  - Il bitrate di ~1.5 Mbps
- Compressione intra- e inter-frame
- È uno standard ISO (ISO/IEC 11172)
- Viene definito il formato del file
  - …quindi definisce gli algoritmi di decompressione
  - Gli algoritmi di compressione possono variare

- È stato pensato per essere asimmetrico
  - 40 ms per decomprimere, per ottenere 25 fps
    - JPEG è circa simmetrico
  - Sfrutta idee usate nel JPEG
- Si raggiunge qualità broadcast sui 3-4 Mbps, ma in alcuni casi (es. sport) servono 6 Mbps
  - MPEG-2 ottiene prestazioni simili a 4 Mbps, grazie al processing basato su field

- MPEG-1 standardizza la sintassi per la rappresentazione di uno stream codificato ed il metodo di decodifica
- La sintassi dello standard include le operazioni di
  - discrete cosine transformation (DCT),
  - motion-compensated prediction,
  - quantizzazione
  - variable length coding
- Chi disegna l'encoder è libero di implementarlo come vuole/riesce
  - Per esempio non è standardizzato come si fa stimare il moto, per la compressione interframe

Fattori che influenzano la qualità

- Risoluzione del video originale
- Bitrate consentito dopo la compressione
  - Non c'è "graceful degradation"
- Efficacia degli stimatori di movimento
  - Per ridurre gli artefatti di compressione

- MPEG-1 consentirebbe risoluzioni fino a 4095x4095 @ 60 fps
- Tipicamente si ha a che fare con un subset di questi parametri:
  - CPB: Constrained Parameters Bitstream
  - Garantisco compatibilità tra encoder/decoder
  - Standardizzo requisiti

CPB

horizontal resolution	≤ 768 samples
vertical resolution	≤ 576 scan lines
picture area	≤ 396 macroblocks
pel rate	≤ 396 × 25 macroblocks per second
picture rate	≤ 30 frames per second
bit rate	≤ 1.856 Mbps

- Un bit nello stream indica se si usa il CPB
- Un macroblocco è 16x16 pixel
  - 396 macroblocchi > 101.376 pixel
  - Codifico SIF da 352x240 o 352x288

- In codifica si scala 704x480 o 704x576 a risoluzione SIF
  - Tipicamente si ignora il field 2 e si scala orizzontalmente il field 1
- In decodifica viene effettuata la scalatura inversa

- Si cerca di avere sempre un numero di campioni Y divisibile per 16:

  (720/2) / 16 = 22.5…

  (704/2) / 16 = 22… più pratico per i macroblocchi

Risoluzioni tipiche

Resolution	Frames per Second
352×240	29.97
352×240	23.976
352×288	25
320×240^1	29.97
384×288^1	25

- 1 = square pixel

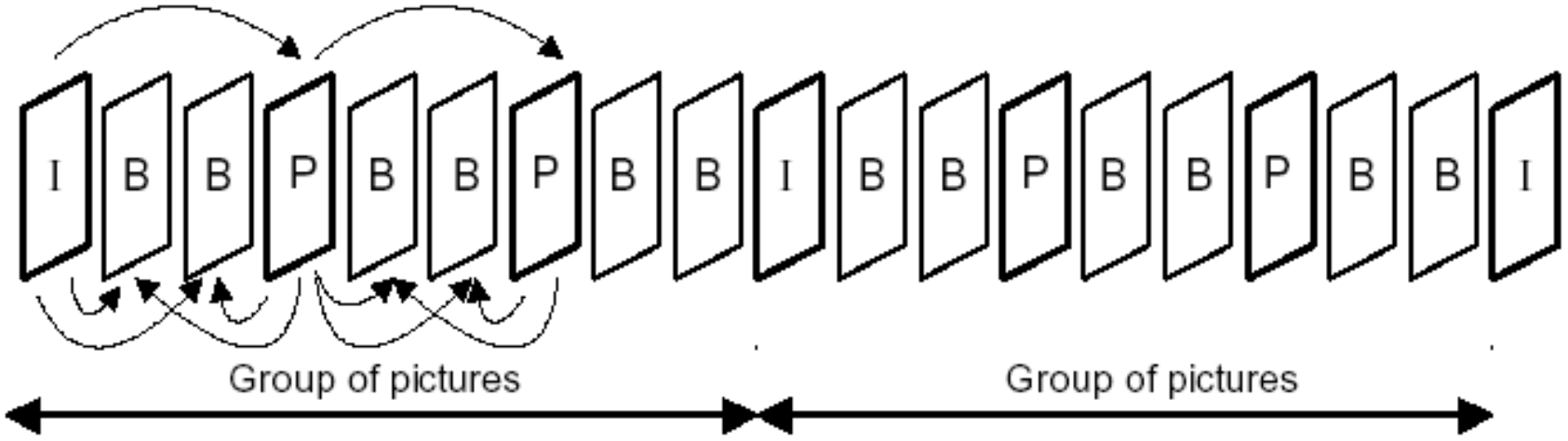
Video interlacciato

- MPEG-1 è nato per gestire video progressivo (non interlacciato)
  - Per migliorare la qualità si potrebbero combinare due field in un frame e codificarlo
  - Nel decoding si separano i due field
  - Si introducono però artefatti dovuti al diverso campionamento temporale degli oggetti in movimento
  - Se servono i field è meglio usare MPEG-2 che li gestisce nativamente

GOP

Una sequenza video è suddivisa in Groups of Pictures (GOPs).

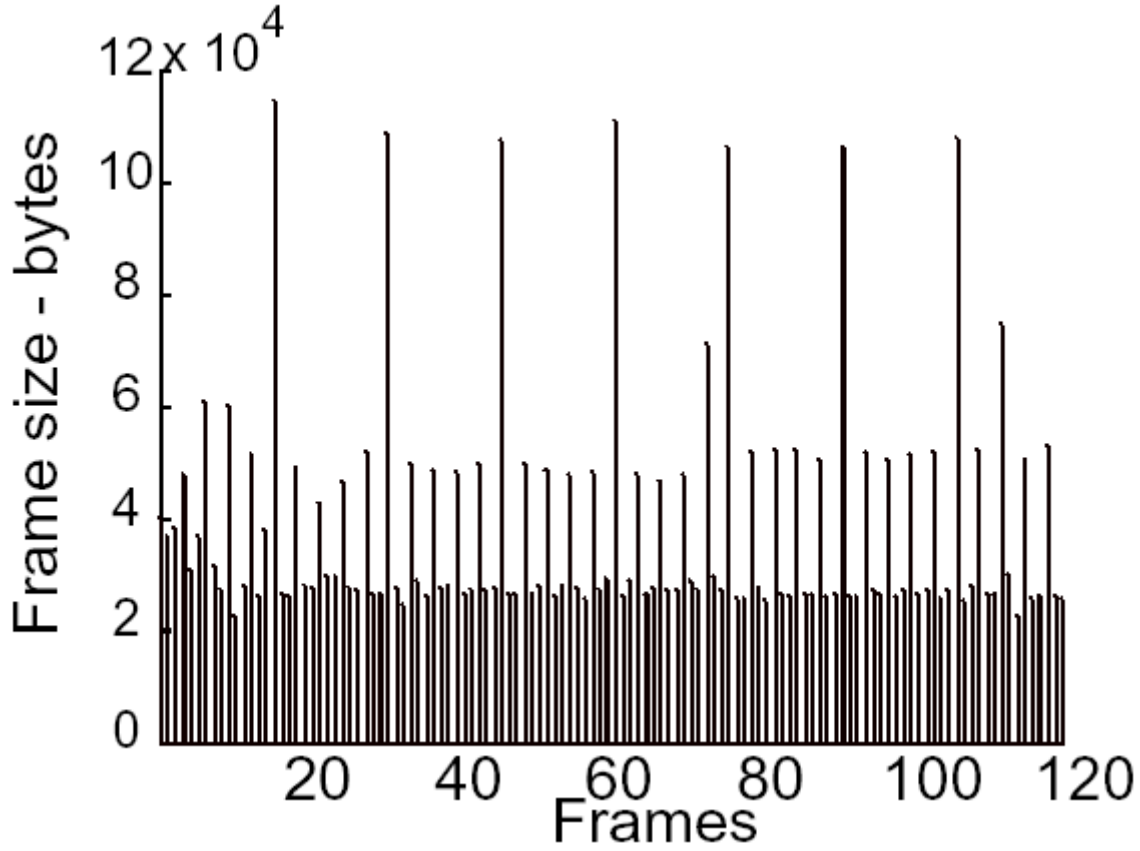
Quattro tipi di fotogrammi: I-, P-, B-, D-picture.
I-, P-: anchor picture; distanza tra loro: M.
Distanza tra I-picture successivi: N
M=3, N=9:



GOP (cont.)

- Le distanze tra I,P e B frame è configurabile in fase di codifica
- Più è piccolo il GOP migliore è la risposta al movimento, ma più piccola la compressione (colpa di I frame)

Es.: dimensione frame

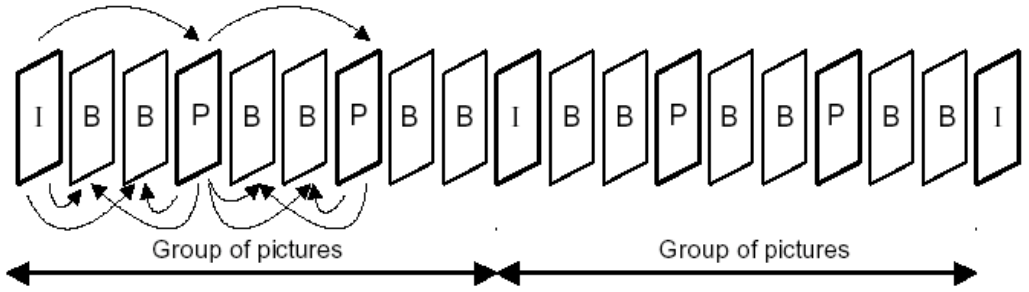


I-Picture, P-Picture

Intra-Coded Picture: codificati indipendentemente, senza riferimento ad altri fotogrammi (anchor).

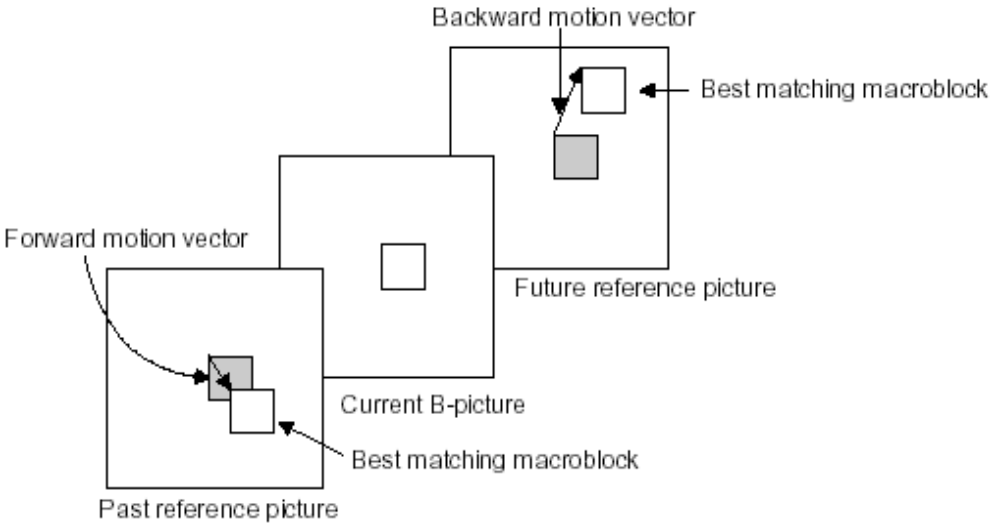
Minimizzazione della propagazione di errori di trasmissione dovuti ad errori nei fotogrammi precedenti. Consente accesso random.

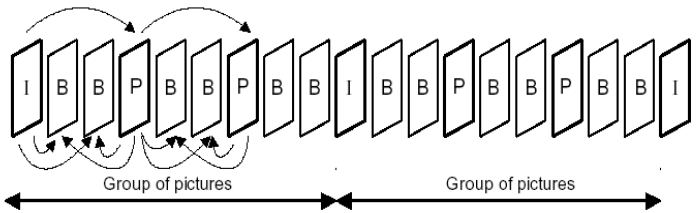
Predictive-Coded Picture: codificati con predizione del moto in avanti (forward motion prediction) partendo da I- o P-picture precedenti.



B-Picture

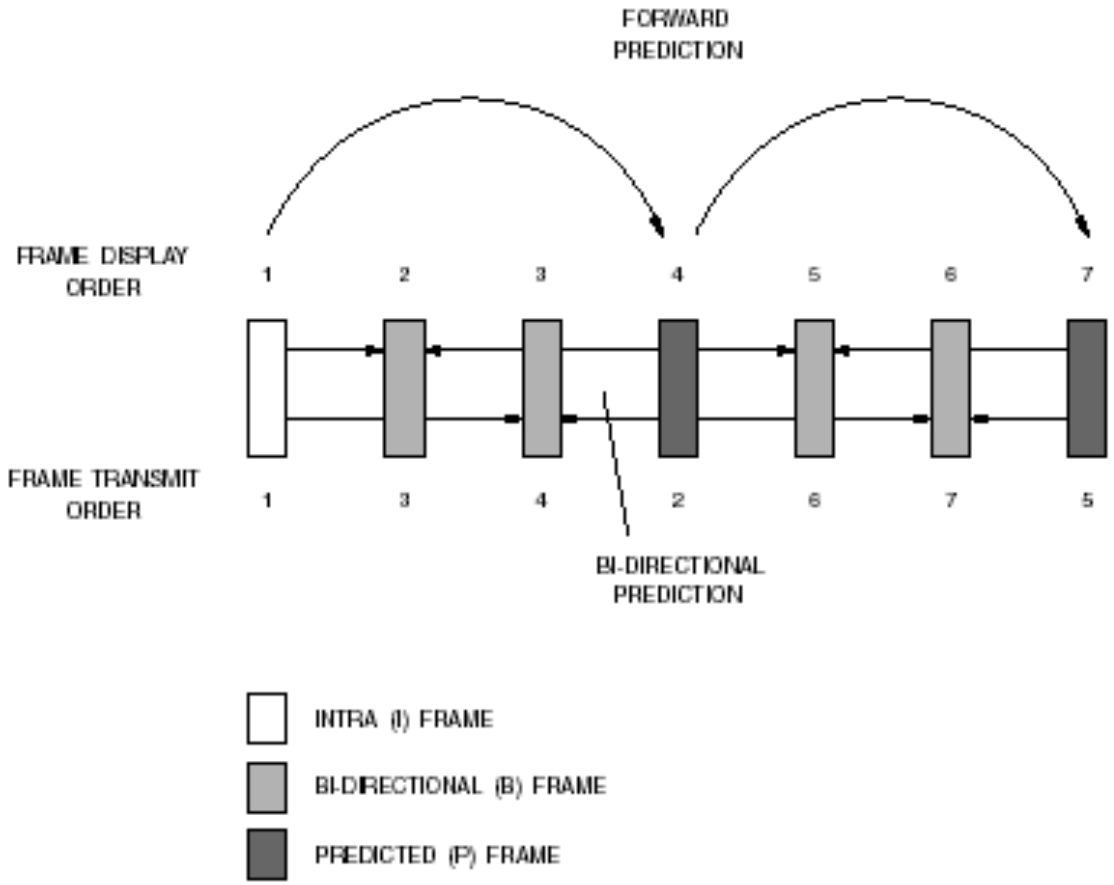
Bi-directional-Coded Picture: codificati con compensazione del moto bidirezionale: predizione basata su passato e futuro usando I- e P-picture (no B-picture). Posso fare una media tra passato e futuro per stabilire il moto.





B-Picture (cont.)

B-Picture: più complicati da codificare, ritardo nella codifica.

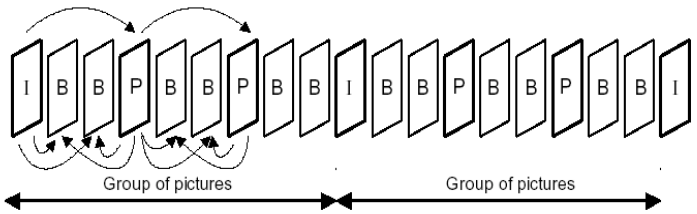


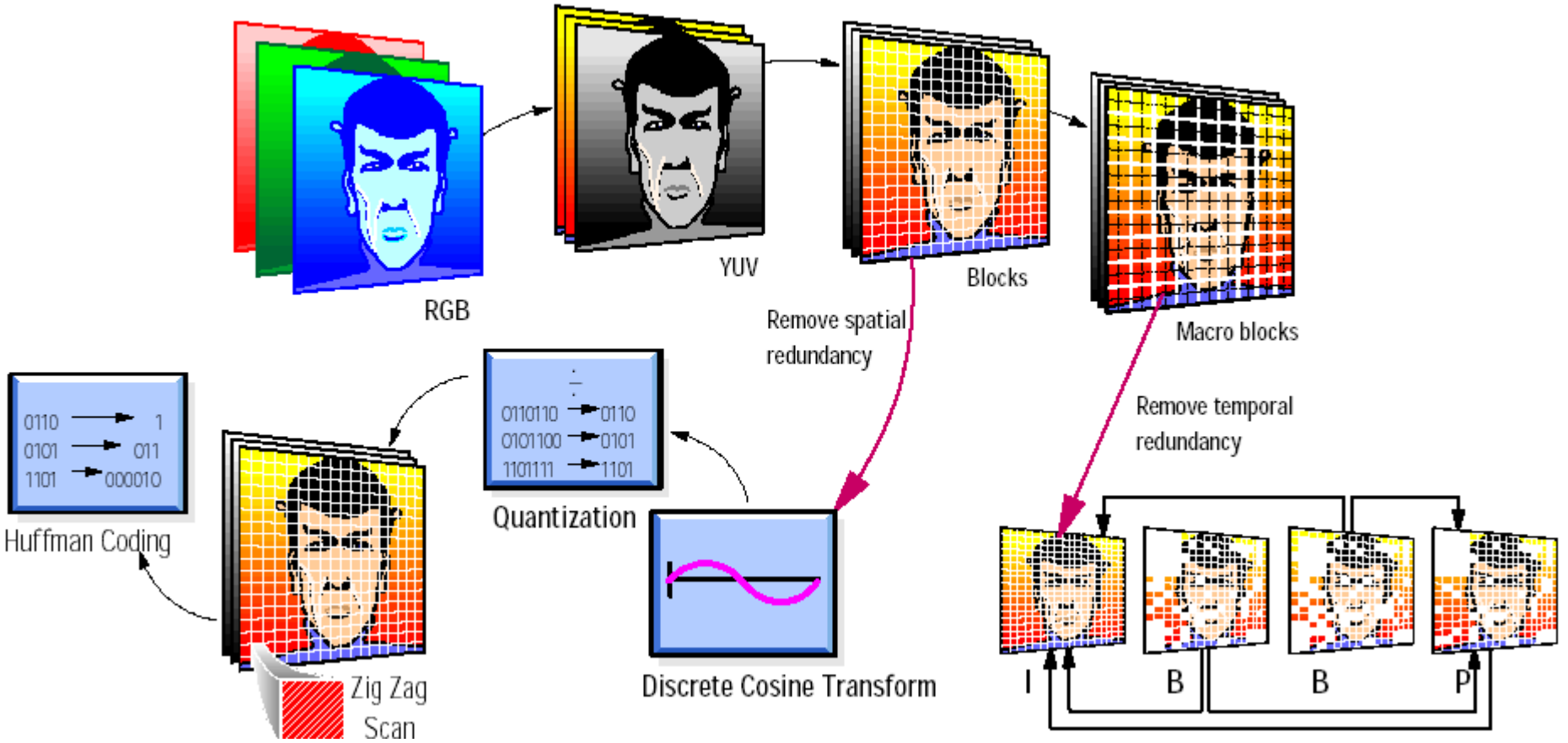
- Un GOP si dice *closed* se può essere decodificato senza usare frame del GOP precedente
- È *open* se richiede qualche frame del GOP precedente
  - Se un GOP finisce con un I o P, oppure con un B che usa solo predizione basata su dati passati allora è closed

D-Picture

DC-Picture: fotogrammi low res che usano solo la componente DC dei coefficienti DCT dei vari macroblocchi.

Sono usati raramente, solo per aiutare a fare un browsing del video, devono stare in sequenze separate.




RGB
YUV
Blocks
Macro blocks
Remove spatial redundancy
Remove temporal redundancy
Discrete Cosine Transform
Quantization
0110110 → 0110
0101100 → 0101
1101111 → 1101
Huffman Coding
0110 → 1
0101 → 011
1101 → 000010
Zig Zag Scan
I
B
B
P

Slice e Macroblocchi

Un frame MPEG è composto da slice.

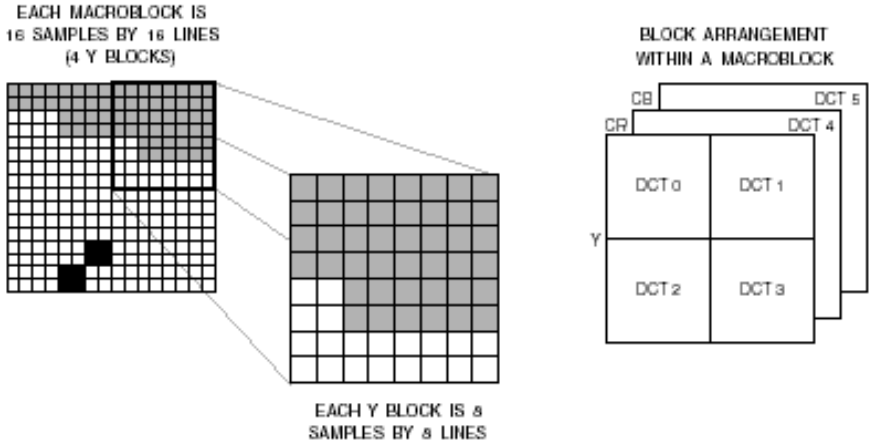
Slice: una sequenza contigua di macroblocchi disposti da sinistra verso destra, alto verso il basso.

Macroblocco: finestra di 16x16 pixel codificata come:

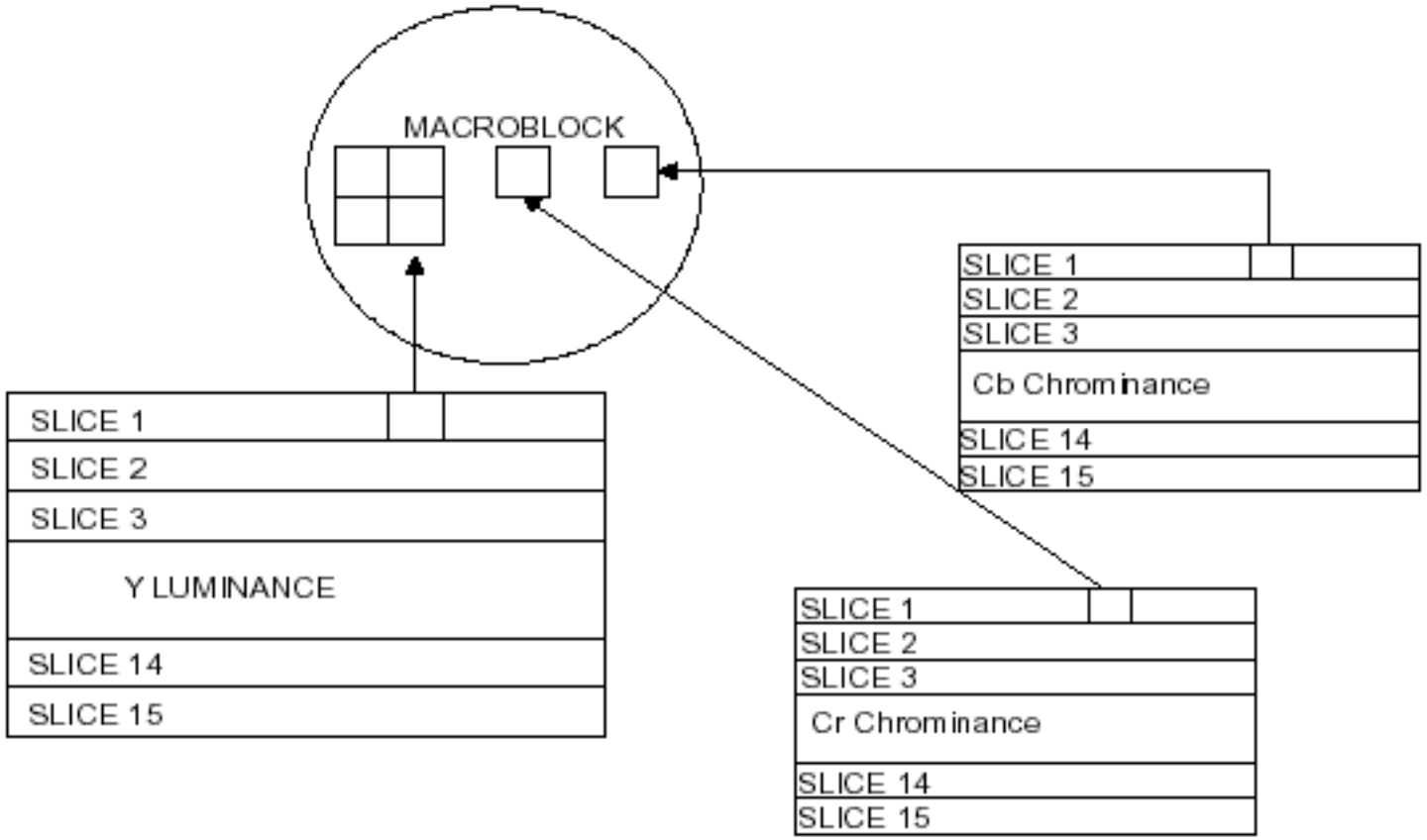
16x16 valori di luminance (Y)

8x8 valori di crominanza (Cb, Cr)

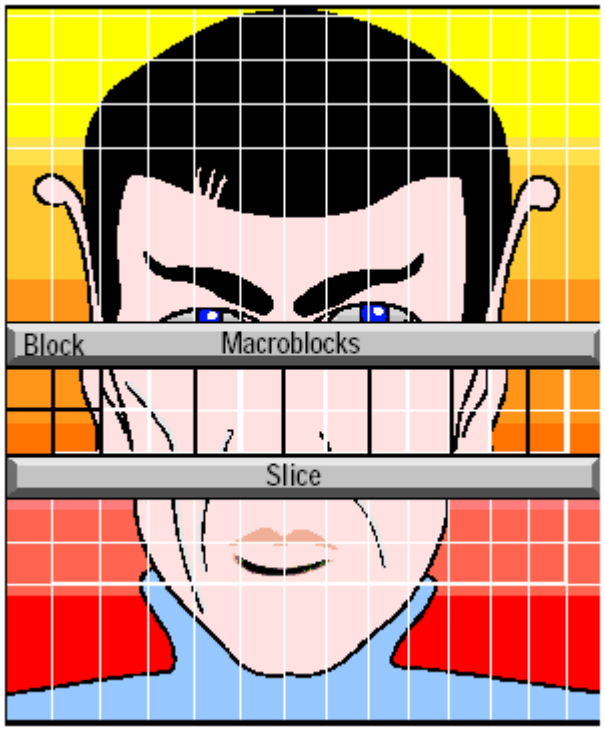
Totale di 6 blocchi 8x8 per macroblocco, più motion vectors.



Slice e macroblocchi



Blocchi, macroblocchi e slice



- Le slice servono a non far propagare troppo eventuali errori
- Non coincidono necessariamente con righe dell'immagine

Slice e macroblocchi

Ogni slice ha uno header che indica la sua posizione a partire dall'alto.

Tipi di macroblocchi: intra, forward-predicted, backward-predicted, averaged.

P-picture: usa sia macroblocchi di tipo intra che forward-predicted.

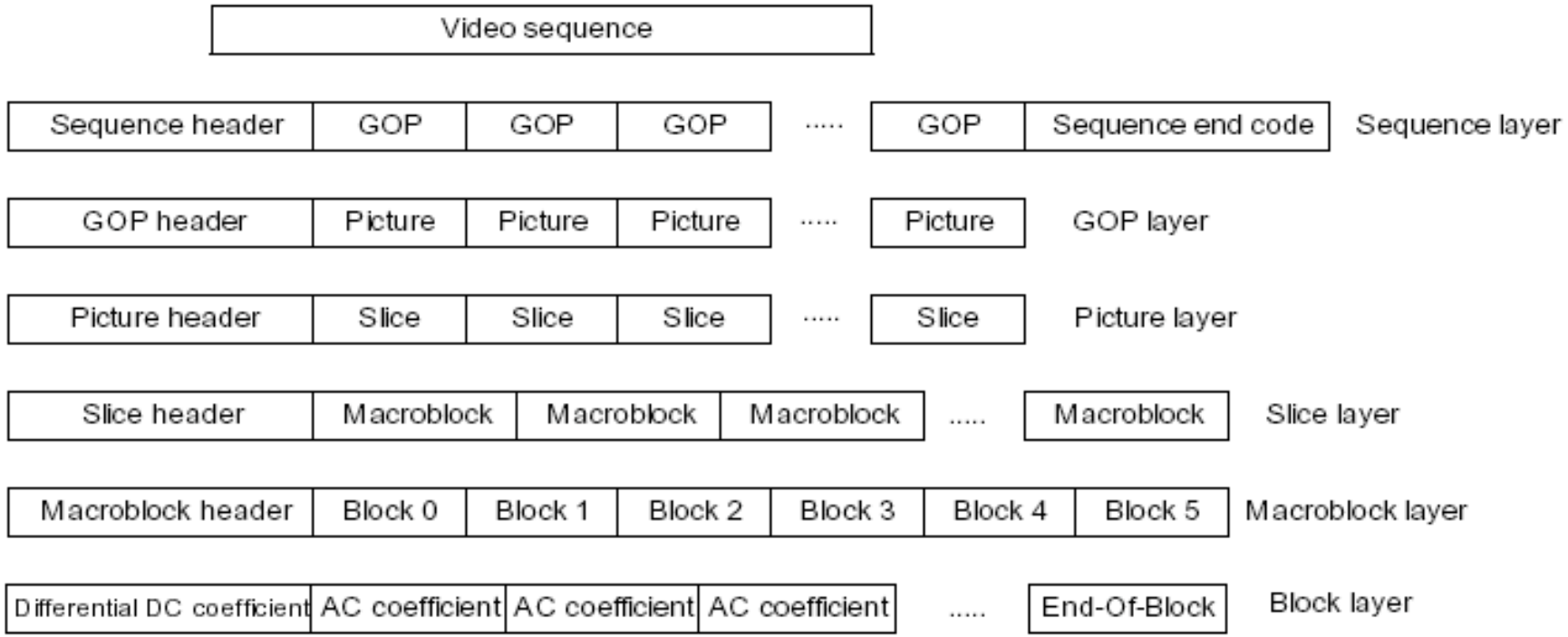
B-picture: può usare tutti e quattro i tipi di macroblocchi.

Skipped macroblock: 0 motion, copio il macroblocco dal frame precedente

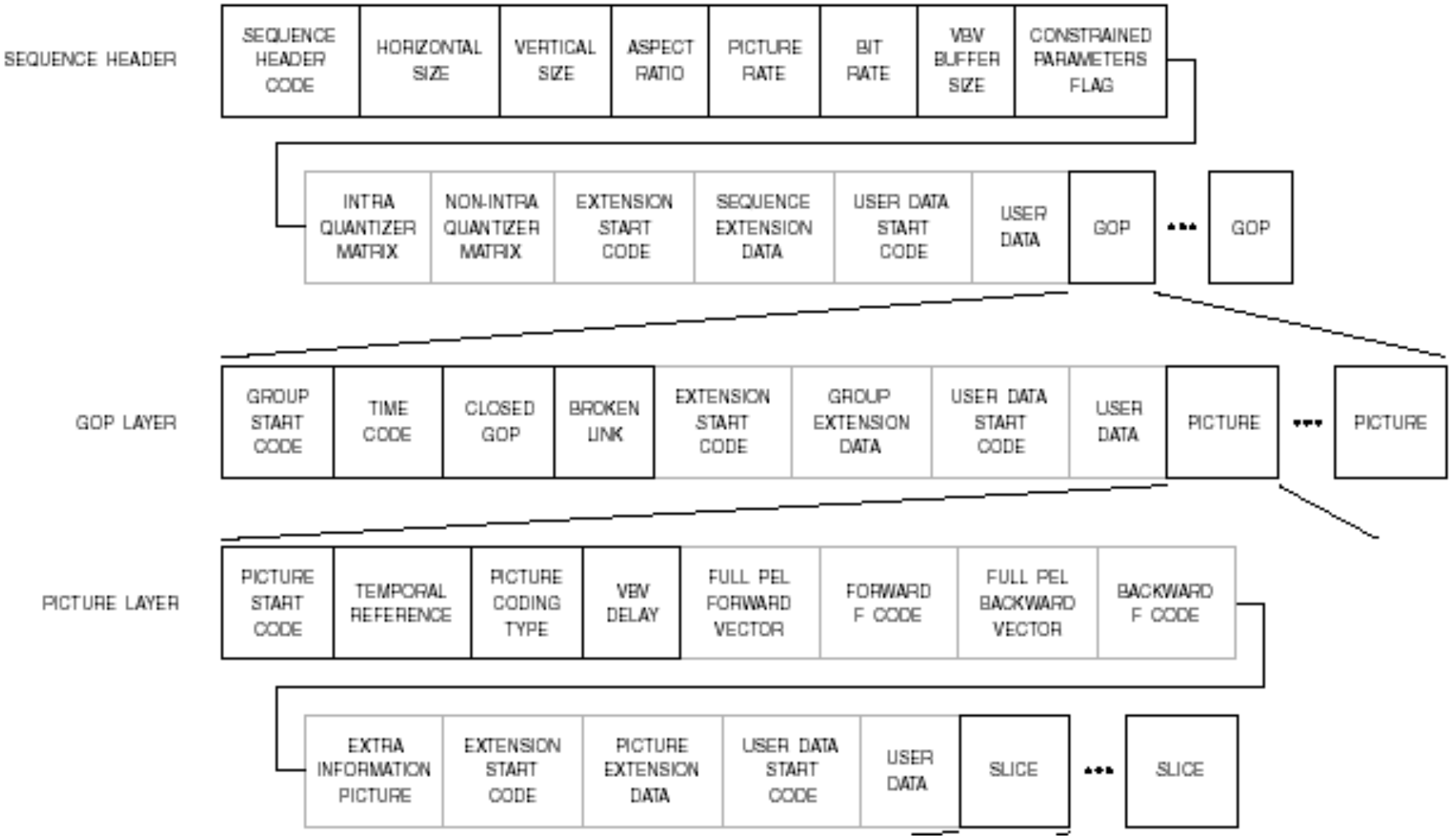
I 6 layer di MPEG

- Sequence: unità di accesso random per il contesto
- GOP: unità di accesso random del video. È la più piccola unità di codifica indipendente nella sequenza
- Picture: unità di codifica primaria
- Slice: unità di risincronizzazione
- MB: unità di compensazione del moto
- Block: unità per la DCT

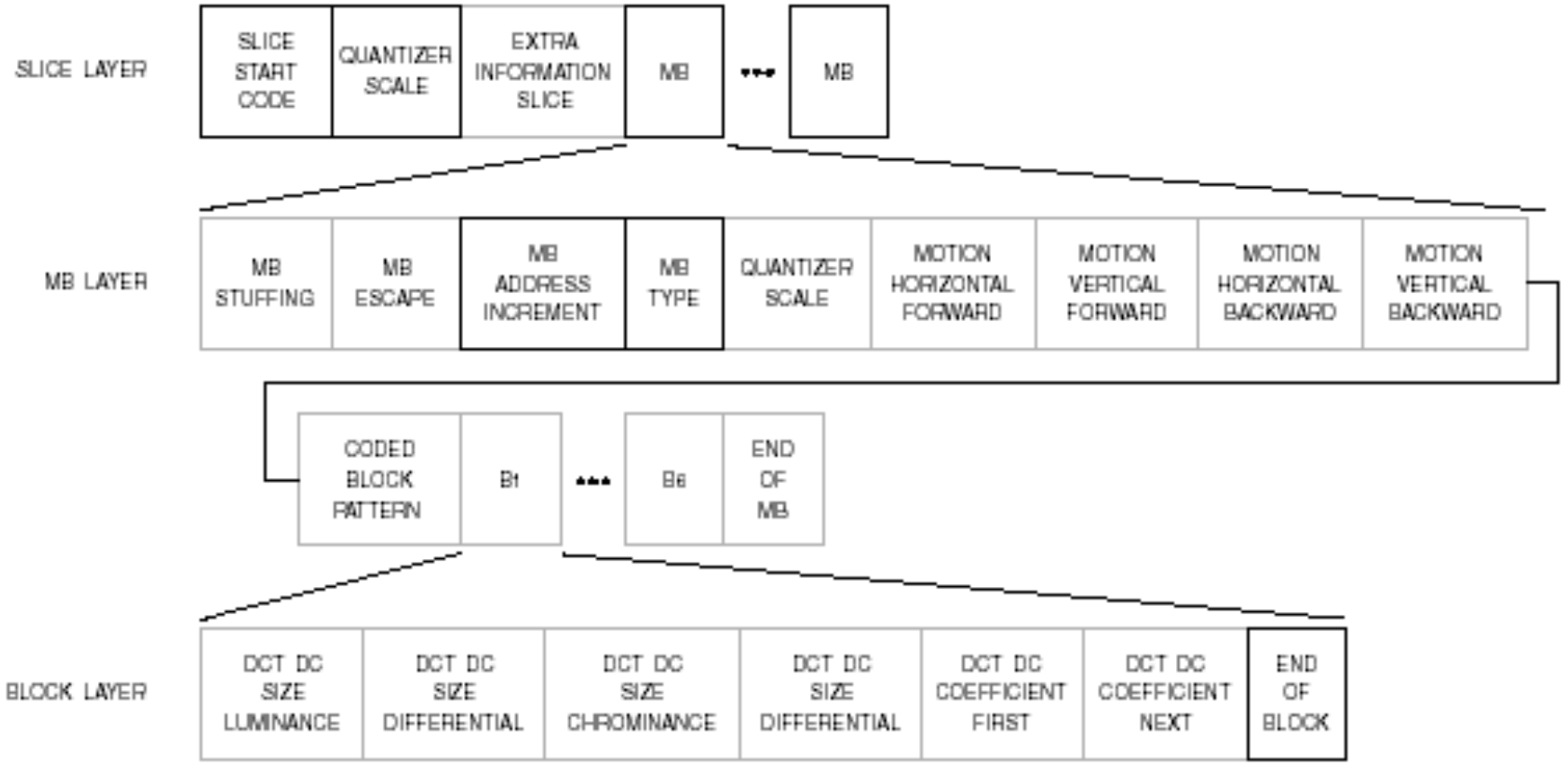
MPEG-1 video bit-stream layers



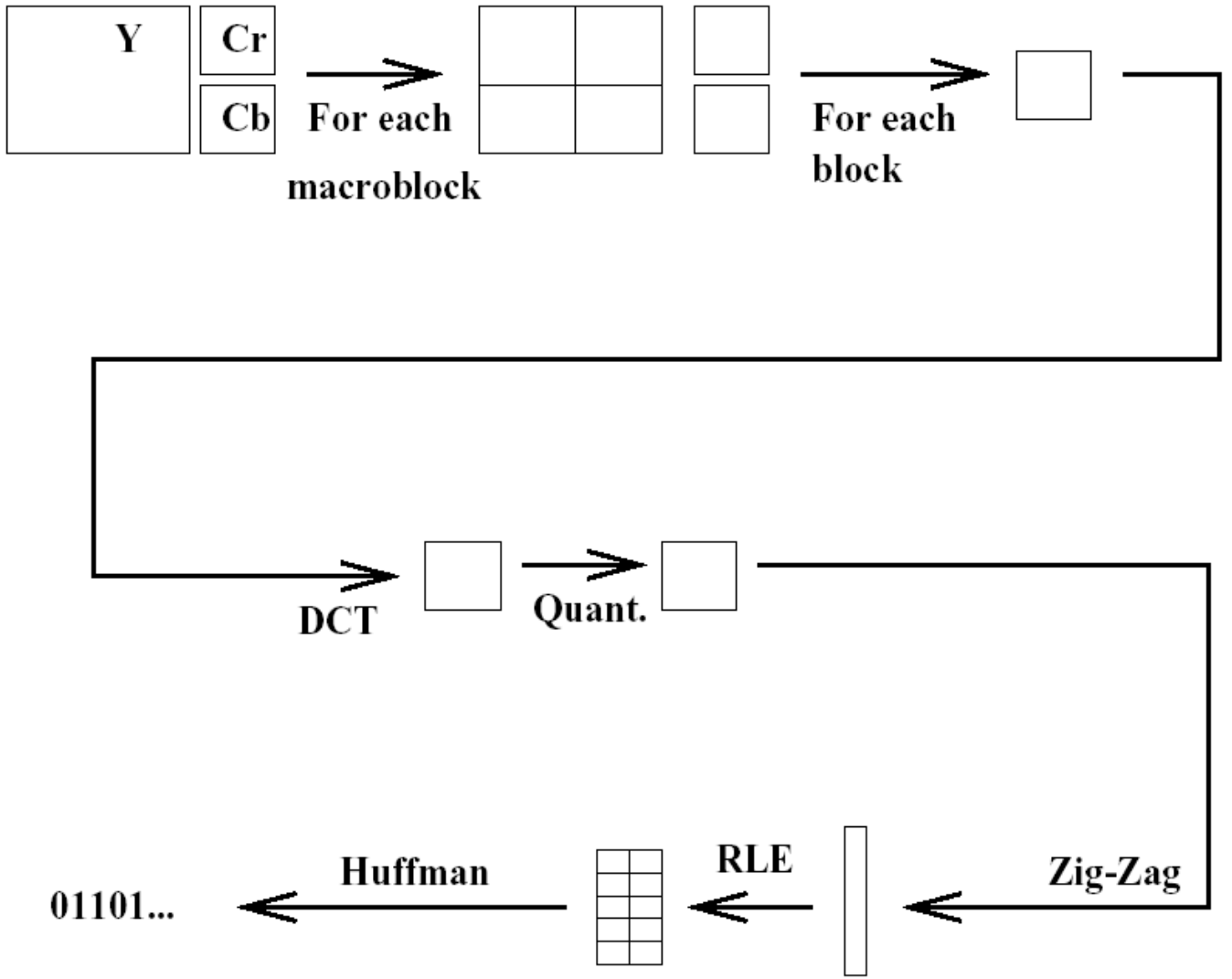
MPEG-1 video bit-stream layers: dettagli 1/2



MPEG-1 video bit-stream layers: dettagli 2/2



I-frame: passi di compressione



Compressione intra

- I blocchi che devono essere codificati intra sono processati con DCT 8x8
  - DCT e IDCT sono lossless !
- I coefficienti sono quantizzati (passo lossy)
  - Il passo di quantizzazione deriva da una matrice e da un fattore di scala (può cambiare tra macroblocchi)

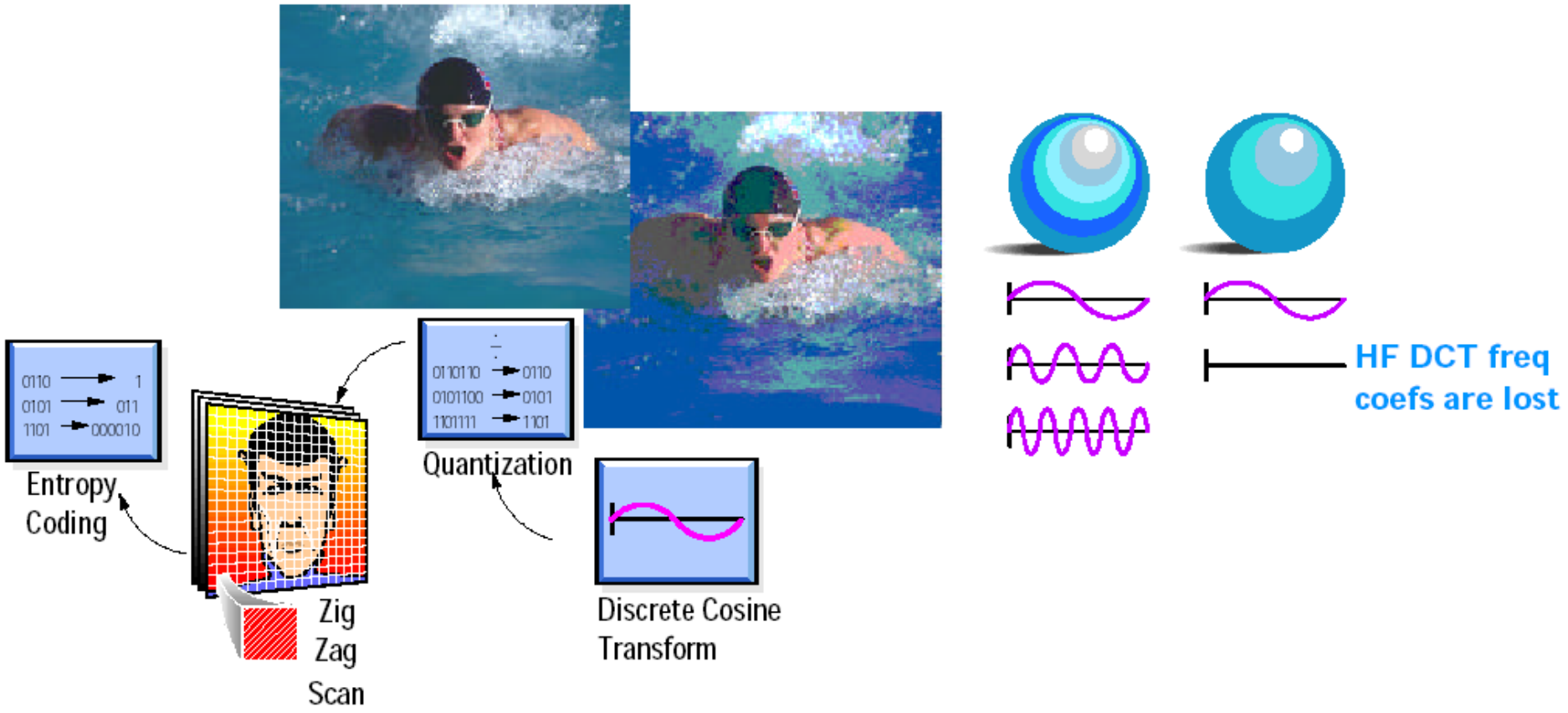
Matrice di quantizzazione

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

- Matrice di quantizzazione di default
  - In MPEG-1 la posso cambiare per l'intera sequenza
  - In MPEG-2 la posso cambiare ad ogni picture
- Le frequenze più alte sono divise per un numero più alto: si cerca di far andare a zero il maggior numero possibile di alte frequenze
  - Usando il fattore di scala della matrice si aumenta l'effetto !

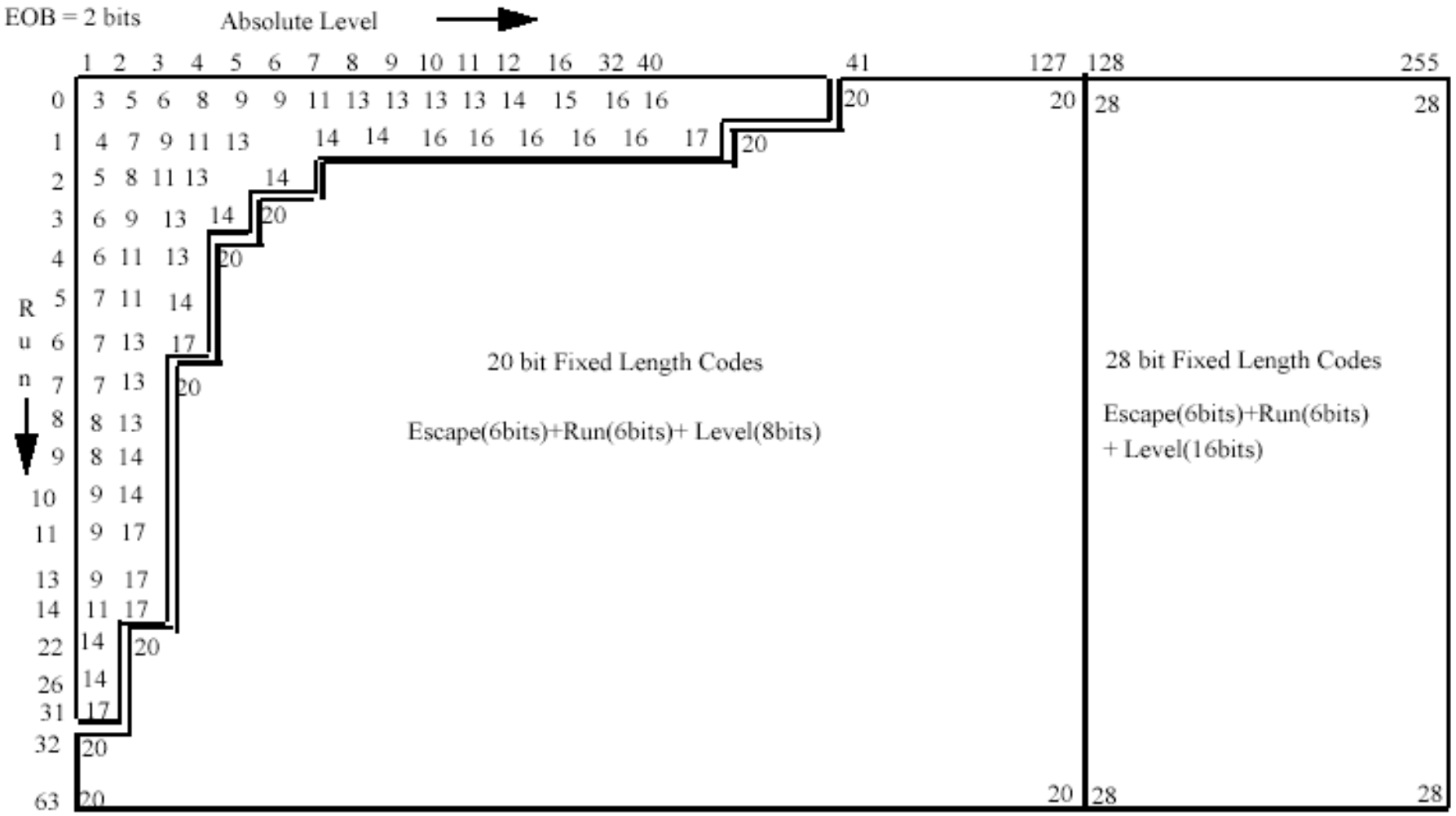
- Le matrici di quantizzazione intra e non intra possono essere cambiate, inviandole a livello di sequence layer (vedi fig. prec.)

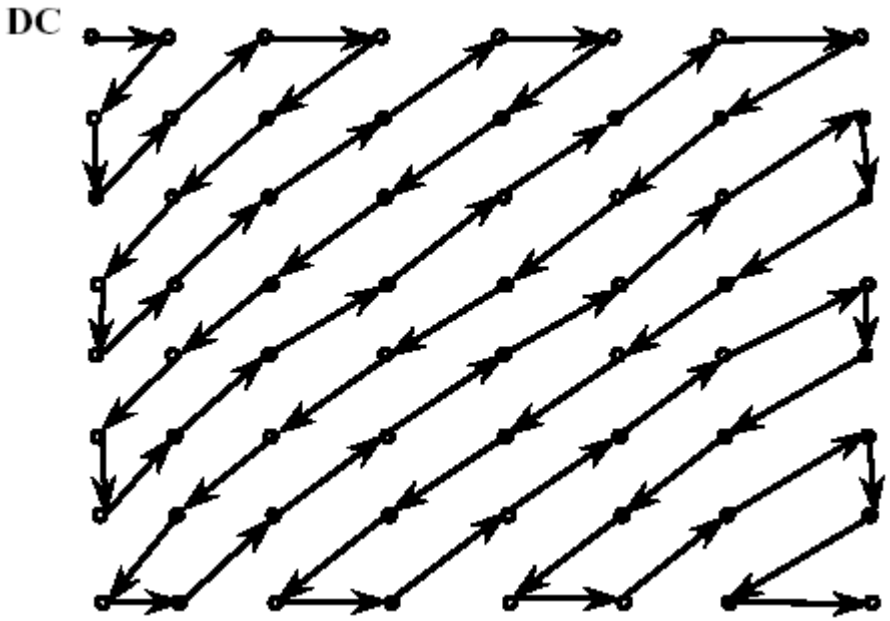
- Il quantizer scale code può essere trasmesso a slice e macroblock layer


0110 → 1
0101 → 011
1101 → 000010
Entropy Coding
0110110 → 0110
0101100 → 0101
1101111 → 1101
Quantization
Zig Zag Scan
Discrete Cosine Transform
HF DCT freq coefs are lost

- I coefficienti sono scansionati a zig-zag creando uno stream 1D (da 2D di partenza)
  - Si producono sequenze di coefficienti di valore 0
  - Compressione lossless con *run level encoding* e Huffman (VLC: variable length coding)
  - Le combinazioni *run length* e *level* sono codificate secondo una tabella creata su base statistica
  - Se la combinazione non è presente in tabella si usa un carattere di escape e poi si codifica la sequenza

Dimensioni VLC

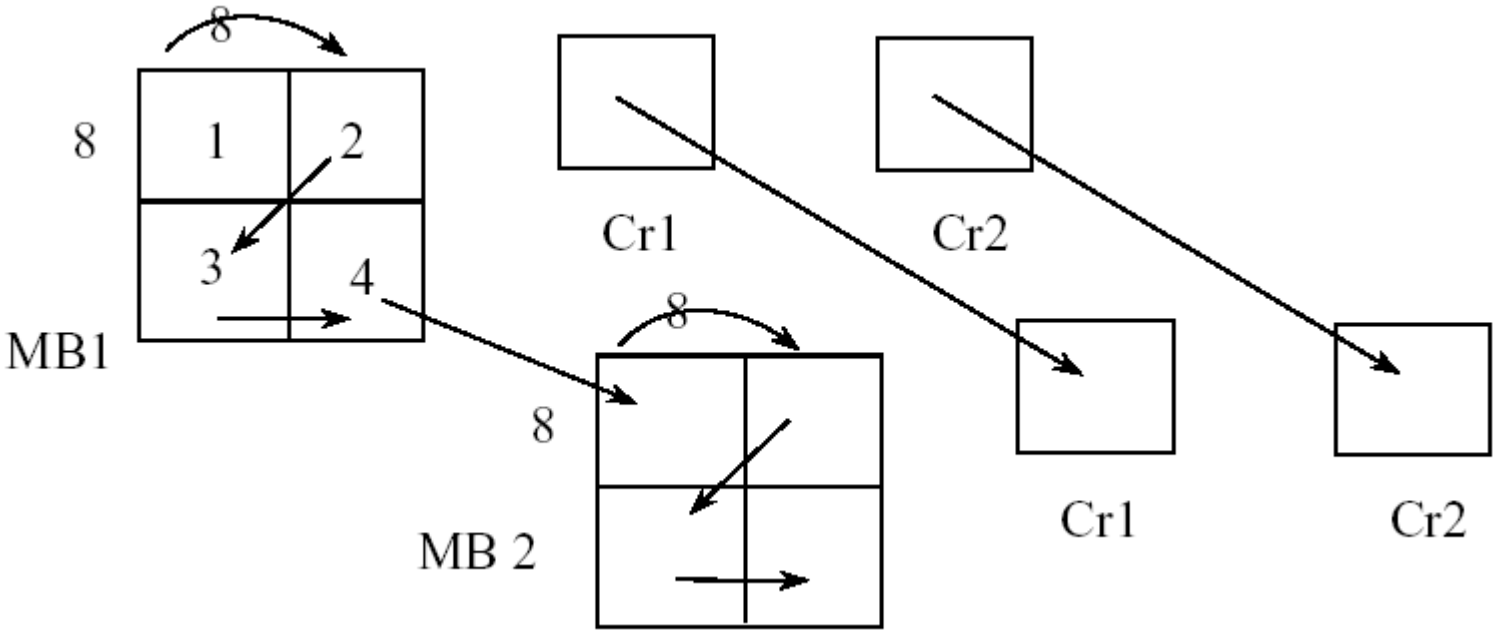


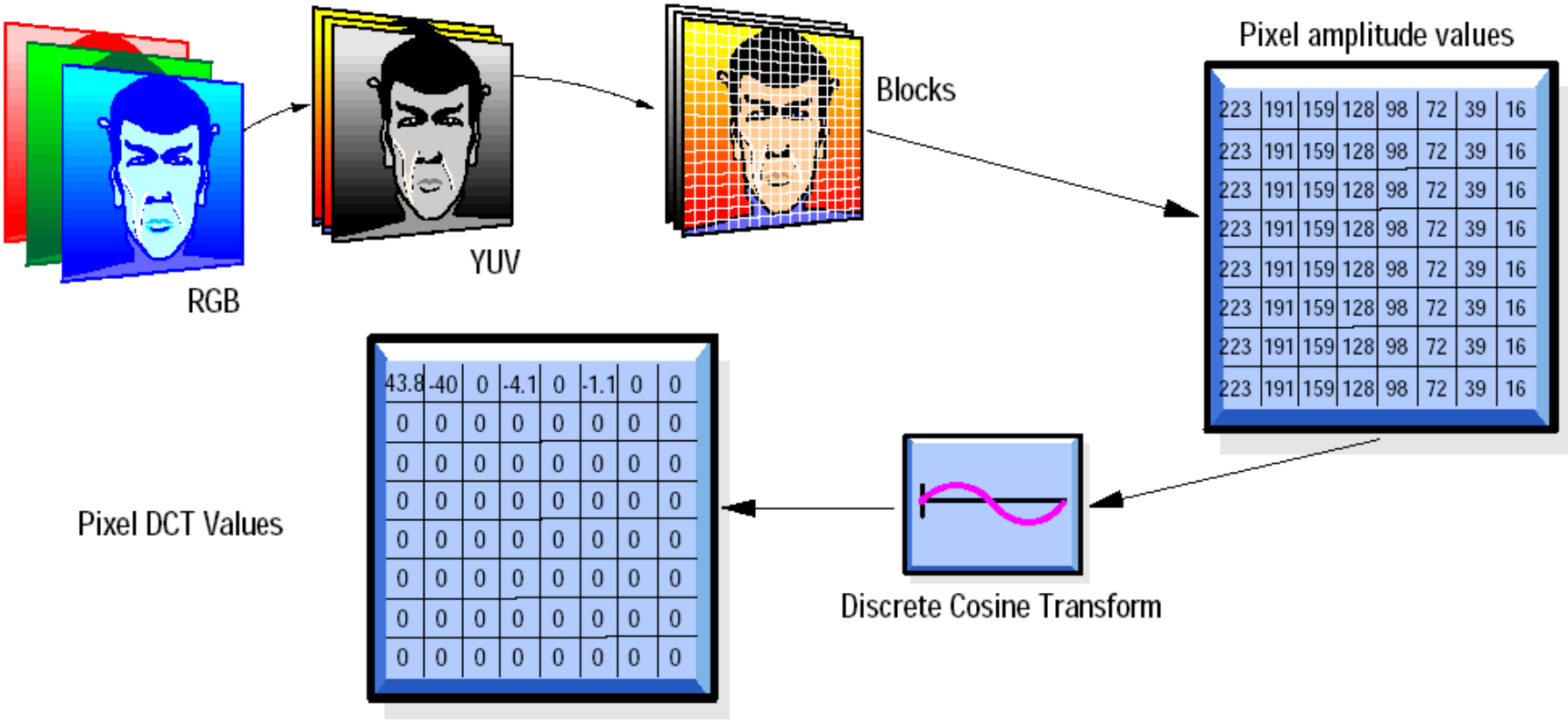


- In MPEG-2 si può usare anche un’altra scansione zig-zag: serve per la gestione dei field

Predizione DC

- Per i coefficienti DC si codificano le differenze tra blocchi all'interno del macroblocco
  - Ad inizio slice il valore di previsione DC è 1024
  - Tabelle standard (diverse per Y e CbCr), è un VLC

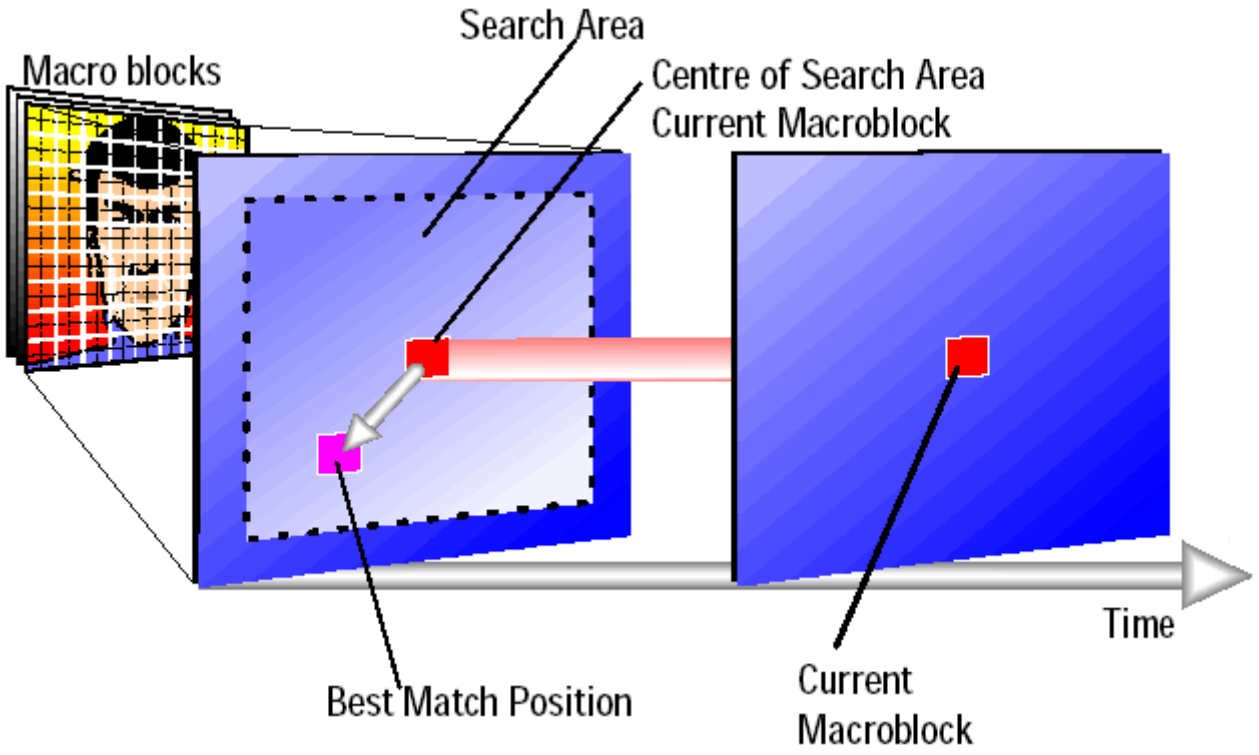

8
8
1
2
3
4
MB1
Cr1
Cr2
8
8
MB 2
Cr1
Cr2


RGB
YUV
Blocks
Pixel amplitude values
223 191 159 128 98 72 39 16
223 191 159 128 98 72 39 16
223 191 159 128 98 72 39 16
223 191 159 128 98 72 39 16
223 191 159 128 98 72 39 16
223 191 159 128 98 72 39 16
223 191 159 128 98 72 39 16
223 191 159 128 98 72 39 16
Discrete Cosine Transform
Pixel DCT Values
43.8 -40 0 -4.1 0 -1.1 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0

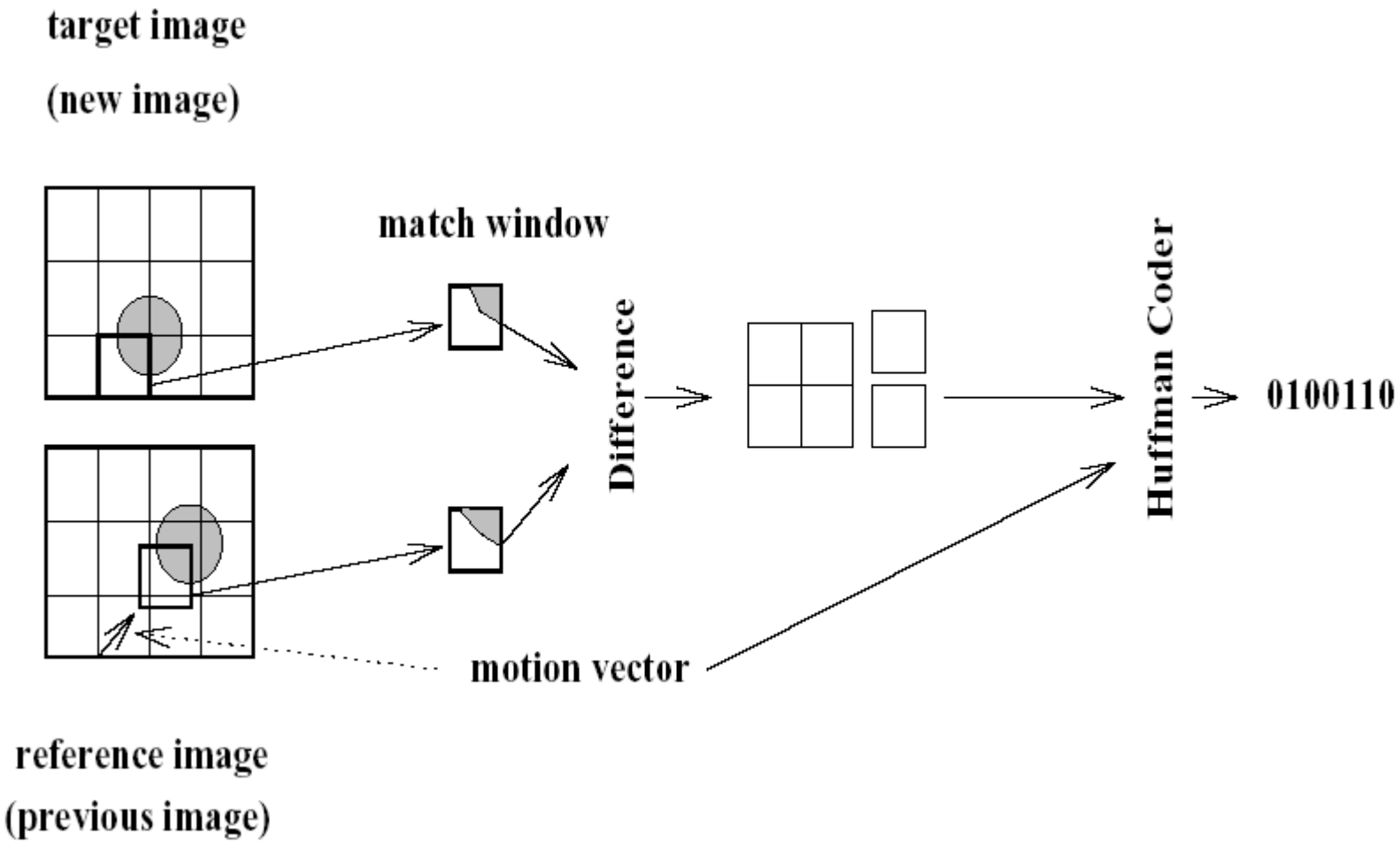
Compressione I-frame: riassunto

- Sono usate le seguenti tecniche:
  - Subsampling (per la crominanza)
  - Transform coding (DCT + zig-zag)
  - RLE (coefficienti AC)
  - Predictive coding (DPCM per coefficienti DC)
  - Entropy coding (Huffman)
  - Quantizzazione (sia coeff. DC che AC)

- È la stima del moto che riduce veramente la dimensione del filmato.
  - Le tecniche precedenti sono leggermente meglio di JPEG



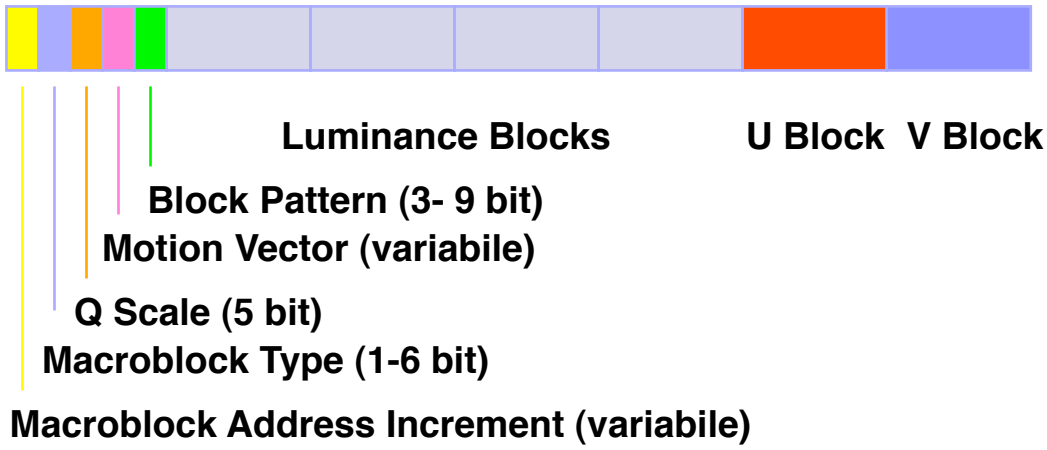
P-frame : passi di compressione



Codifica P-frame: scelta tipo blocchi

- È compito dell'encoder scegliere se codificare un macroblocco come intra o come predetto
- Un possibile meccanismo compara la varianza della componente luminanza del macroblocco originale con il macroblocco errore
  - Se la varianza dell'errore predetto è maggiore il macroblocco è codificato intra

P-Macroblock



Macroblock Type determina se esistono Q Scale, Motion Vector, o Block Pattern.
In un macroblocco P uno o anche tutti i blocchi possono essere assenti.
Block pattern indica quali blocchi sono presenti.

Address Increment

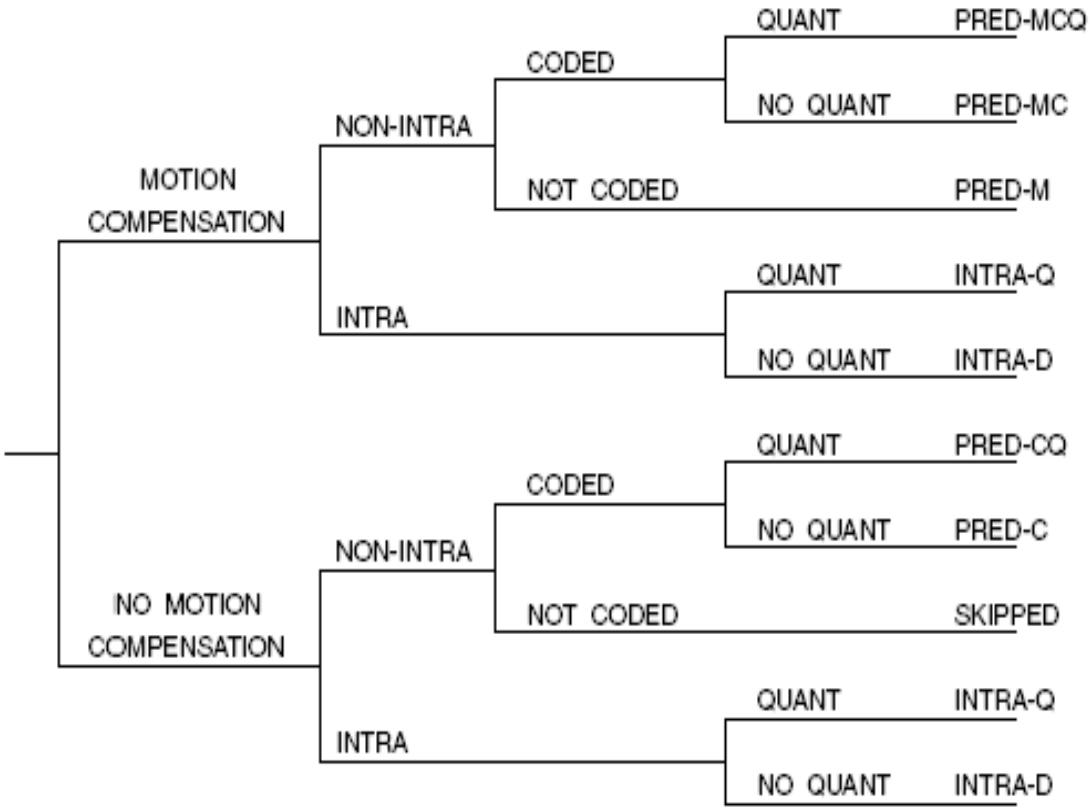
- ogni macroblocco ha un indirizzo.
  - MB_WIDTH = luminance width / 16
  - MB_ROW = # riga pixel alto a sx/ 16
  - MB_COL = # col. pixel alto a sx / 16
  - MB_ADDR = MB_ROW * MB_WIDTH + MB_COL
- Il decoder mantiene l'indirizzo del macroblocco precedente PREV_MBADDR.
  - Impostato a `-1` all'inizio del frame.
  - Impostato a `(SLICE_ROW*MB_WIDTH-1)` all'inizio dell'header dello slice.
- L'indirizzo dell'incremento del MB è sommato a PREV_MBADDR per dare l'indirizzo del MB corrente.

Address Increment Coding

- È codificato con Huffman, secondo tabella predefinita:
  - 33 codici (1-33).
    - 1 il più piccolo (1-bit)
    - 33 il più grande (11-bit)
  - 1 codice di ESCAPE
    - ESCAPE significa: aggiungi 33 al codice di incremento indirizzo che segue.
    - Si possono usare più ESCAPE in sequenza per codificare distanze grandi.
- Questa codifica è usata anche per gli I-frame.

MB Type

- Codificato con Huffman.
  - 8 tipi di macroblocchi (1 - 6 bit)
- Determinano le seguenti caratteristiche del MB:
  - Intra o non-intra.
  - Q scale specificato o no.
  - Motion vector esistente o no.
  - Block pattern esistente o no.
- Non tutte le combinazioni sono possibili.
- C’è una tabella nello standard che indica i codici.



- Albero di scelta dell'encoder per selezionare il tipo di macroblocco

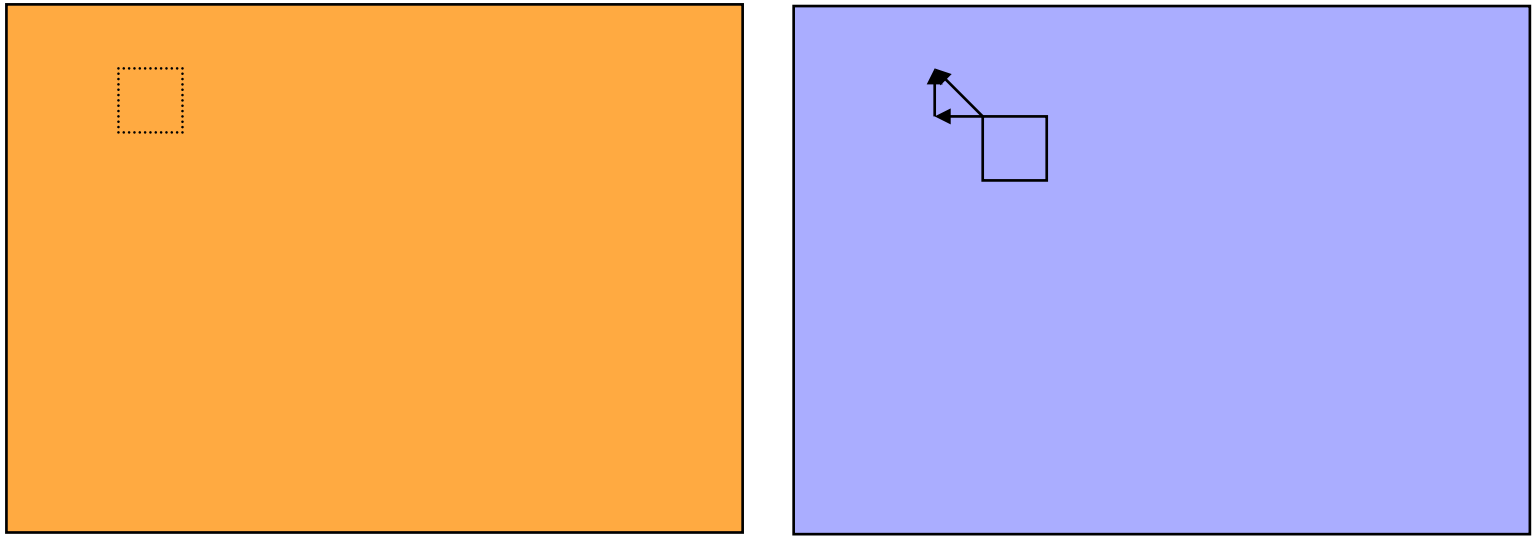
Quantization Scale

- 5 bit.
- Zero è illegale.
- Codifica valori tra 1 e 31 che sono interpretati come valori tra 2 e 62 per il fattore Q Scale.
  - Non si codificano valori dispari.
- Il decoder mantiene il q-scale corrente.
  - Se non è specificato continua ad usare il q-scale corrente.
  - Altrimenti rimpiazza il q-scale e lo usa come nuova base di q-scale.

Motion Vector

- Due componenti:
  - Offset orizzontali e verticali.
  - L'offset è calcolato a partire dal pixel in alto a sx. del MB.
  - Valori positivi indicano in alto e a dx.
  - Valori negativi indicano in basso e a sx.
- Il motion vector è usato per definire una base predittiva per il MB corrente partendo dall'immagine di riferimento.

Motion Vector



I- o P- Frame di riferimento (già decodificato)

P-Frame

NON è necessario che la base predittiva sia allineata secondo i MB.

Si può avere un vettore di moto con precisione di mezzo pixel, in questo caso la base predittiva usata è ottenuta per interpolazione (bilineare).

Motion Vector Encoding

- Se non è specificato il motion vector allora lo si considera come (0,0).
- Prima si indica la componente orizz. e poi la verticale.
- Si usa la predizione anche per i vettori di moto.
  - Impostata a 0,0 all'inizio di frame o di slice o di MB tipo I.
  - La differenza tra predittore e valore del vettore è codificata con Huffman.

Predictive Base

- I MB di tipo P hanno sempre una base predittiva:
  - Scelta secondo il vettore di moto (che indica un'area) oppure…
  - … se non c'è vettore di moto (implicitamente pari a 0,0) la base predittiva è lo stesso MB nel fotogramma di riferimento.

Block Pattern

- Lo scopo della compensazione di moto è quello di trovare una base predittiva che assomigli il più possibile al MB in analisi.
  - Se il match è particolarmente buono allora non dobbiamo neanche indicare la differenza da codificare !.
- Il Block pattern indica quali blocchi hanno un errore abbastanza grande da dover essere codificato.
  - Codice VLC per codificare le 64 combinazioni possibili
- Se non c'è il block pattern allora significa non abbiamo bisogni di codificare nulla

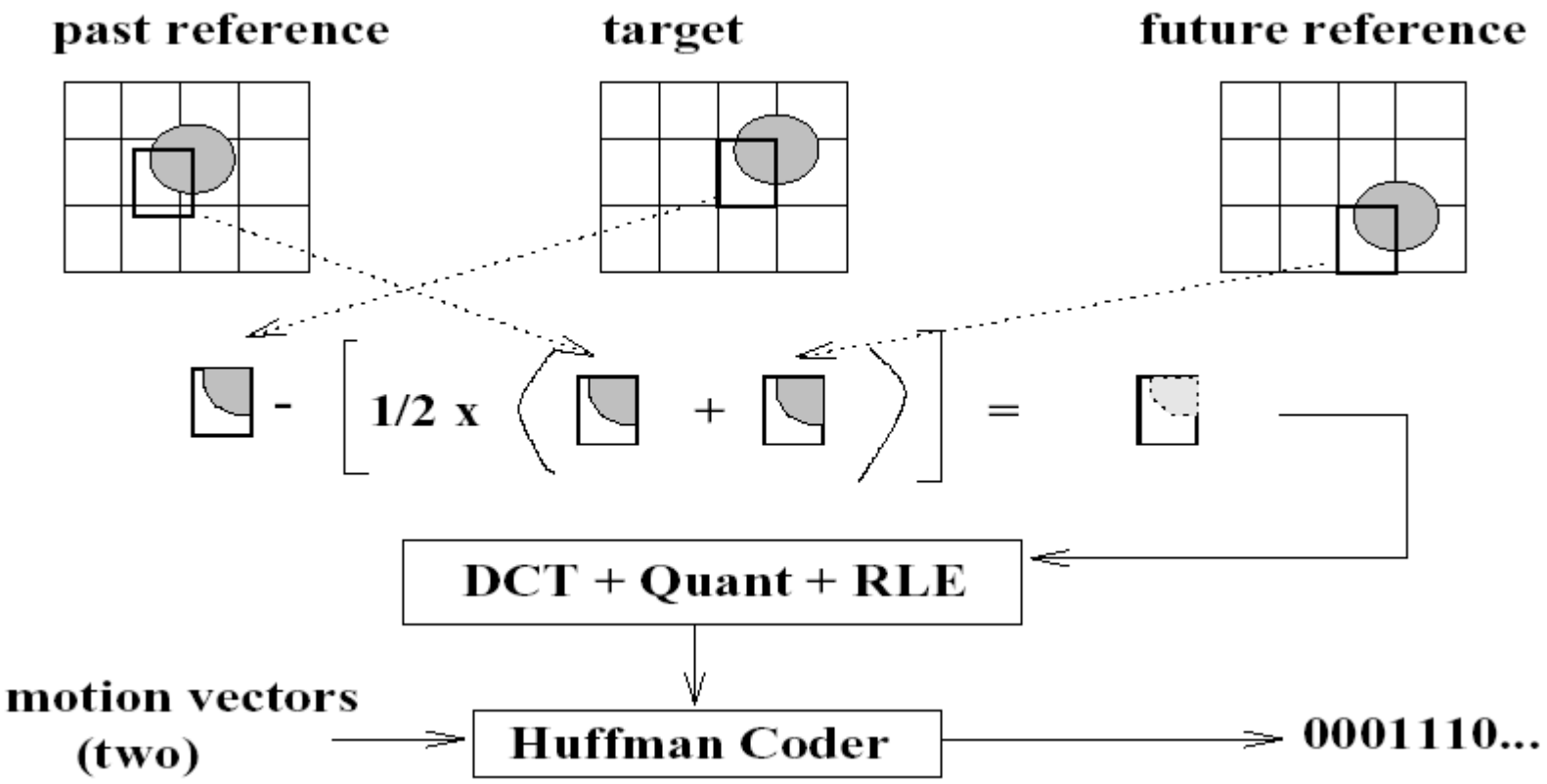
Error Block Encoding

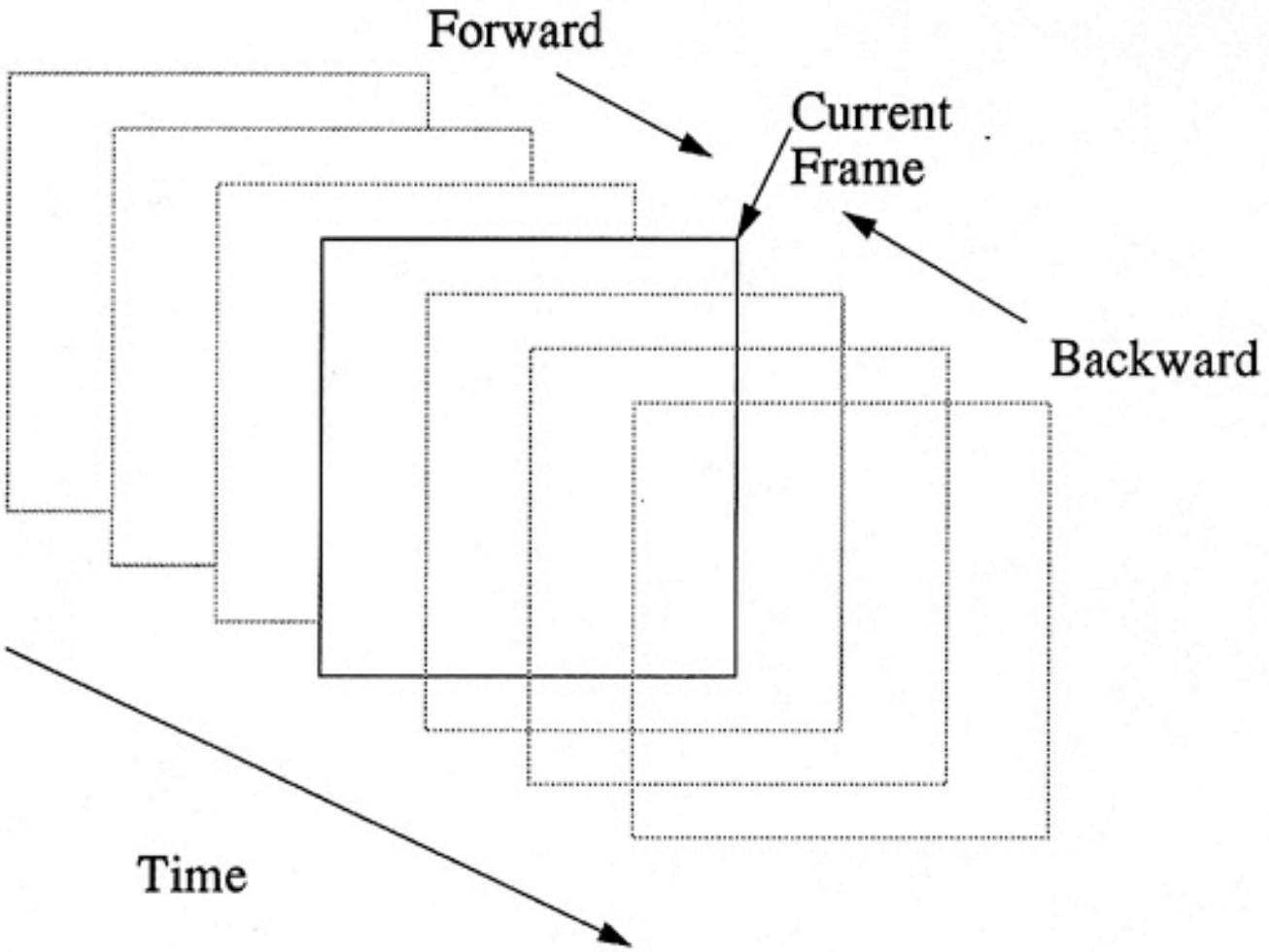
- La differenza tra blocco di riferimento e codificato è trattata come un blocco normale, spesso definito come error block
- Si usa una matrice di quantizzazione diversa rispetto agli I-block:
  - Ha il valore “16” in tutte le posizioni.
  - Il fatto è che gli Error block hanno molta informazione in alta frequenza.
  - Non c’è una buona correlazione percettiva tra le frequenze dell’error coding ed eventuali artefatti di compressione.
- La componente DC è trattata come le AC:
  - Non si usa differential encoding rispetto ad un predittore.
- Al solito I termini sono codificati RLE dopo scansione zig-zag e quindi codificati con Huffman.

Aggiornamento predittori

- I predittori DC sono resettati quando è incontrato un MB tipo P o skipped.
- I predittori dei motion vector sono resettati quando si incontra un MB di tipo I

B-frame : passi di compressione



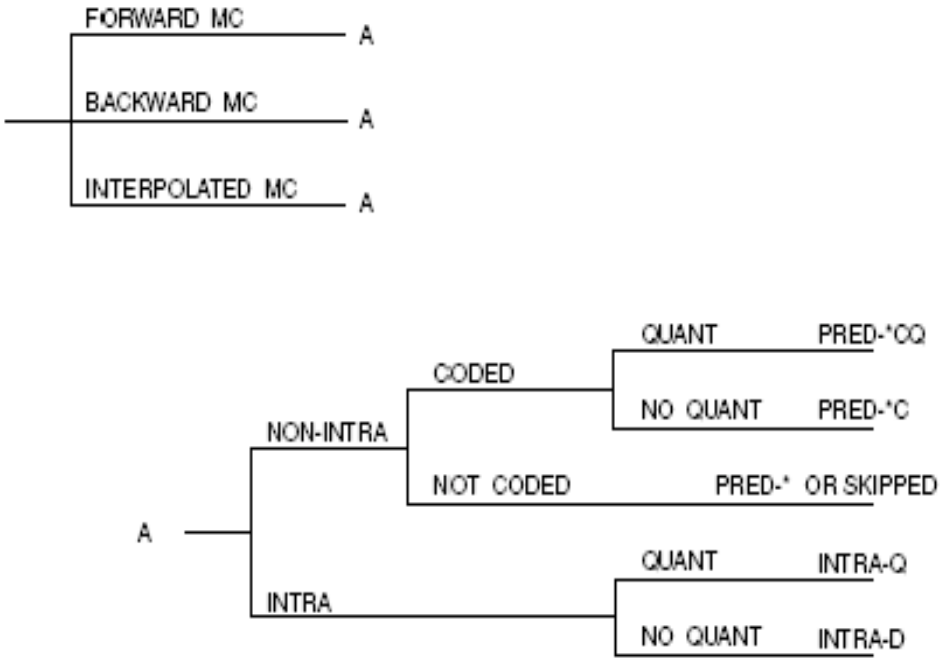

Forward
Current
Frame
Backward
Time

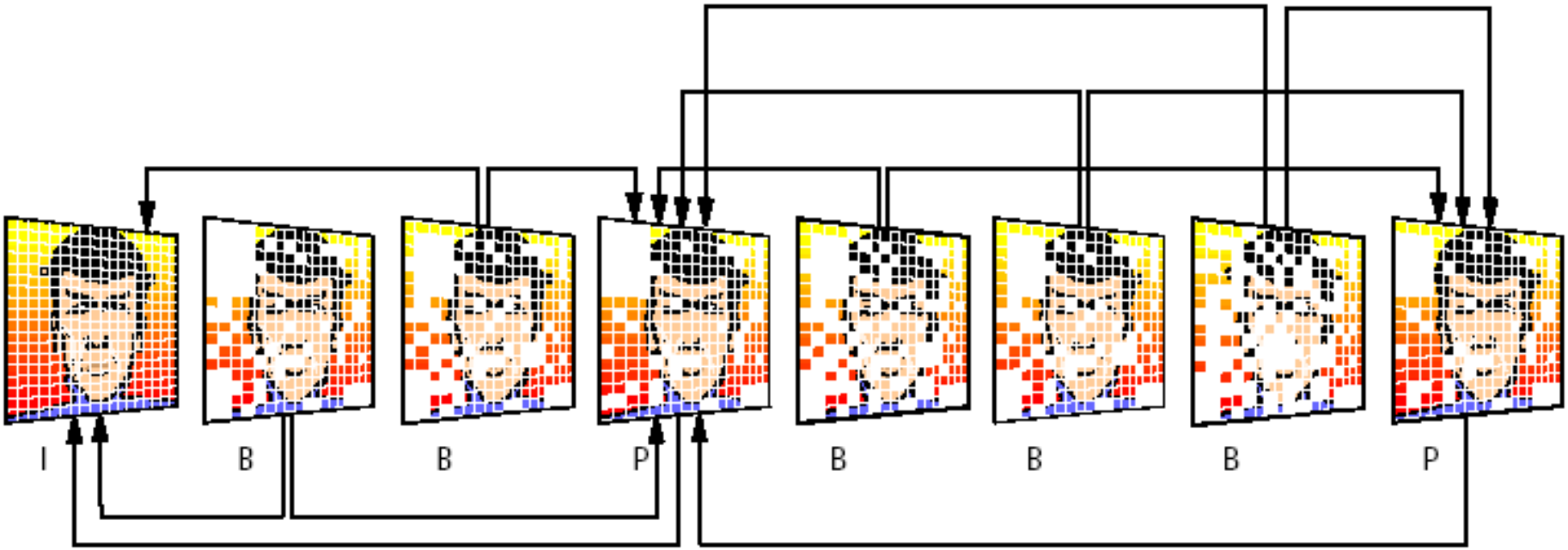
Tipo di macroblocchi

- I B-frame possono avere macroblocchi di tipo:
  - I
  - P: codificato da frame riferimento precedente
  - B: codificato da frame riferimento successivo
  - Bi: codificato da frame riferimento prec. e succ. (prima definiti come averaged)
    - In tutto 12 tipi di macroblocchi

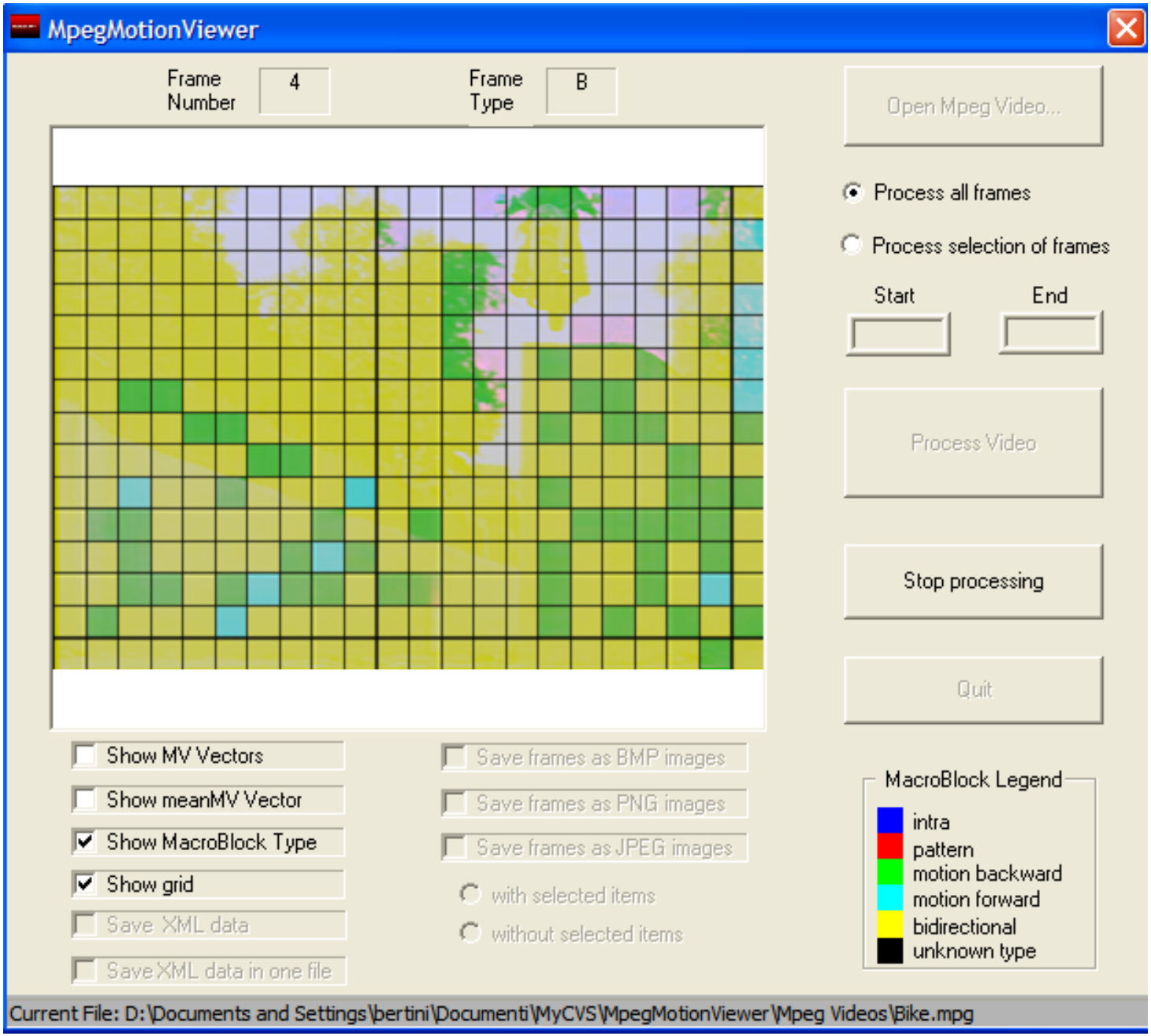
Codifica B-frame: scelta tipo blocchi

- Il medesimo meccanismo di scelta dei macroblocchi dei P-frame può essere usato per scegliere il tipo di previsione per i macroblocchi dei frame B



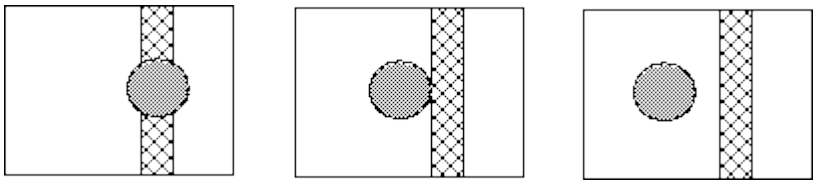


- I-frame: contiene l'intera immagine; P-frame si basa su I o P-frame precedente; B-frame usa I o P passate e future


MpegMotionViewer
Frame Number
4
Frame Type
B
Open Mpeg Video...
Process all frames
Process selection of frames
Start
End
Process Video
Stop processing
Quit
Show MV Vectors
Show meanMV Vector
Show MacroBlock Type
Show grid
Save XML data
Save XML data in one file
Save frames as BMP images
Save frames as PNG images
Save frames as JPEG images
with selected items
without selected items
MacroBlock Legend
intra
pattern
motion backward
motion forward
bidirectional
unknown type
Current File: D:\Documents and Settings\bertini\Documenti\MyCVS\MpegMotionViewer\Mpeg Videos\Bike.mpg

Predizione

- In alcuni casi non si può predire il contenuto a partire dalla scena precedente
  - Es. una porta si apre mostrando un'altra stanza

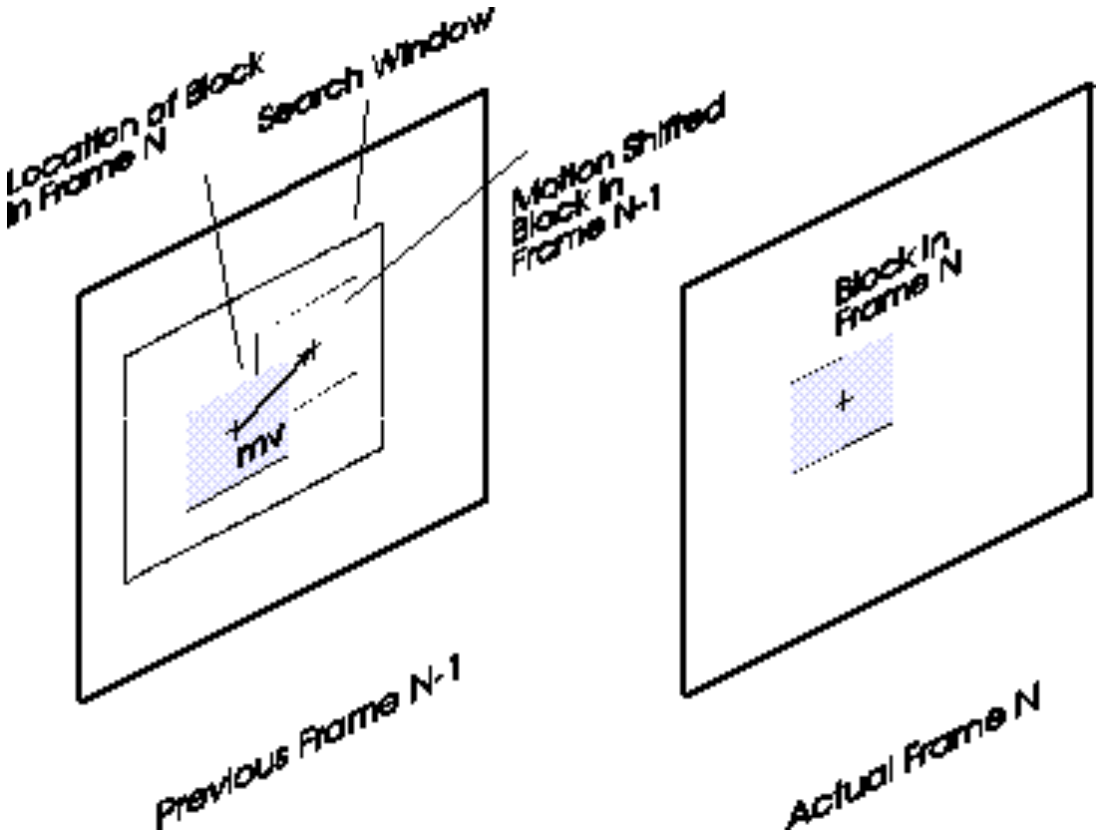


  - Nel caso di un P-frame si codifica il macroblocco come se fosse parte di I-frame (I-coding)
  - Nel caso di B-frame si potrebbe usare sia I-coding che backward prediction, che usa il futuro I o P frame

- Motion estimation: stimo il block matching migliore
- Motion compensation: codifico i frame sulla base della stima, trasmettendo la differenza tra blocchi di cui ho stimato il matching
  - L'immagine di riferimento è l'immagine decodificata

Motion Compensation

- Approccio per il match tra blocchi nella compensazione di moto:
  - il match è cercato all'interno di una finestra predefinita.

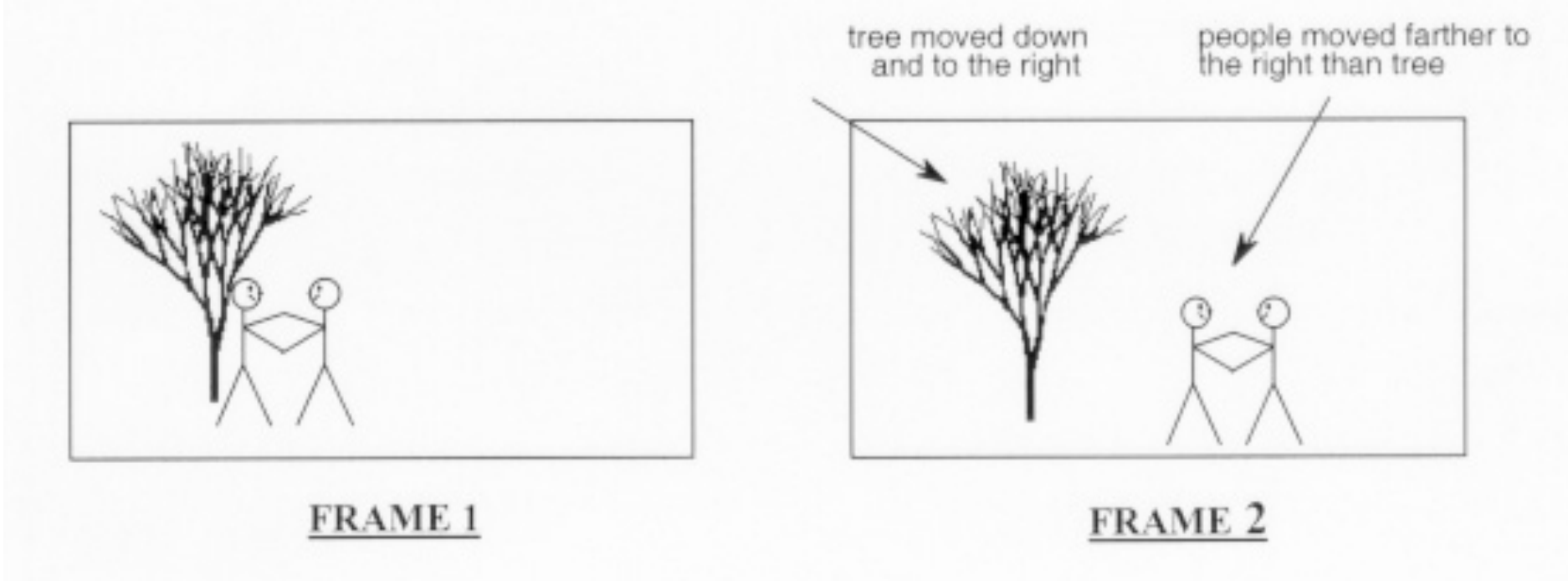


- L’idea è che:
  - In una sequenza piccola di solito un oggetto rimane fermo oppure si allontana di poco
  - Il moto è descritto come un vettore 2D che dice dove ritrovare un macroblocco presente in un frame decodificato precedentemente

- È un problema di ricerca
  - Uso i dati di luminanza
- Dobbiamo valutare qual è il miglior match
- È la causa della buona compressione di MPEG
- È la causa dell'asimmetria:
  - La codifica è molto più difficile della decodifica

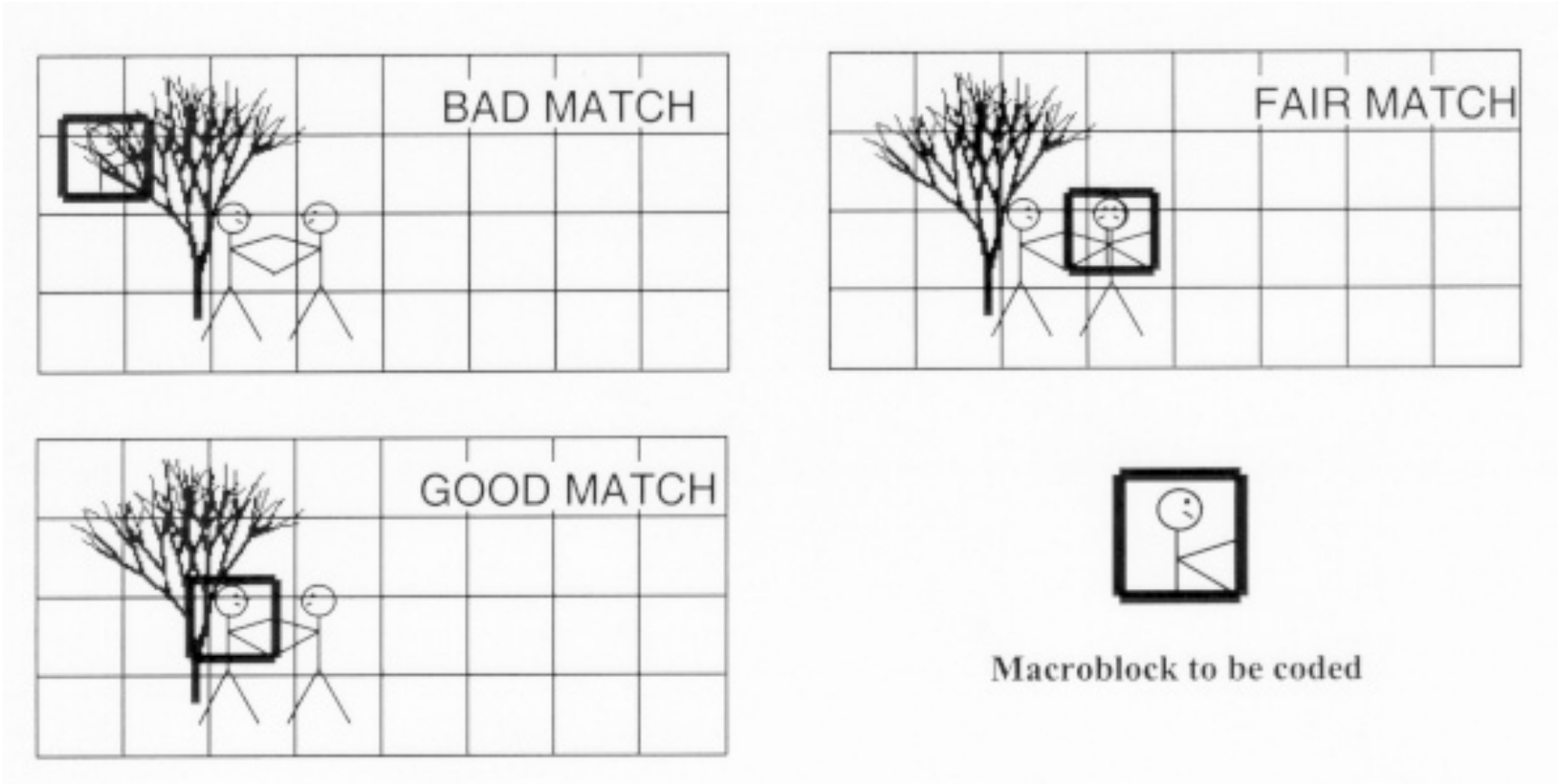
Motion estimation

- Due frame consecutivi:
  - il frame 2 viene codificato utilizzando la stima del moto sul frame 1.



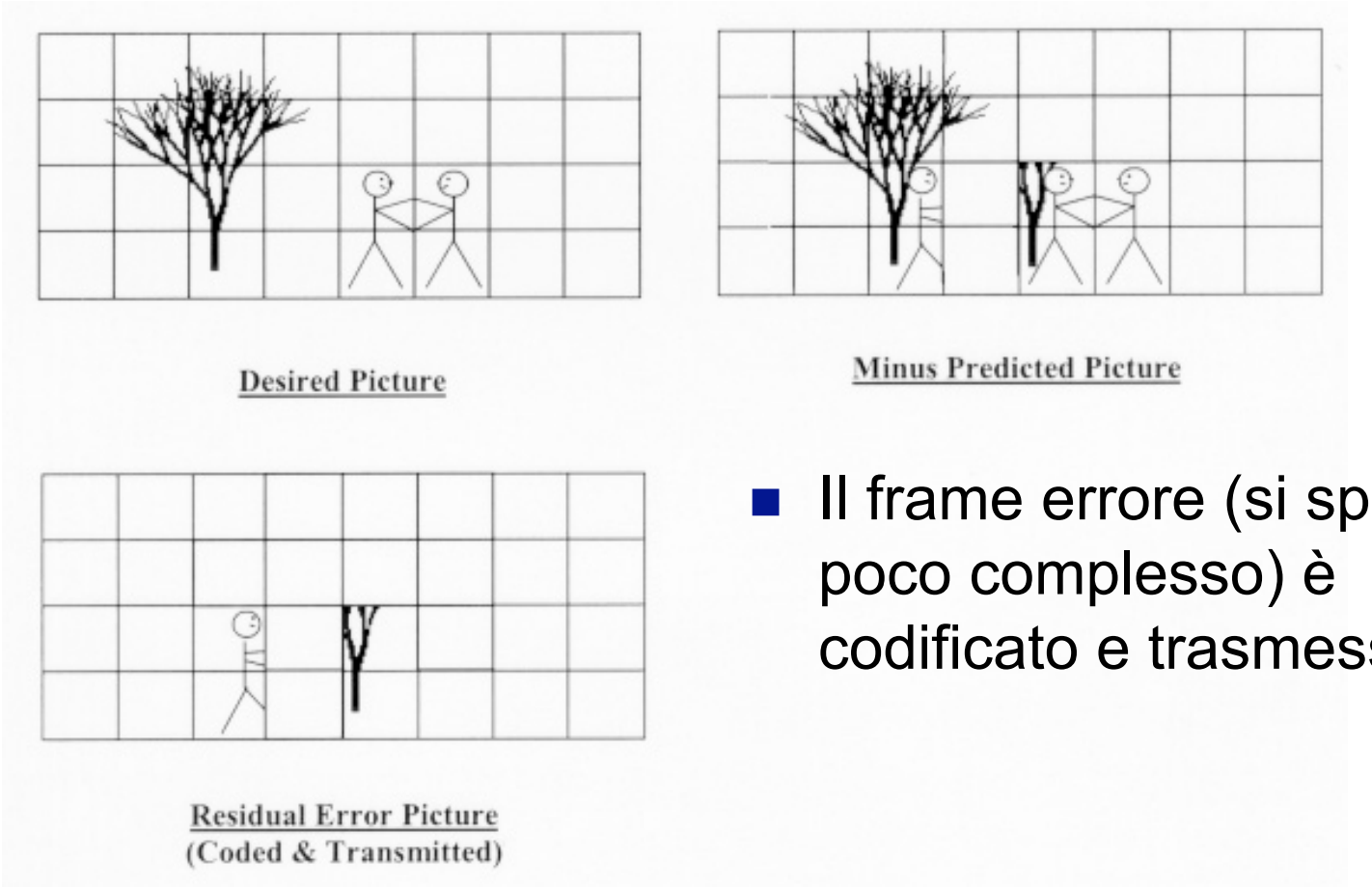
Match tra macroblocchi

- Diversi match possibili per il macroblocco (preso dal frame 2) da codificare: prendo il migliore



Frame di errore residuo

- Frame 2 predetto attraverso la stima del moto: sottraggo il frame predetto dal desiderato

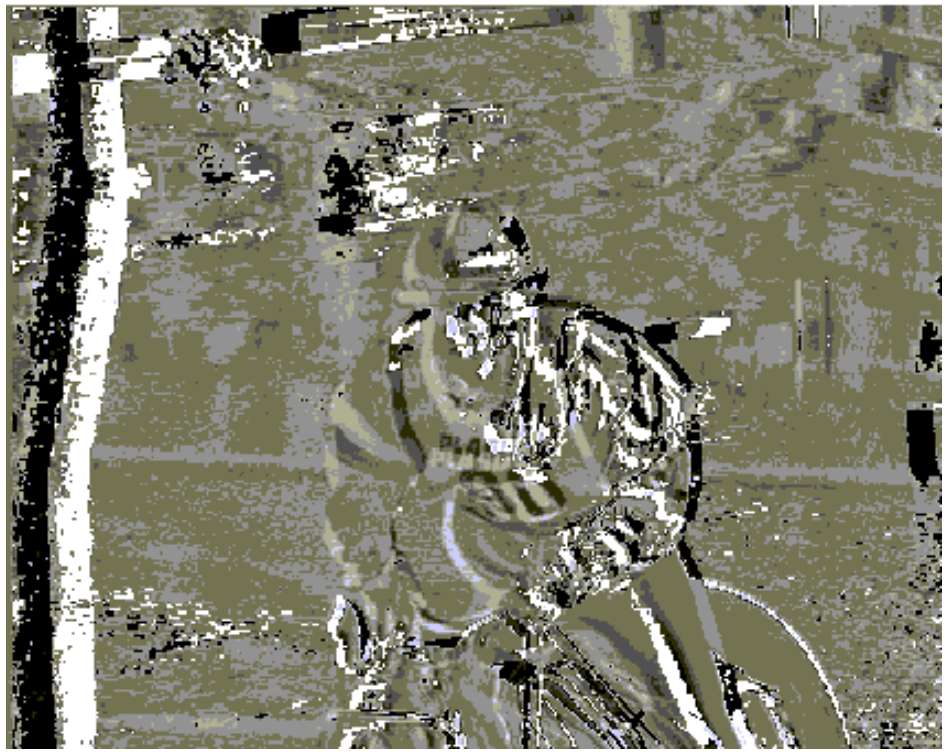


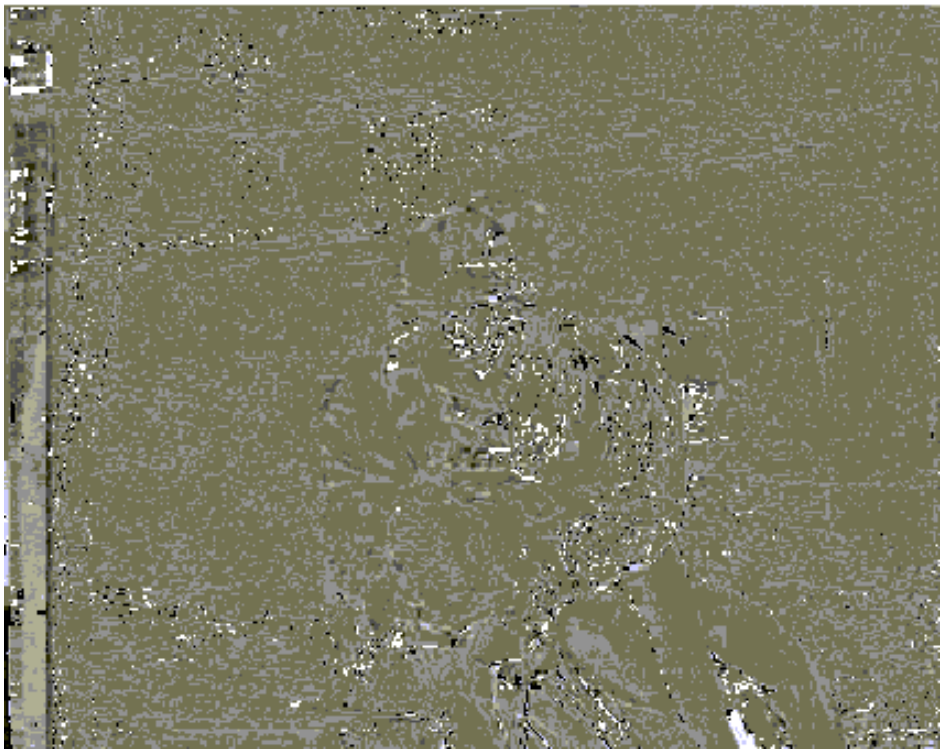
- Il frame errore (si spera poco complesso) è codificato e trasmesso.

Motion Compensation

- Frame N da codificare.
- Frame all'istante N-1 usato per la predizione del contenuto del frame N.

Motion Compensation





- Immagini di errore di predizione senza motion compensation.
- Immagini di errore di predizione da codificare con motion compensation.

Motion Compensation – es. 2

Frame n

Frame n+1

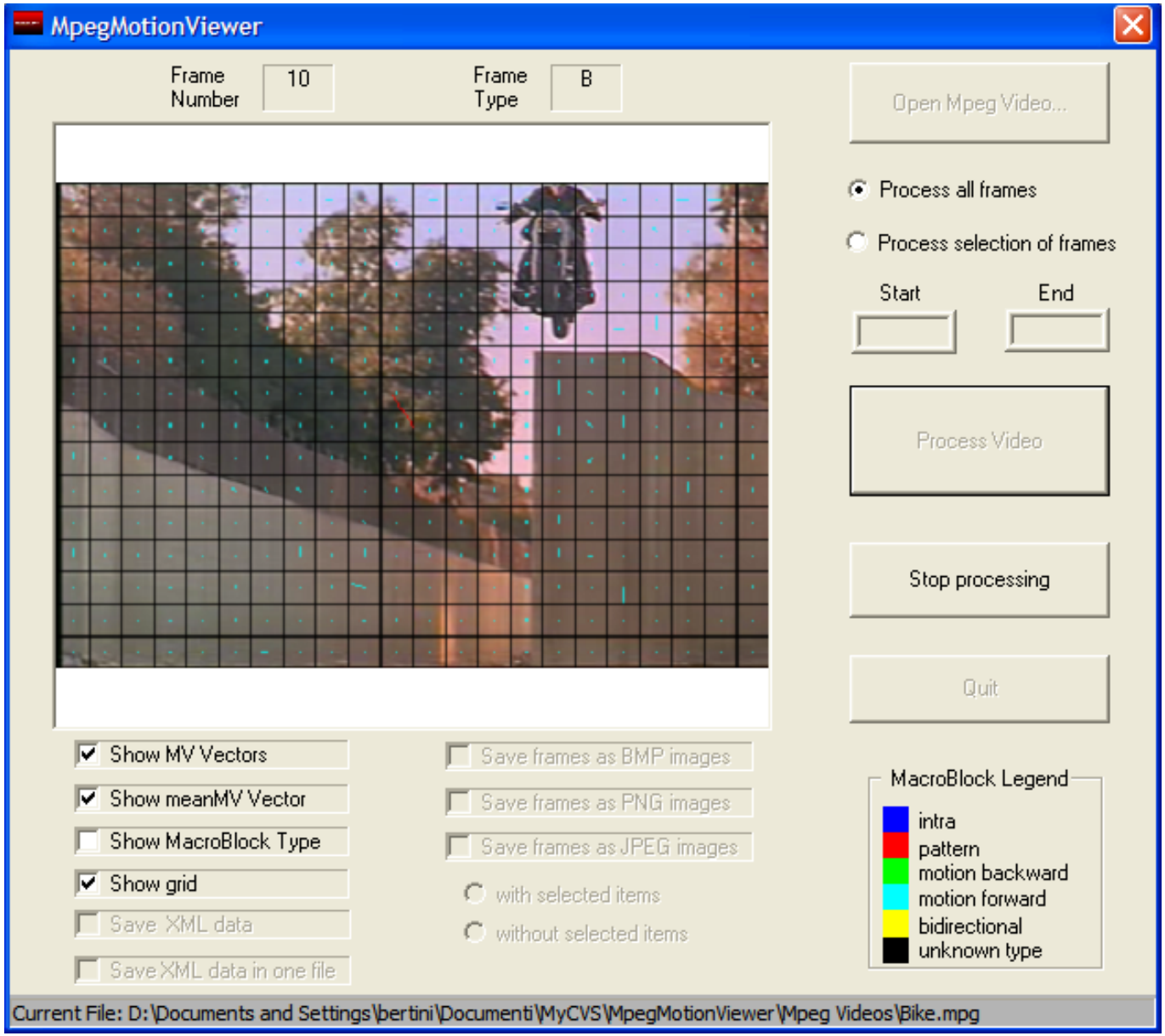
Motion vectors

Motion Compensation – es. 2

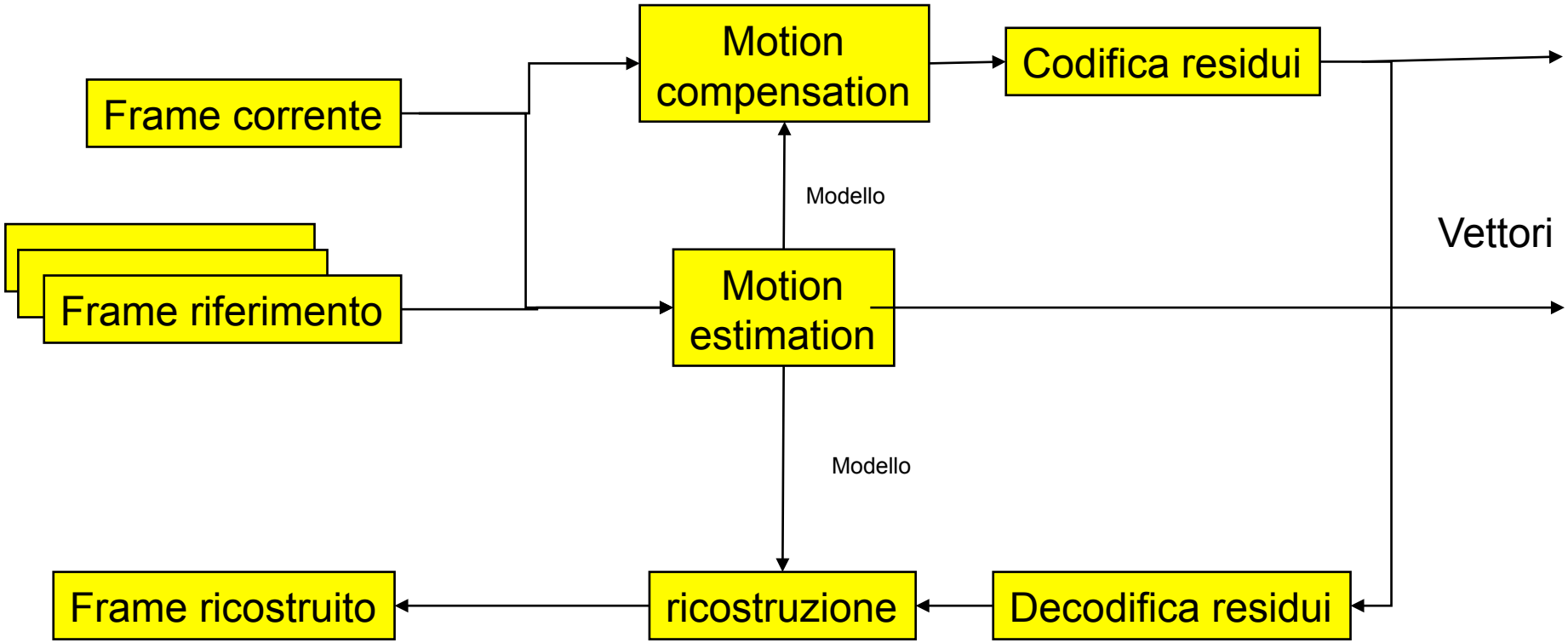
- Immagini di errore di predizione senza motion compensation.

- Immagini di errore di predizione da codificare con motion compensation.

- Difficilmente un MV può essere usato come indice dello spostamento di parti del video
  - Serve a comprimere, non fare motion tracking
  - Analisi statistiche dei MV invece possono essere utili


MpegMotionViewer
Frame Number
10
Frame Type
B
Open Mpeg Video...
Process all frames
Process selection of frames
Start
End
Process Video
Stop processing
Quit
Show MV Vectors
Show meanMV Vector
Show MacroBlock Type
Show grid
Save XML data
Save XML data in one file
Save frames as BMP images
Save frames as PNG images
Save frames as JPEG images
with selected items
without selected items
MacroBlock Legend
intra
pattern
motion backward
motion forward
bidirectional
unknown type
Current File: D:\Documents and Settings\bertini\Documenti\MyCVS\MpegMotionViewer\Mpeg Videos\Bike.mpg

Motion estimation e compensation



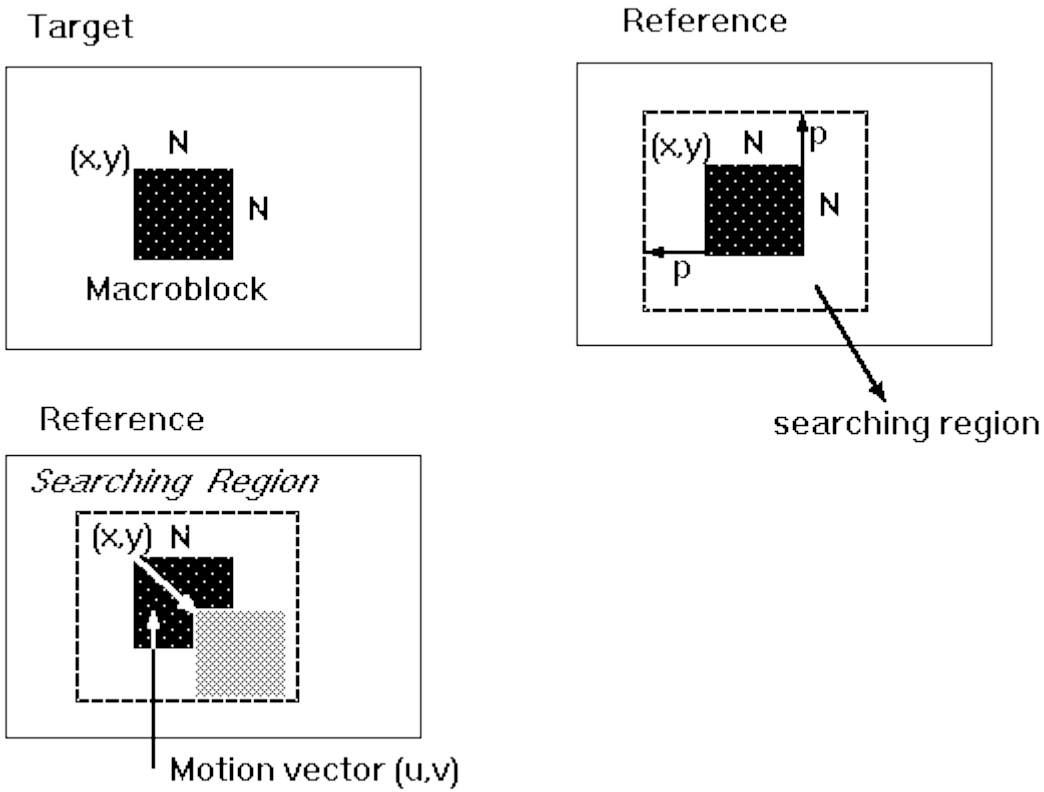
La motion estimation di blocchi è block matching

Esercizio consigliato

- Prendere VCDemo: http://ict.ewi.tudelft.nl/index.php?Itemid=124
- Aprire un file MPEG (es. bike.mpg)
- Impostare l'output su Coded difference e aggiungere il display dei vettori di moto
- Visualizzare il filmato
- Impostare l'output su Frame prediction e togliere i vettori di moto
- Visualizzare il filmato facendo particolare attenzione ai bordi del frame e della moto

Il block matching

- Esistono diverse tecniche per il block matching
  - Spesso si limita l'area in cui cercare il match



- Possiamo scegliere tra varie:
  - Tecniche per la determinazione del match tra blocchi
    - Pb.: la differenza misurata è collegata alla percezione ? Tipicamente no…
  - Strategie di ricerca dei blocchi
  - Scelte dimensione dei blocchi

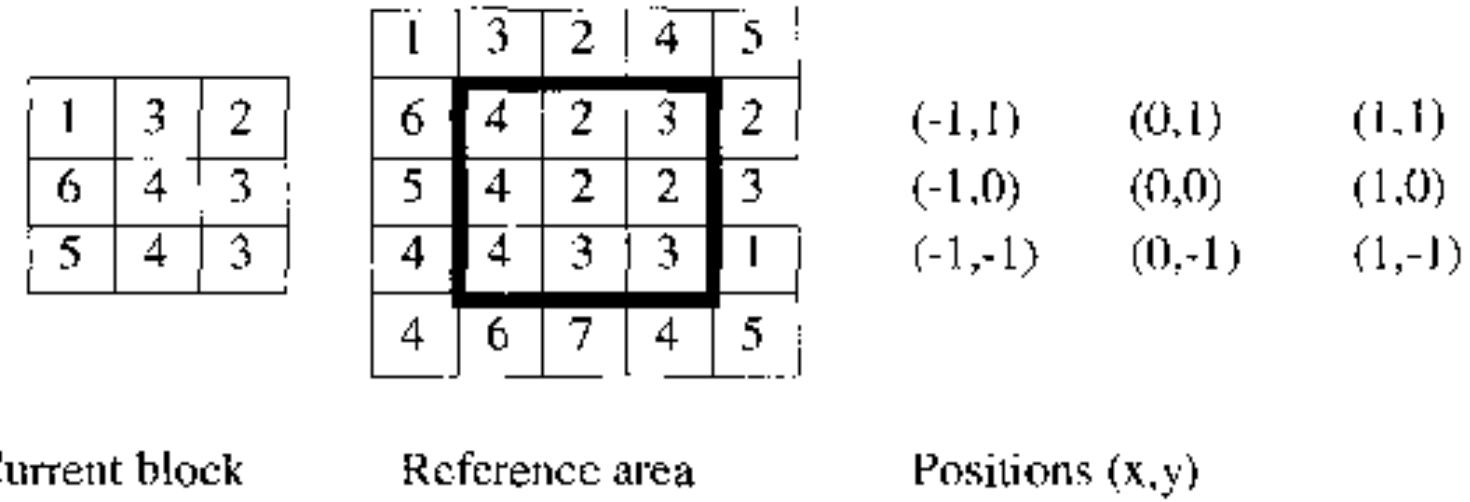
Match tra blocchi: MSE

- Mean squared error:
  - MSE per un blocco N x N:

$$\mathrm{MSE} = \frac{1}{N^2} \sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{N-1} (C_{ij} - R_{ij})^2$$

dove C_{ij} è il campione del blocco corrente e R_{ij} il campione del blocco di riferimento

MSE: esempio


1 3 2
6 4 3
5 4 3
1 3 2 4 5
6 4 2 3 2
5 4 2 2 3
4 4 3 3 1
4 6 7 4 5
(-1,1) (0,1) (1,1)
(-1,0) (0,0) (1,0)
(-1,-1) (0,-1) (1,-1)
Current block
Reference area
Positions (x,y)

- L’ MSE tra il blocco corrente e la stessa posizione (posizione *(0,* 0)) sul riferimento è dato da:

$$\{(1-4)^2+(3-2)^2+(2-3)^2+(6-4)^2+(4-2)^2 + (3-2)^2+(5-4)^2+(4-3)^2+(3-3)^2\}/9 = 2.44$$

- Tutti i valori sono:

Position (x, y)	$(-1, -1)$	$(0, -1)$	$(1, -1)$	$(-1, 0)$	$(0, 0)$	$(1, 0)$	$(-1, 1)$	$(0, 1)$	$(1, 1)$
MSE	4.67	2.89	2.78	3.22	2.44	3.33	0.22	2.56	5.33

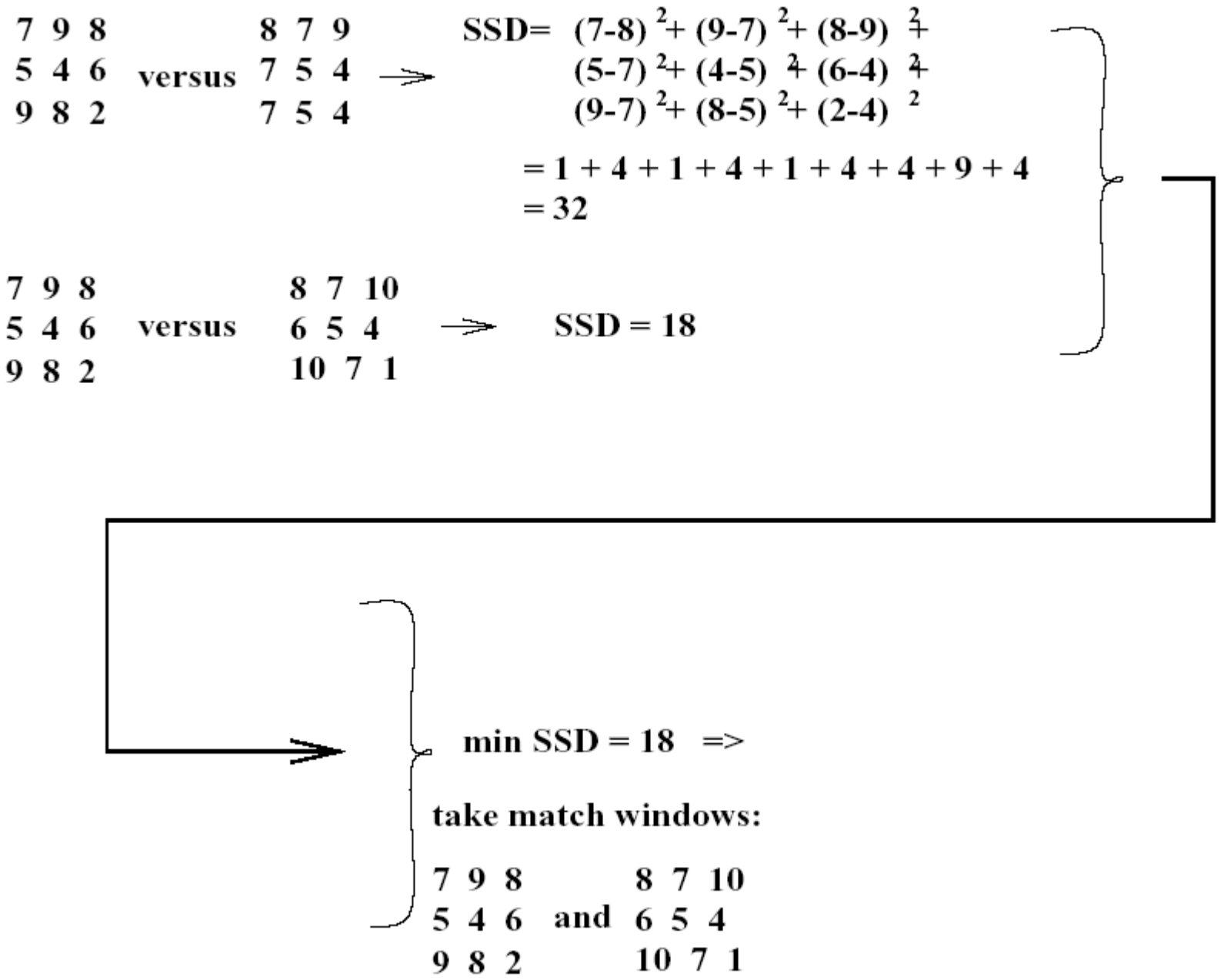
- Mean absolute error/difference (MAE/MAD)
  - È più facile/veloce da calcolare rispetto a MSE ed è ancora un'approssimazione ragionevole

$$\mathrm{MAE} = \frac{1}{N^2} \sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{N-1} |C_{ij} - R_{ij}|$$

- Matching pel count (MPC)
  - Conto il numero di pixel simili in due blocchi
  - Devo introdurre una metrica ed una soglia per valutare la distanza tra due pixel

- Sum of Squared Differences (SSD)

$$SSD = \sum_i (x_i - y_i)^2$$


7 9 8
5 4 6
9 8 2
versus
8 7 9
7 5 4
7 5 4
SSD= (7-8) 2+ (9-7) 2+ (8-9) 2+
(5-7) 2+ (4-5) 2+ (6-4) 2+
(9-7) 2+ (8-5) 2+ (2-4) 2
= 1 + 4 + 1 + 4 + 1 + 4 + 4 + 9 + 4
= 32
7 9 8
5 4 6
9 8 2
versus
8 7 10
6 5 4
10 7 1
SSD = 18
min SSD = 18 =>
take match windows:
7 9 8
5 4 6
9 8 2
and
8 7 10
6 5 4
10 7 1

- Sum of absolute errors (SAE) o sum of absolute differences (SAD)

$$\mathrm{SAE} = \sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{N-1} |C_{ij} - R_{ij}|$$

rispetto a SSD è meno sensibile ad outlier: un solo punto molto diverso mi rende il valore di SSD molto grande

SSD vs. SAD

SSD:

7 9 8		8 7 10	
5 4 6	versus	6 5 4	-> SSD = 18
9 8 2		10 7 1	

7 9 8		8 7 10	
5 4 6	versus	6 5 4	-> SSD = 40,017
9 8 2		10 7 202	Outlier

SAD:

7 9 8		8 7 10	
5 4 6	versus	6 5 4	-> SAD = 211
9 8 2		10 7 202	

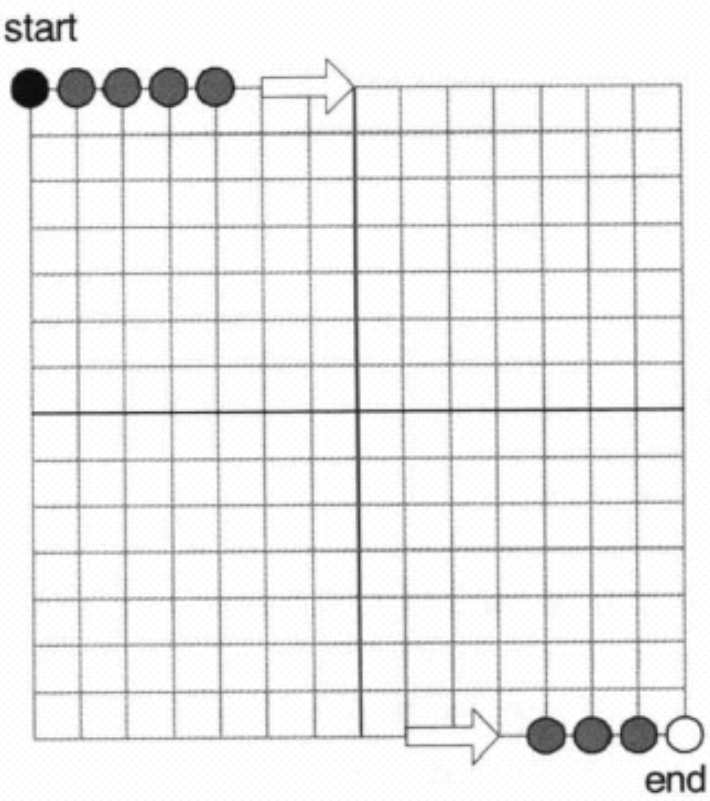
Algoritmi di ricerca

- La dimensione della finestra di ricerca dipende da diversi fattori:
  - Risoluzione dei frame
  - Potenza di calcolo disponibile
  - Tipo di scena

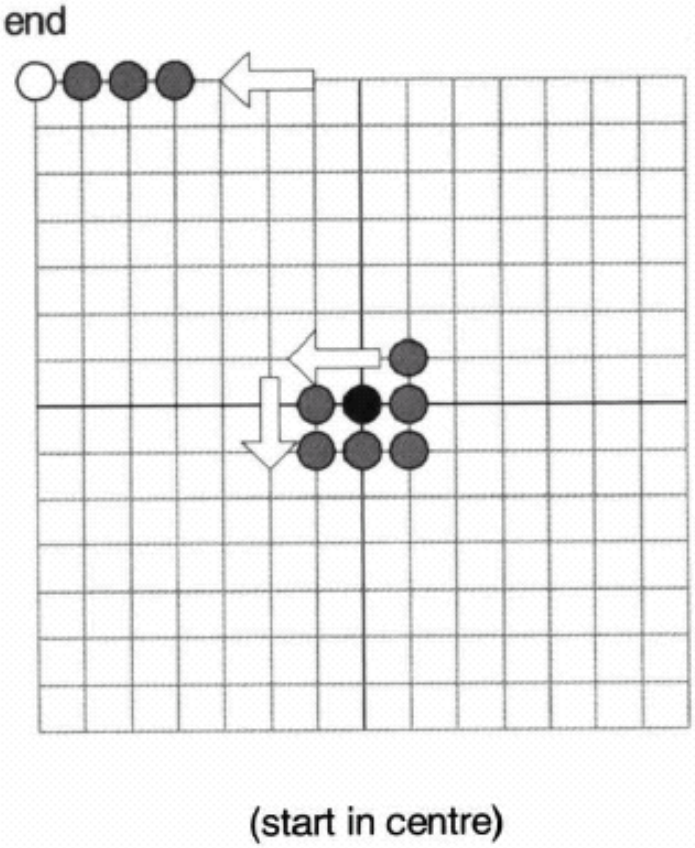
Full search

- Usando il mio criterio di comparazione (es. SAE/SAD) cerco in tutte le possibili posizioni della finestra
  - È computazionalmente costosa, adatta per implementazioni h/w

Full search (cont.)

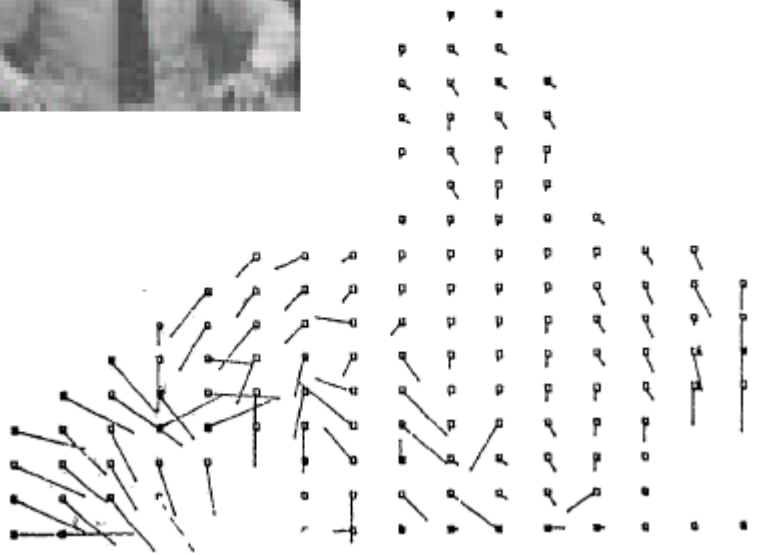


(a) Raster order

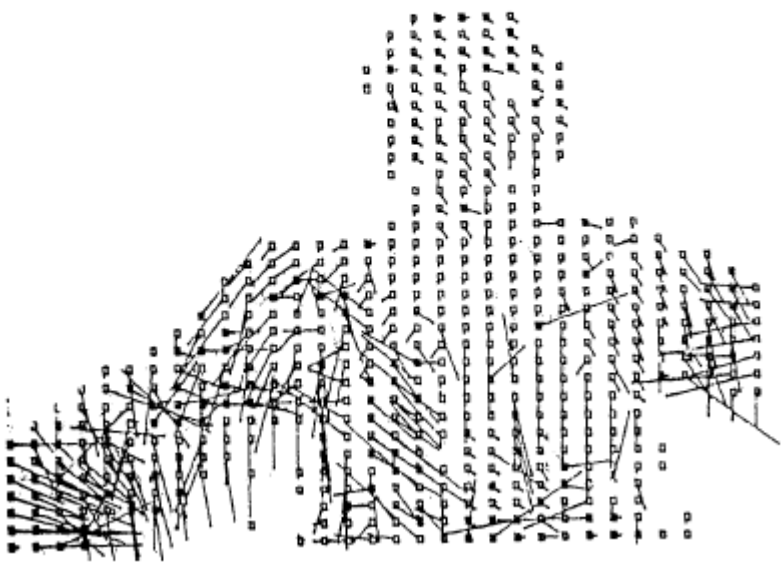


(b) Spiral order

Full search



Blocchi grandi



Blocchi piccoli

Ricerca veloce

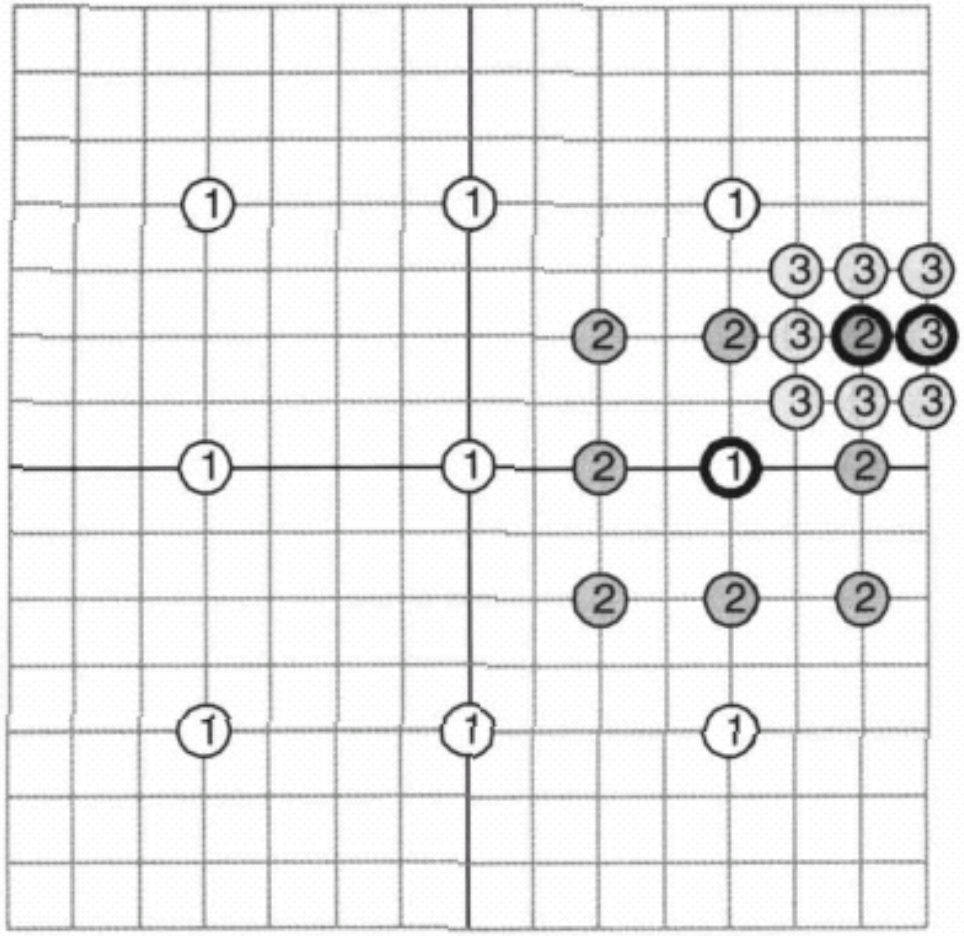
- Cerco di ridurre il numero di comparazioni rispetto a quelle necessarie per full search
  - Con full search trovo il minimo globale di SAE
  - Con fast search rischio di finire in minimi locali

Three step search (TSS)

- È il più noto

1. Comincio a cercare da (0, 0).
2. Pongo S = 2^{N-1} (dimensione passo).
3. Cerco nelle 8 locazioni a +/-S pixel di distanza attorno a (0, 0).
4. Tra le 9 locazioni analizzate prendo quella con SAE minore e la faccio diventare il nuovo centro di ricerca.
5. Pongo *S* = S/2.
6. Ripeto I passi da 3 a 5 finché *S* = 1.

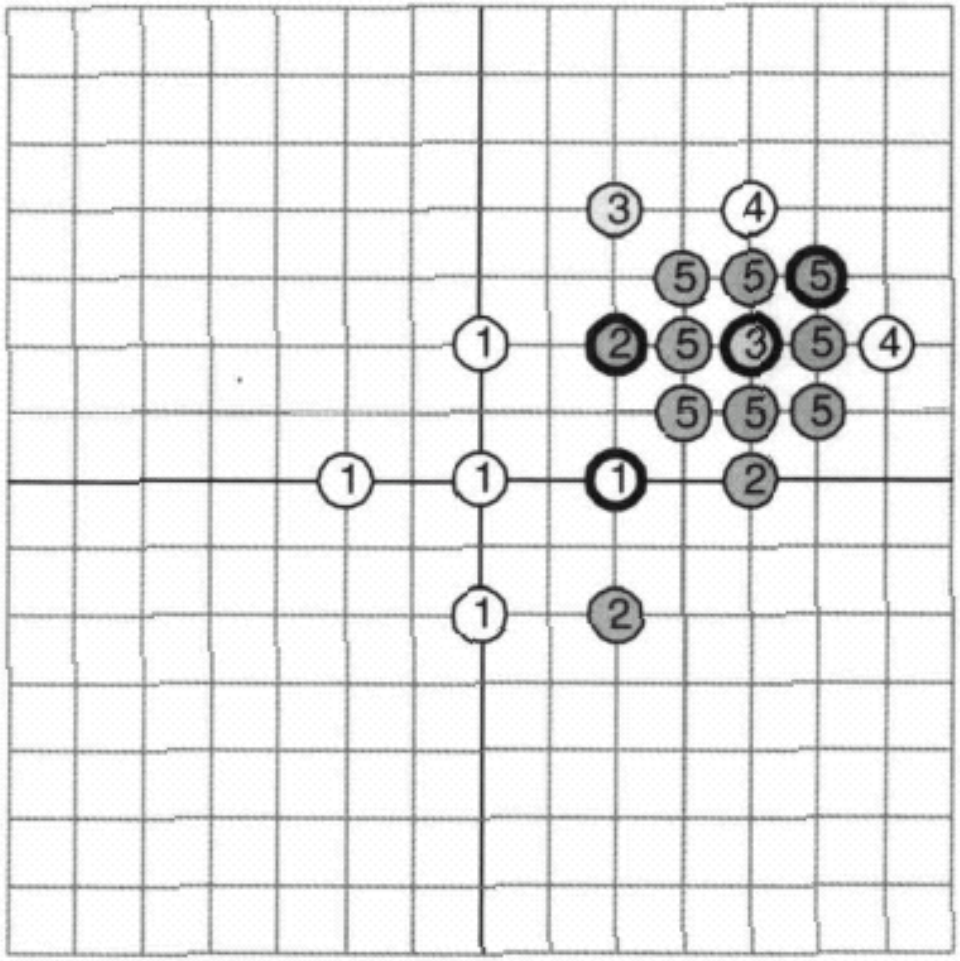
Three step search (TSS)



Logarithmic Search

1. Comincio a cercare da (0, 0).
2. Cerco nelle 4 posizioni adiacenti in orizzontale e in verticale, a S pixel di distanza dall'origine (con S passo di ricerca iniziale). Le 5 posizioni modellano un ' + '.
3. Impostare la nuova origine in corrispondenza del match migliore. Se il match migliore è la posizione centrale del '+' allora *S* = S/2, altrimenti *S* rimane uguale.
4. Se *S* = 1 vai al punto *5* , altrimenti vai al punto 2.
5. Cerca le 8 posizioni attorno al best match. Il risultato finale è il best match tra queste 8 posizioni e la posizione centrale.

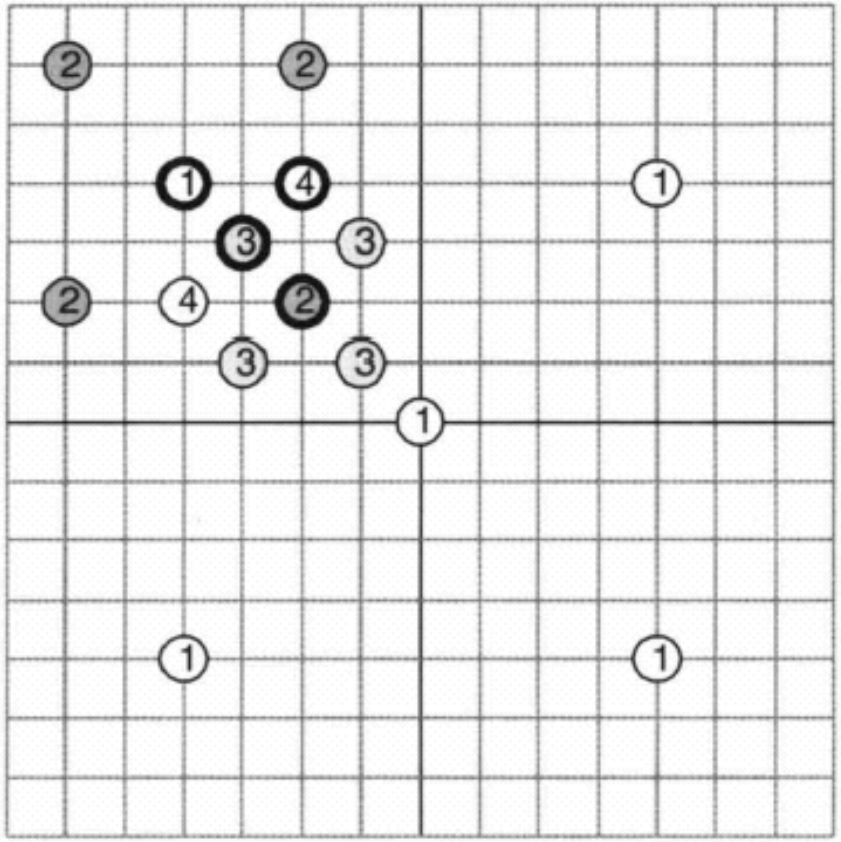
Logarithmic Search

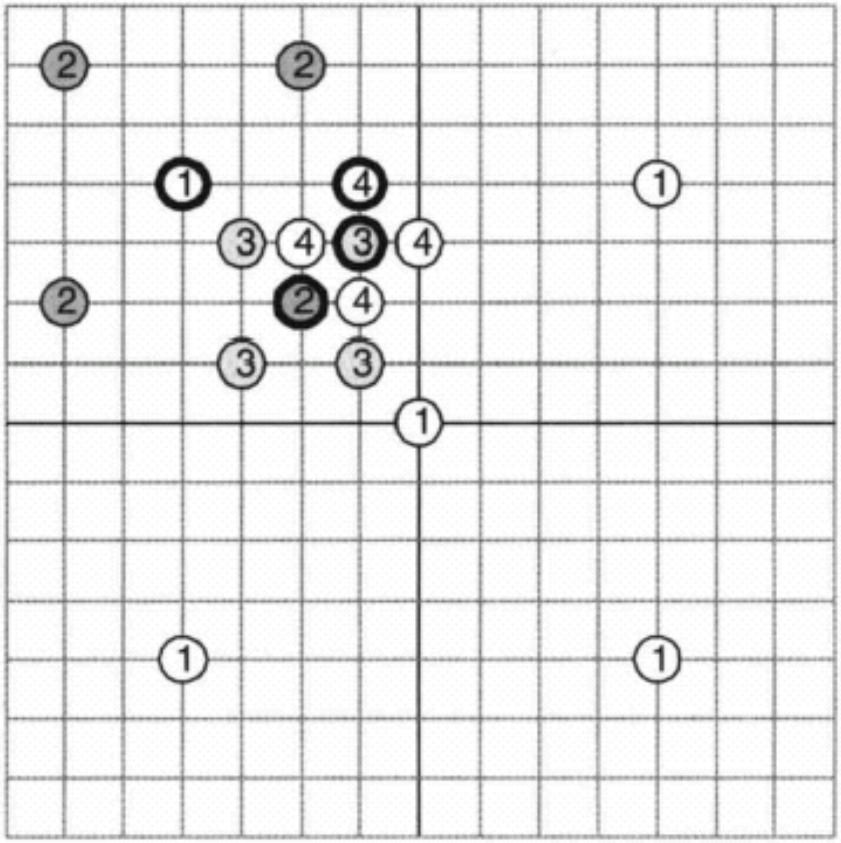


Cross-Search

- Simile al TSS tranne che ad ogni passo si comparano 5 punti (che formano una **X)** invece di 9 punti
  1. Comincio a cercare da (0, 0).
  2. Cerco nelle 4 posizioni a +/-S pixel di distanza, che formano una ‘X’ (con S = 2^{N-1} come in TSS).
  3. Imposto la nuova origine in corrispondenza al best match tra i 5 punti.
  4. Se S > 1 allora S = S/2 e vado al passo 2; altrimenti vado al passo 5.
  5. Se il best match è in alto a sx. o in basso a dx della ‘X’, valuto altri 4 punti che formano una ‘X’ ad una distanza di +/-1; altrimenti (best match in alto a dx o basso a sx) valuto altri 4 punti che formano un ‘ + ’ ad una distanza di +/-1.

Cross-Search

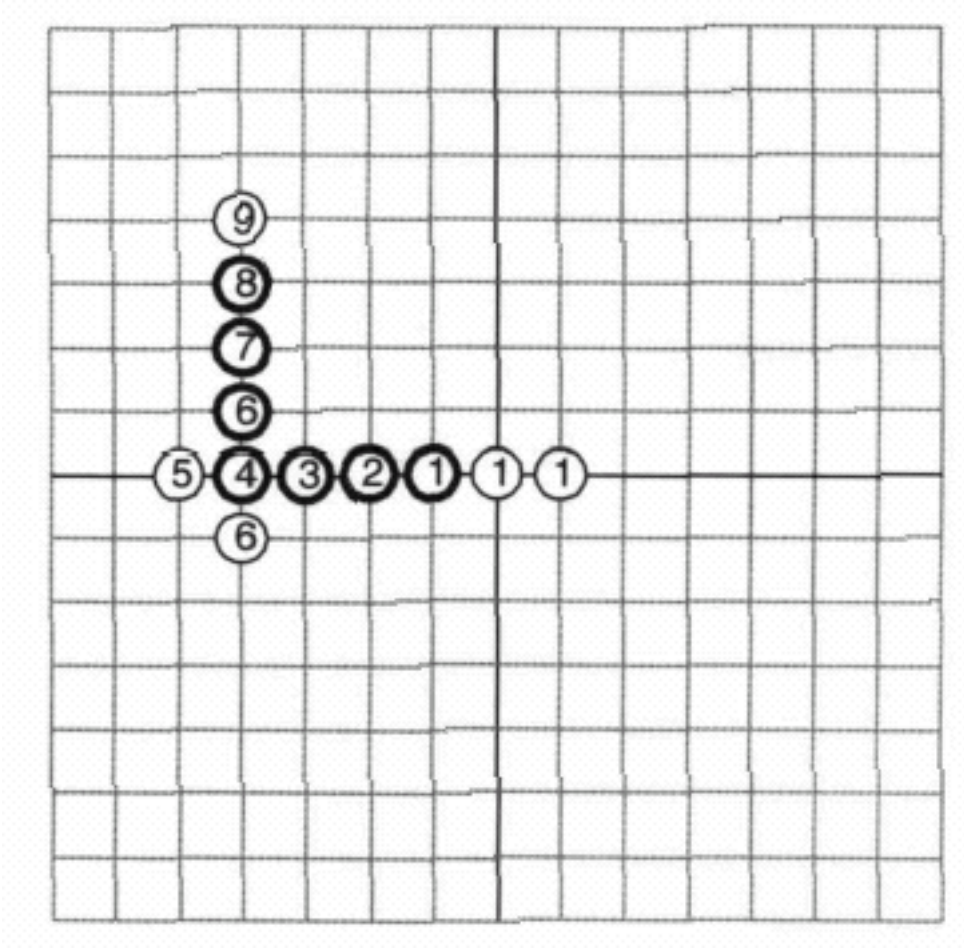




One-at-a-Time Search

1. Comincio a cercare da (0, 0).
2. Cerco nell'origine e nei due vicini orizzontali
3. Se l'origine ha il SAD più basso allora vado al passo 5, altrimenti. . . .
4. Imposto l'origine nel punto orizzontale con il SAD più piccolo e cerco nel vicino in cui ancora non avevo cercato. Vado al passo 3.
5. Ripeto i passi da 2 a 4 nella direzione verticale.

One-at-a-Time Search



Nearest Neighbours Search

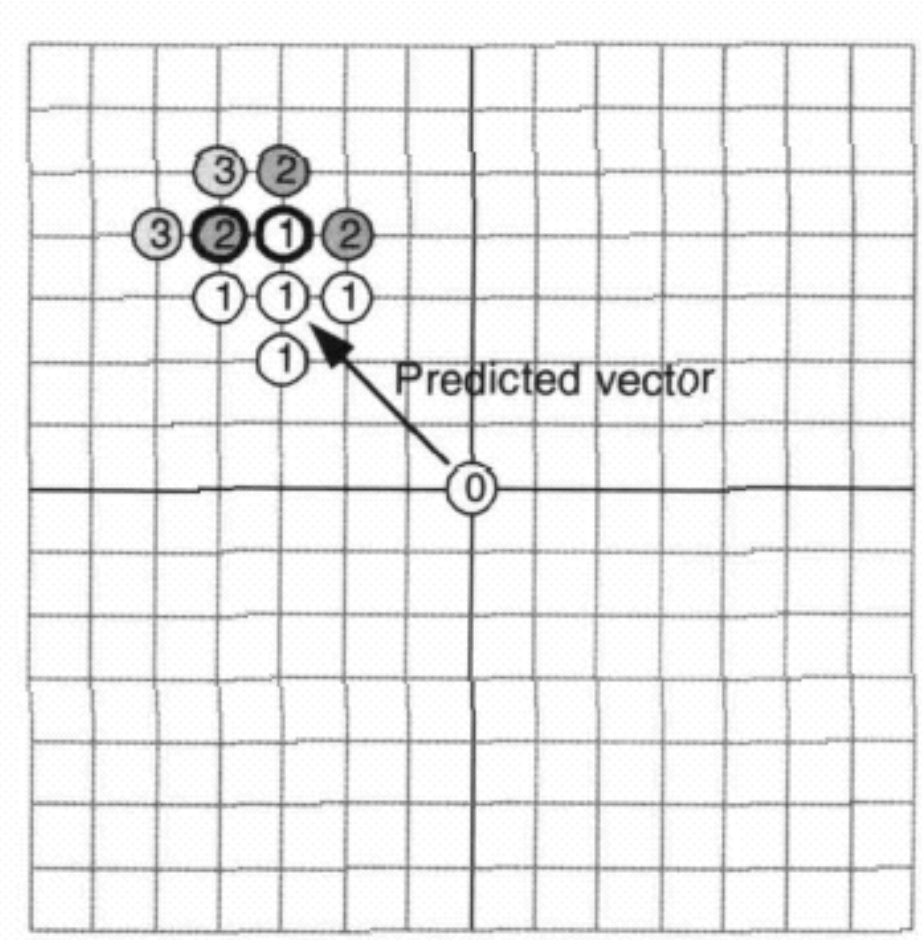
- Algoritmo proposto per H.263 e MPEG-4.
  - Ogni vettore di moto viene predetto dai vettori vicini (già codificati)
    - I macroblocchi vicini hanno spesso vettori di moto simili (un predittore basato su mediana è vicino al ‘vero’ best match)
    - Un vettore vicino alla mediana verrà codificato con un VLC piccolo.

Nearest Neighbours Search

1. Comincio a cercare da (0, 0).
2. Pongo l'origine della ricerca nella posizione indicata dal vettore predetto e cerco a partire da questa nuova posizione.
3. Cerco nei 4 vicini in forma di '+ '.
4. Se l'origine della ricerca (o la posizione 0, 0 della prima iterazione) fornisce il risultato migliore prendo il risultato; altrimenti imposto la nuova origine nel best match e vado al passo 3.

- L'algoritmo si ferma quando il best match è al centro di un ' + ' (o quando si è raggiunto il bordo della finestra di ricerca).

Nearest Neighbours Search



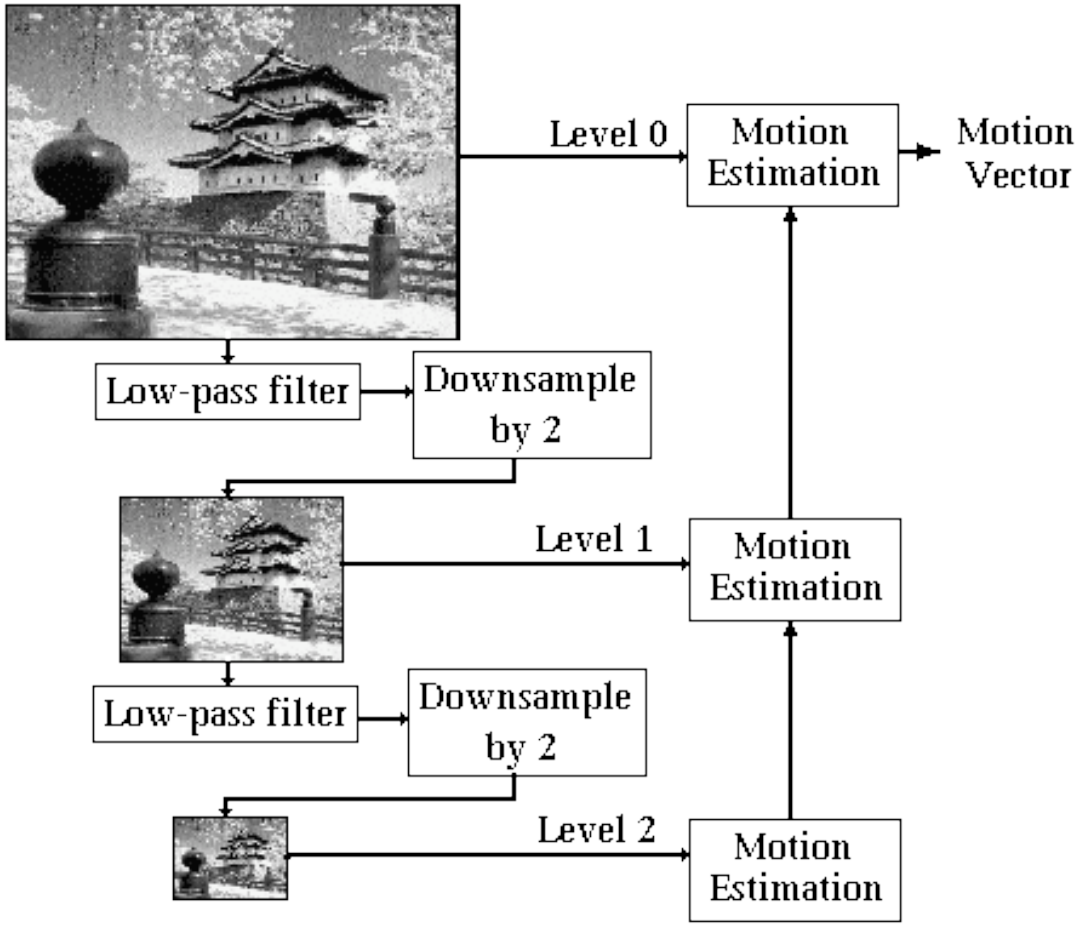
Nearest Neighbours Search

- L’algoritmo funziona bene quando i vettori di moto sono ragionevolmente omogenei
  - Non ci devono essere troppi cambiamenti grossi nel campo dei vettori di moto.
- Vengono comunque seguiti due accorgimenti per migliorare il risultato.
  - Se il predittore di mediana non può essere molto accurato (es. perché troppo macroblocchi vicini sono intra-coded e quindi senza MV), si usa un algoritmo alternativo come TSS.
  - Si usa una funzione di costo che stima se è ragionevole il costo computazionale di un altro set di ricerche.

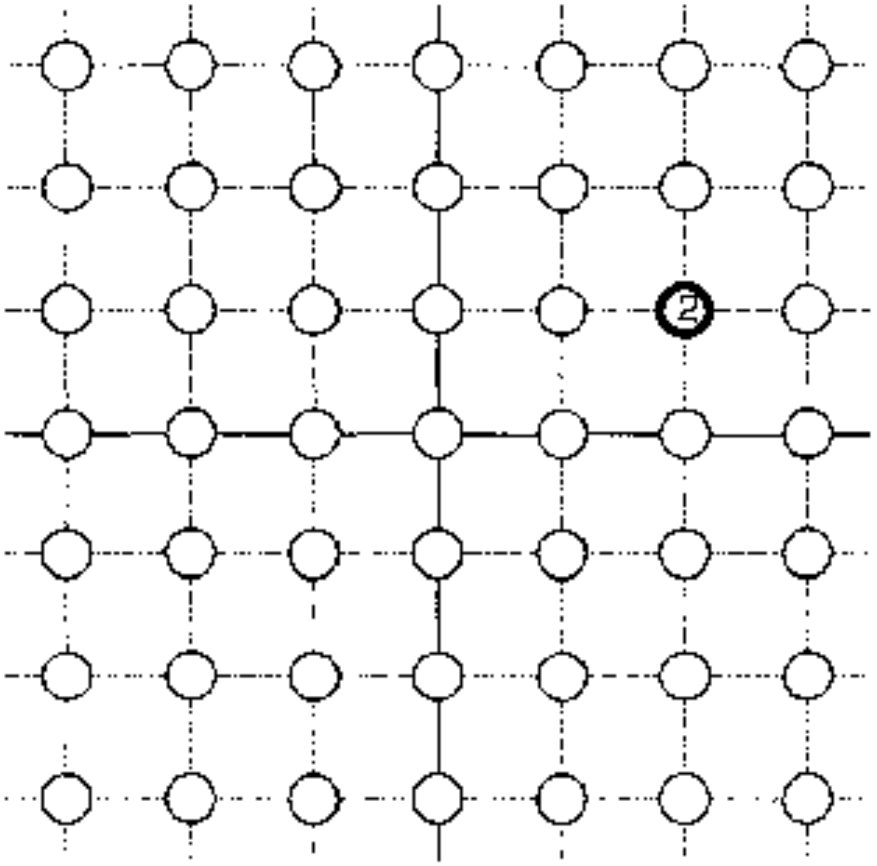
Hierarchical Search

- Effettua la ricerca in una versione sottocampionata dell'immagine, la ricerca viene quindi raffinata usando versioni dell'immagine a risoluzione maggiore, finché non si arriva alla risoluzione originale
  1. Il livello 0 consiste nell'immagine corrente ed in quella di riferimento a piena risoluzione. Si sottocampiona il livello 0 di un fattore 2 sia in orizzontale che verticale, producendo il livello 1.
  2. Si ripete il subsampling del livello 1 per produrre il livello 2, e così via finché si raggiunge il numero di livelli necessari (tipicamente 3 o 4 livelli bastano).
  3. Si inizia a cercare nel livello più alto (risoluzione più bassa) per cercare il best match: questo è il motion vector più 'grezzo'.
  4. Si cerca nel livello immediatamente più basso (maggiore risoluzione) intorno alla posizione del vettore di moto 'grezzo' e si cerca il best match.
  5. Si ripete il passo 4 finché non si trova il best match al livello 0.

Hierarchical Search

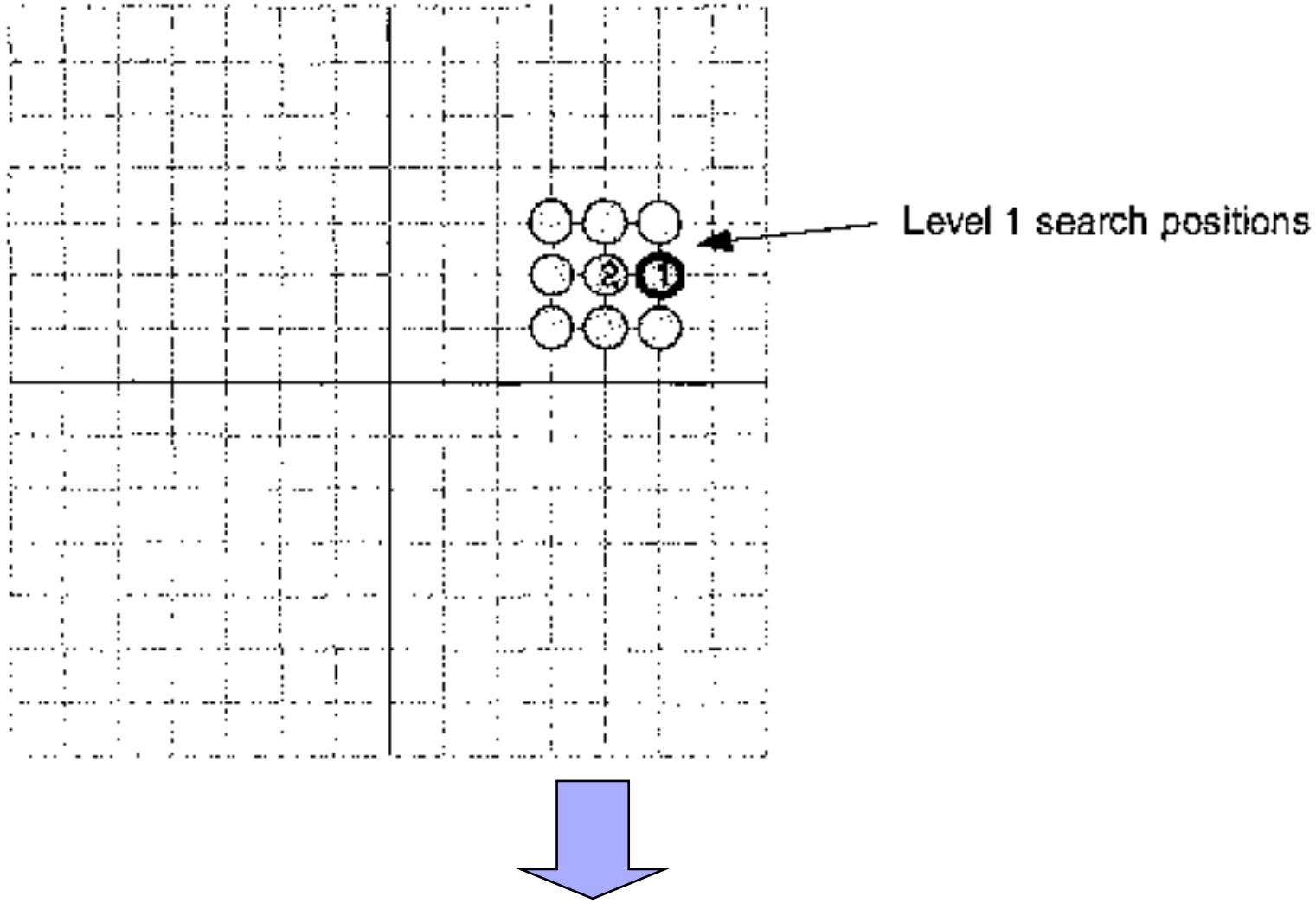


Hierarchical Search

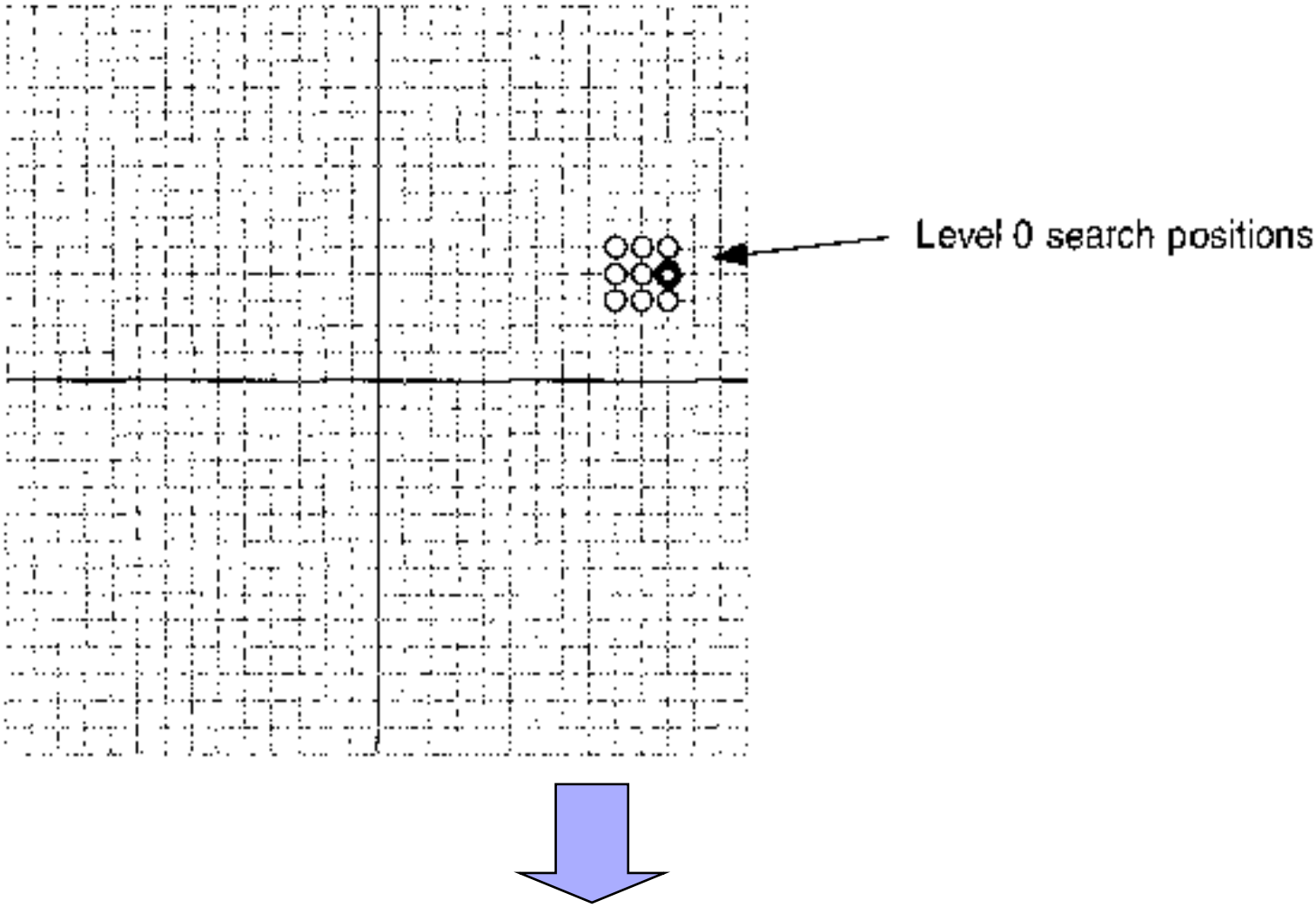


Level 2 search positions

Hierarchical Search

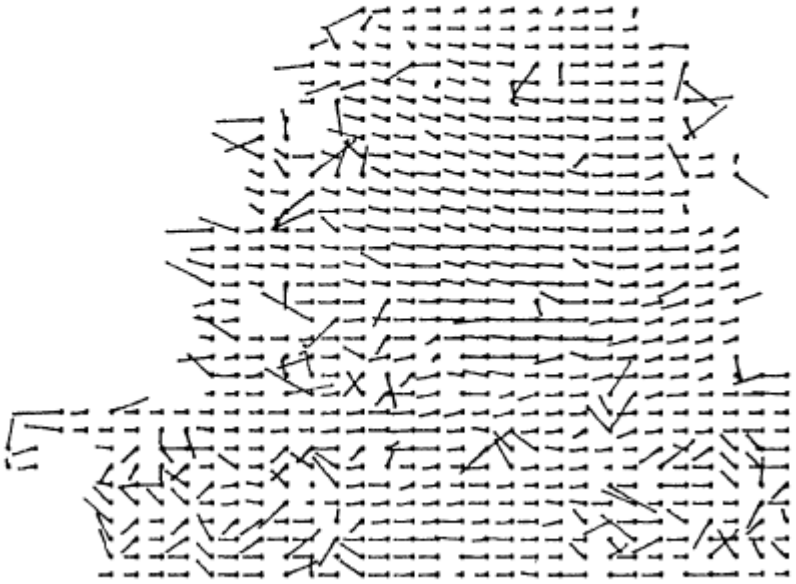


Hierarchical Search

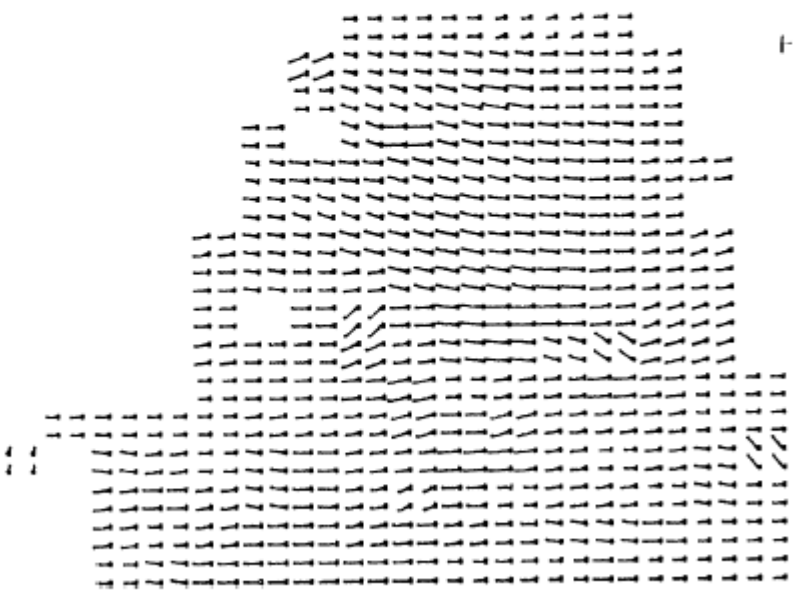


Hierarchical Search

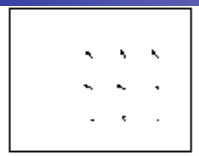
- Implicitamente ho uno smoothing dei vettori di moto



Full search block matcher

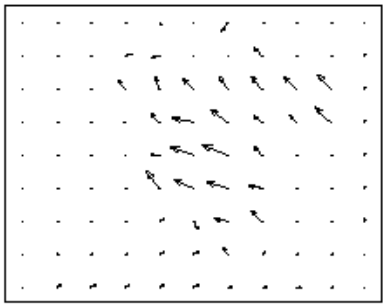


Hierarchical block matcher



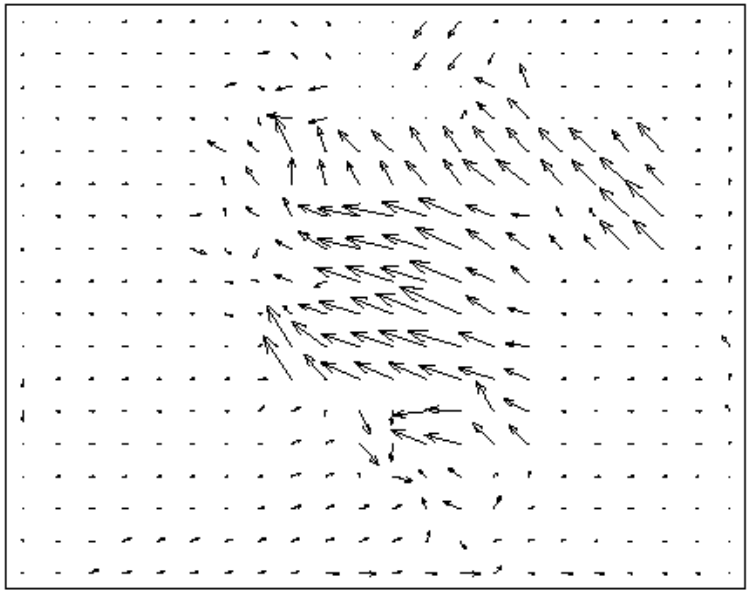
(a)

(b)



(c)

(d)



(e)

(f)

Comparazione algoritmi block matching

- Alcuni criteri da usare per la scelta dell'algoritmo di block matching:
  1. Matching performance: quanto è efficace l'algoritmo nel minimizzare il blocco residuo ?
  2. Rate-distortion performance: come si comporta complessivamente l'algoritmo a vari bitrate ?
  3. Complessità: quante operazioni sono necessarie per il block matching ?
  4. Scalabilità: l'algoritmo funziona bene sia con finestre di ricerca grandi che piccole ?
  5. Implementazione: l'algoritmo va bene sia che sia implementato in s/w che in h/w?

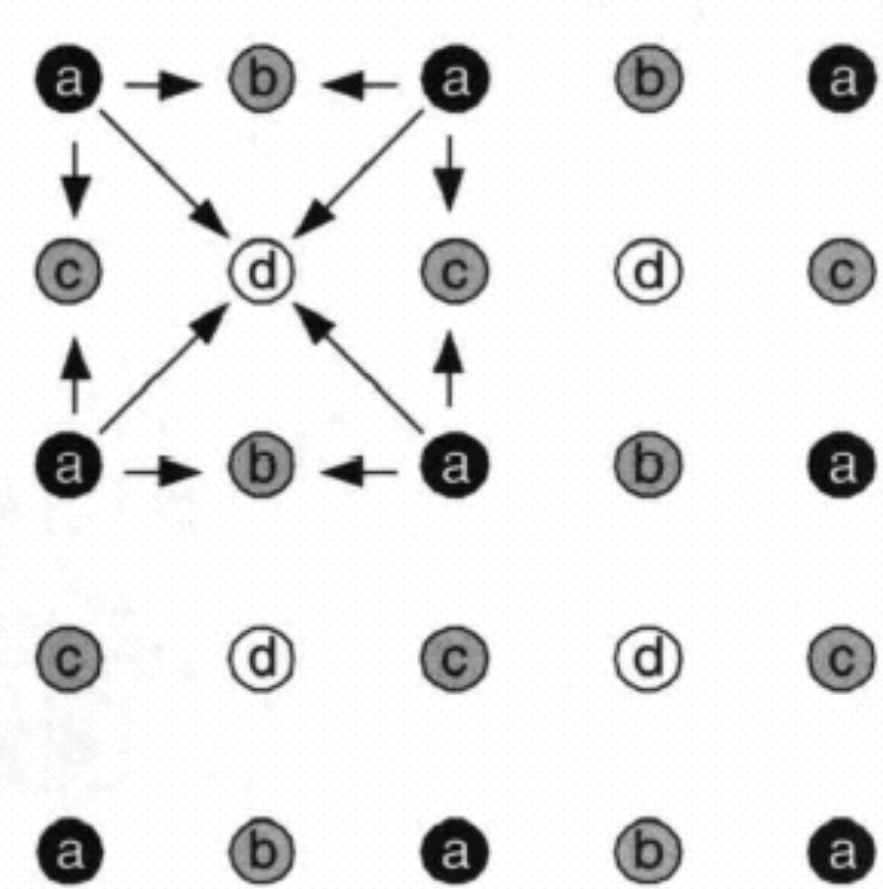
Comparazione algoritmi block matching

- Logarithmic search, cross-search e one-at-a-time hanno bassa complessità computazionale, al costo di una matching performance relativamente bassa.
- Hierarchical search è un buon compromesso tra performance e complessità ed è adatto per implementazioni hardware.
- Nearest-neighbours search, con la sua tendenza strutturale verso la predizione basata su mediana dei vettori di moto sembra funzionare bene quasi come una full search, ma con complessità molto ridotta.
  - La buona performance è dovuta al 'bias' della mediana, che tende a produrre piccole differenze nei vettori di moto, e quindi una loro codifica efficiente.

Sub-pixel Motion Estimation

- Per molti blocchi si ottiene un miglior match cercando in una regione interpolata, con accuratezza sub-pixel:
  - Il generico algoritmo di ricerca viene esteso come segue:
    1. Si interpolano i campioni nella search area dell'immagine di riferimento per creare una regione interpolata a più alta risoluzione.
    2. Si effettua la ricerca in locazioni full-pixel e sub-pixel nella regione interpolata e si cerca il best match.
    3. Si sottraggono i campioni della regione su cui si ha il best match (full- o sub-pixel) dai campioni del blocco corrente per formare il blocco differenza (error block).

Sub-pixel Motion Estimation



a: original integer samples

b,c,d: interpolated samples

Arrows indicate direction of interpolation

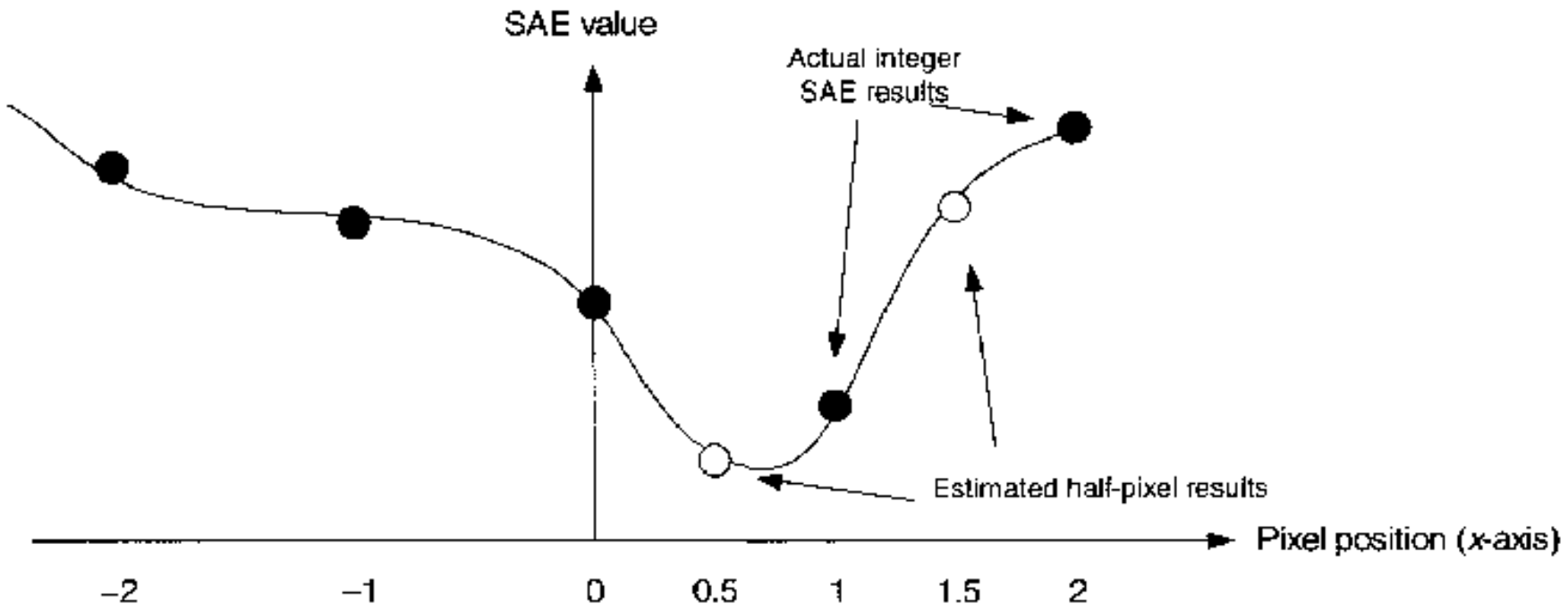
Half pixel interpolation

Sub-pixel Motion Estimation

- Motion compensation con accuratezza half-pixel è supportata da **H.263, MPEG-1 e MPEG-2** standard
- Livelli di interpolazione più elevati (1/4 pixel o più) sono proposti per gli standard emergenti H.26L/H.264. ¼ pixel è usato in MPEG-4

- Aumentare la “profondità” di interpolazione porta ad avere una migliore block matching performance al costo di un aumento di complessità computazionale.
  - Per limitare l’incremento di complessità computazionale di solito si cerca il best match su posizioni intere e poi si raffina con ricerca sub-pixel attorno alla posizione iniziale, oppure stimo a partire da valori basati su full-pixel

Sub-pixel Motion Estimation



Esercizi

- Usare VCDemo per provare il cambiamento di velocità nella ME con hierarchical matching quando si cambiano i livelli
  - Aprire sequenza video YUV
  - Aprire finestra ME
  - Impostare livelli diversi
  - Esaminare anche l'immagine errore
- Sempre con VCDemo, mantenendo lo stesso livello, cambiare dimensioni blocco di match e range di ricerca: esaminare i residui

Ottimizzazioni

- Early termination
  - Ogni volta che calcolo il best match, nel ciclo di calcolo della misura (es. SAE) controllo se ho passato il minimo finora ottenuto

  - Es.:
```
if (SAE_attuale > SAE_minimo)
    break;
```

Ottimizzazioni

$$\sum_{\text{block}} |S_k - S_{k-1}| \geq \left| \sum_{\text{block}} S_k - S_{k-1} \right| = \left| \sum_{\text{block}} S_k - \sum_{\text{block}} S_{k-1} \right|$$

$$\sum_{\text{block}} |S_k - S_{k-1}|^2 \geq \frac{1}{N} \left| \sum_{\text{block}} S_k - S_{k-1} \right|^2 = \frac{1}{N} \left| \sum_{\text{block}} S_k - \sum_{\text{block}} S_{k-1} \right|^2$$

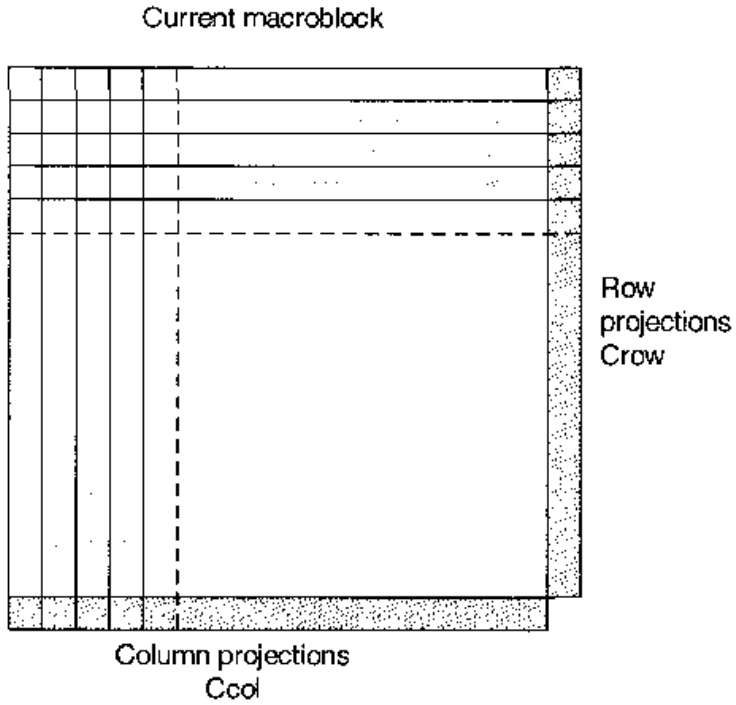
number of terms in sum

- Per SAD ed SSE valgono le equazioni viste sopra; la strategia è:

1. Calcolare le somme parziali per blocco corrente e riferimento
2. Comparare i blocchi usando le somme parziali
3. Non calcolare la comparazione standard se le somme parziali mostrano che l'errore è già maggiore del miglior risultato precedente

Ottimizzazioni

- **Row e column projections**
  - Una proiezione è calcolata sommando I valori di luminanza sulle colonne e le righe
  - Si usano i valori delle proiezioni per approssimare il calcolo di SAE



$$\mathrm{SAE}_{\mathrm{approx}} = \sum_{i=0}^{N-1} Ccol_i - Rcol_i + \sum_{j=0}^{N-1} Crow_j - Rrow_j$$

VBR vs. CBR

- Ci sono due modi per gestire il bitrate:
  - Variable Bit Rate (VBR)
    - Il bitrate può variare
  - Constant Bit Rate (CBR)
    - Il bitrate è costante all'interno di una qualche finestra temporale.
- Nel sequence header è specificato se CBR o VBR.
  - Nel sequence header anche informazioni su come calcolare il buffer minimo per decomprimere i frame.

VBR Q-scale

- In generale: VBR usato per mantenere la qualità del video.
- Il Q scale è aggiornato per mantenere la massima compressione sulla base di una qualità minima richiesta.
- Dobbiamo specificare una metrica per definire la qualità.

- Soluzione comune: q scale impostato staticamente per I-, P-, e B-frame.
  - Si varia all'interno dei macroblocchi

CBR Q-scale

- Per mantenere il CBR si usa q-scale per controllare il bitrate.
  - Maggiore è il valore di q-scale maggiore è la compressione (qualità peggiore).
  - Con bassi q-scale si privilegia la qualità a spese della compressione.

- Soluzione comune: si imposta una dimensione obiettivo per I, P, e B frame; quindi si aggiusta il q-scale dei macroblocchi man mano che si codificano, per raggiungere il target.

Decompressione

- È veloce: niente ricerca o matching
- Se i Motion Vector sono presenti
  - usa le tavole standard per decodifica Huffman dei vettori di moto
  - ricrea da codifica differenziale i vettori di moto
  - leggi i blocchi di riferimento dal buffer
- Se il Quantizer è presente
  - scala la matrice di quantizzazione con q-scale

Decompressione (cont.)

- Se Block Code è presente
  - Usa la tavole dello standard per la decodifica Huffman dei coefficienti
  - Decomprimi RLE
  - Zigzag all'incontrario
  - Quantizzazione all'incontrario
  - DCT inversa
- Combina blocchi differenza e riferimento

Decompressione (cont.)

- Combina 6 blocchi in un MB (con un-subsampling per tornare in 4:4:4)
- Combina macroblocchi in un'immagine
- Converte YCbCr in RGB per mostrare sullo schermo

Credits

- Chia-Wen Lin
- Ketan Mayer-Patel
- Douglas S. Reeves
- Min Wu
- Nicholas Beser
- Klara Nahrstedt