

Elaborazione delle Immagini

Sara Angeretti

@Sara1798

Fabio Ferrario

@fefabo

2023/2024

Indice

1	Il corso	5
1.1	Programma del corso	5
1.2	Gli orari	5
1.3	Programma Esteso	6
1.4	Libri di testo	6
1.5	Contatti	7
1.6	L'esame	7
2	Cenni sulla visione	10
2.1	Formazione del segnale immagine	10
2.1.1	Imaging	12
2.1.2	Radiometria e grandezze radiometriche	12
3	Digitalizzazione delle immagini	13
3.0.1	Nei video	13
3.1	Segnale immagine o irradianza	15
3.2	Campionamento vs quantizzazione	15
3.2.1	Campionamento	16
3.2.2	La risoluzione	16
3.2.3	Vari modi per rappresentare un'immagine	17
3.2.4	Quantizzazione	17
3.3	Digitalizzazione immagini a colori	18
3.3.1	Lo spazio colore RGB	18
3.3.2	HUI Hetc ho perso	19
3.3.3	Memorizzare i colori	19
3.4	Compressione delle immagini	19
4	Operatori puntuali	20
4.1	Preprocessing delle immagini	20
4.1.1	Operatori sulle immagini	20
4.1.2	Elaborazioni puntuali	21

4.1.3	E. locali	21
4.1.4	Istogrammi	21
4.1.5	Contrasto e luminosità locale	22
4.2	Operatori puntuali lineari	23
4.3	24
4.3.1	Es. di istogramma	24
4.3.2	Proprietà degli istogrammi	24
4.3.3	Concetto di stretch	24
4.4	Operatori puntuali non lineari	24
4.4.1	Logaritmico	24
4.4.2	Gamma	25
4.5	Modifiche del contrasto	25
4.6	LUT - look-up table	26
4.7	Trasformazioni puntuali basate sull'istogramma	26
4.8	Operatori puntuali pt.2	26
4.8.1	Miglioramento locale	26
5	Operazioni fra immagini	29
5.1	Slicing	29
5.2	Operazioni aritmetiche fra pixel	29
5.2.1	Differenza	29
5.3	Media di una sequenza	30
6	Operatori locali	31
6.0.1	Operazioni locali	31
6.0.2	Tipi di rumore	32
6.0.3	Degrado dell'immagine	32
6.1	Rumore	32
6.1.1	R. gaussiano	32
6.1.2	R. impulsivo	32
6.1.3	Dove nasce il rumore	32
6.1.4	Stima del rumore	32
6.1.5	Il modello gaussiano	32
6.1.6	Quantificare il rumore di acquisizione	33
6.2	Metriche oggettive	33
6.2.1	Quantificare la perdita di informazione/qualità	33
6.2.2	MSE	33
6.2.3	PSNR	33
6.2.4	confronto	33
6.3	Riduzione del rumore	33
6.3.1	Filtraggio	33

6.3.2	Filtri spaziali	33
7	Equalizzazione dell'istogramma	35
7.0.1	I. normalizzato	35
7.0.2	I. cumulativo	35
7.0.3	Equalizzazione totale e locale	36

Capitolo 1

Il corso

Il corso di Elaborazione delle Immagini 2023-2024 è erogato dai professori **Schettini** Raimondo e **Ciocca** Gianluigi.

1.1 Programma del corso

Durante il corso lo studente acquisirà competenze specifiche che lo porranno in grado di comprendere la catena di elaborazione, analisi e classificazione di immagini e video. Lo studente acquisirà inoltre le competenze necessarie per progettare, sviluppare ed integrare specifici moduli in sistemi applicativi complessi.

Competenze per cui questo corso prepara: esempi

Image Recognition in the Consumer Goods and Services Industry (supported by Accenture). Per esempio, una certa marca di prodotto paga un costo aggiuntivo al proprio valore per essere venduto ad altezza occhi per 10-12 metri di scaffale, mentre il prodotto sull'ultimo scaffale ha meno costi aggiuntivi. Parole sue: ***meglio essere quello che automatizza di quello che viene automatizzato.***

1.2 Gli orari

Martedì U24 C1 13:30-16:30 Lezione

Giovedì U14 LabA1 11:30-13:30 Lezione

Venerdì U14 LabA1 08:30-11:30 Lezione fino a metà Ottobre, poi Laboratorio

Le aule potrebbero cambiare di settimana in settimana.
Sono previsti seminari, in orario di lezione e non, e sono parte integrante del corso.

1.3 Programma Esteso

1. Cenni sulla percezione visiva, la visione umana e artificiale, il colore. Acquisizione e digitalizzazione di immagini.
2. Miglioramento delle immagini con operatori puntuali.
3. Filtraggio spaziale lineare e non-lineare.
4. Spazi colore. Elaborazione delle immagini a colori.
5. Segmentazione di immagini per regioni e per contorni.
6. Analisi tessiturale; Morfologia Matematica.
7. Descrizione e rappresentazione di immagini (regioni, contorni, approssimazione poligonale).
8. Riconoscimento, classificazione supervisionata e non supervisionata.
9. Introduzione alle reti neurali convoluzionali profonde.

1.4 Libri di testo

- R. Gonzalez, R. Woods, Digital Image Processing, Second Edition, 2002. Prentice Hall.
- R. Gonzalez, R. Woods, Digital Image Processing, Third edition, 2008 Prentice Hall. <http://www.imageprocessingplace.com/>
- R. Gonzalez, R. Woods, elaborazione digitale delle immagini, terza edizione (utile per chi ha difficoltà con l'inglese) non ha tutti i capitoli.
- R. Gonzalez, R. Woods, Digital Image Processing, forth edition, 2018 Prentice Hall.

Credo sia quest'ultimo perché parlava dell'ultimo del 2018. Comunque fa che costicchia, tipo tra i 100 e i 150€, ma se lo compri sull'Amazon indiano costa tipo 25\$ wth. Comunque giovedì 28 lo porta in aula. Che mentiroso,

non l'ha fatto.

Ocio non quello in italiano perché mancano i capitoli finali. <http://www.imageprocessingplace.com/>

Dispense a cura del docente (formato elettronico e/o cartaceo)

Alcuni libri on-line su argomenti affini al corso possono essere trovati al seguente indirizzo: <http://homepages.inf.ed.ac.uk/rbf/CVonline/books.htm>

1.5 Contatti

Comunicazioni docente-studenti

- Messaggi di posta elettronica raimondo.schettini@unimib.it
- Nel subject usare la parola chiave [EI]
- Firmare i messaggi con nome e cognome e mandarli solo quando essenziale
- Per esigenze di tipo organizzativo (prenotazioni, esami, ecc.) rivolgersi alla segreteria del dipartimento, non al docente.

Ricevimento studenti: Raimondo Schettini

1. U14, 2° piano, stanza 2059
2. Per appuntamento via mail (specificare il motivo della richiesta).
3. Dopo le lezioni.

Possibilità di stage/tesi:

1. Consultare il sito del laboratorio per avere una idea delle tematiche possibili per stage interni www.ivl.disco.unimib.it.
2. Inviare CV e piano di studi (con i voti degli esami sostenuti) a raimondo.schettini@unimib.it
3. Verrete convocati per un colloquio in cui vi verranno proposti stage interni od esterni.

1.6 L'esame

L'esame è composto di due prove:

Prova Scritta

- Sostenuta il giorno dell'appello d'esame come da SIFA
- Valutata in 30-esimi
- Consiste in un insieme di domande con risposte a scelta multipla e libera
- Due step
 1. 5 domande "base" di sbarramento (5 punti) max 15 minuti
Chi NON risponde correttamente a 4 su 5 domande di sbarramento non ha superato l'esame
 2. N domande con punteggio variabile (25 punti in totale) ha fatto vedere un esempio, un esercizio sulle chiavi
- Se il voto è < 18 l'esame non è superato.
- Se il voto è ≥ 18 si passa al progetto.

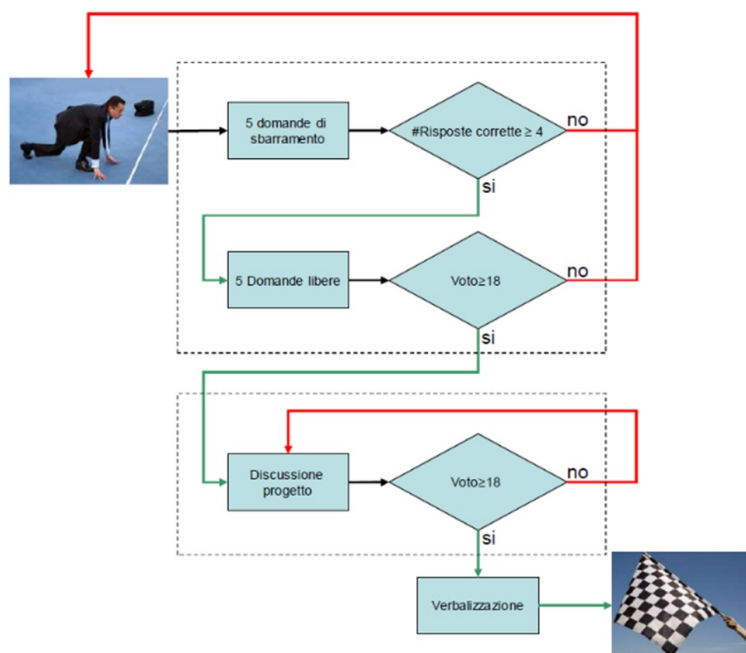
Prova Pratica

- La prova pratica consiste nella valutazione e discussione dello svolgimento di un progetto
 - Possibile svolgere il progetto in gruppi di **minimo 2 persone** massimo 3 persone
- Verranno valutate
 - Funzionalità del codice del progetto (demo live)
 - Slides che illustrino la struttura del progetto, le tecniche e algoritmi utilizzati, risultati ottenuti
- Se il voto è < 18 l'esame non è superato.
- Se il voto è ≥ 18 si passa alla verbalizzazione.
- Il progetto può essere svolto in qualunque linguaggio di programmazione
- Le slides devono descrivere schematicamente il funzionamento dell'applicazione sviluppata:

- Mediante diagrammi di flusso
- Descrizione di alto livello (macro-moduli)
- Descrizione dei singoli moduli

Informazioni finali

- La prova pratica può essere sostenuta in un appello diverso dalla prova scritta (purché superata)
 - Es. Prova scritta sostenuta all'appello di Febbraio, superata e prova pratica sostenuta all'appello di Luglio.
- Il voto della prova scritta rimane valido fino all'ultimo appello dell'anno corrente
 - Indicativamente Febbraio 2021 - Settembre/Novembre 2022
 - Dal primo appello del nuovo anno (2022), il voto viene, di norma, annullato
- Il progetto è unico per tutti gli appelli dell'anno corrente
- La prova pratica deve essere presentata da tutti i membri del gruppo
 - Almeno un membro del gruppo deve aver superato lo scritto
- Il voto della prova pratica è individuale



Capitolo 2

Cenni sulla visione

2.1 Formazione del segnale immagine



Le immagini vengono generate da radiazioni percepite da un sensore, siccome esistono diversi tipi di radiazioni (e di sensori), esistono anche diverse tipologie di immagini. La banda Elettro Magnetica che il nostro sistema visivo è in grado di percepire è molto ridotta sullo spettro elettromagnetico. Questa banda che noi possiamo vedere é chiamato **Spettro di Luce Visibile**.

Ci sono sempre nuovi sensori che permettono di rivelare altri tipi di radiazioni.

Es.: immagini della Luna, o lastre a raggi X fatte in ospedale, o angiogrammi, o altre immagini mediche.

Mentre diversi tipi di illuminazione sono: raggi gamma, raggi X, UV, luce visibile, infrarosso, onde radio. . .

Una stessa scena acquisita con diversi rivelatori genera immagini anche molto diverse fra loro. Potremmo avere:

- immagini di *riflessione* (e.g. immagini radar, sonar, slide stampata...)
- immagini di *emissione* (e.g. termografie, questa slide a monitor...)
- immagini di *trasmissione* (e.g. raggi X, questa slide sul proiettore...)

Riprendo da qua con interazione fra radiazione e materia, slide 9.

La lunghezza d'onda è proporzionale all'energia: lunghezze più basse (e pericolose) sono con energia più alta e viceversa. Ma non ha senso, ho capito male?

Ha fatto vedere immagini di luna e mediche. Sono tutte grigie. Come mai? Ad ogni immagine è associato uno scalare che danno informazioni per la mappazione.

Come mai un oggetto (es la felpa del compagno) è di un certo colore es blu? La luce è bianca, ma i range vengono quasi tutti assorbiti tranne il range che effettivamente vediamo.

L'immagine è un array dove per ogni elemento c'è un'informazione. Es a livello di grigio o sul colore.

Vector vs Raster Che differenza c'è fra un'immagine vector e un'immagine Raster?

La vector salva l'immagine in forme geometriche, es di un cerchio salva centro e raggio e ogni volta che la usi o sposti o copi viene ridisegnata, si salvano i vettori dei poligoni e il colore e vengono ridisegnate invece di memorizzare tutta l'immagine. Il vantaggio è la riutilizzabilità, nel senso che posso zoommare quanto voglio e l'immagine rimarrà nitida. La Raster invece è formata da pixel quindi ha una sua risoluzione e se vado ad ingrandirla diventa sgranata e illeggibile.

I pixel Il concetto di pixel è molto relativo: le immagini tipo da satellite avranno dei pixel giganteschi, mentre un'immagine piccina del pc o della mia fotocamera li avrà molto piccoli.

Problema delle scale: una delle prime difficoltà che troviamo quindi è che in una stessa immagine trovo oggetti che sono su scale diverse. Ma non tratteremo questo aspetto: ci sono algoritmi in grado di stimare la distanza fra oggetti raffigurati ma se ne parla alla magistrale (mi sono persa il nome tecnico di questo studio). Il problema è che è la grandissima maggioranza delle applicazioni che troviamo.

2.1.1 Imaging

Fabio, qua mi manca un pezzettino.

2.1.2 Radiometria e grandezze radiometriche

Studio del trasferimento di energia, energia emessa da un certo oggetto, etc.
Immagine.

Capitolo 3

Digitalizzazione delle immagini

Slide delle fasi dei Digital Image Fundamentals, siamo nella prima, digital world.

Immagini binarie, $x \in [0, 1]$, appartiene ad una classe o all'altra.

Abstract? Immagini scala di grigio, la trasformo in array. chiedo a fabio

$l(x, y) \in (a, b)$

la digitalizzazione di immagini a colori è più complessa, la rappresento con 3 valori, una per ogni canale.

I canali non sono colori, sono visualizzati a livello di grigio (0-255) e in fase di visualizzazione esce il colore.

Altri tipi di immagini, satellitari ad es., che sono a 7 bande. Perché 7? La visione umana è a 3 bande, quindi 3 canali.

Oltre al visibile, potremmo essere interessati ad altre informazioni es. certi range per le onde elettromagnetiche (es. se l'uva è matura, se è inquinata, etc., cose non visibili a occhio).

3.0.1 Nei video

Abbiamo una dimensione in più. partiamo dai diversi frame che prendono ad es. le basse luci, le luci medie e le luci alte che vengono poi combinate per creare le immagini Hcosa?

Perché utile? Perché nelle camere più moderne brevi sequenze video vengono combinate per creare immagini migliori.

Slide differenze immagini analogiche e digitali. La prima ha parametri spaziali che replicano le dimensioni reali, le seconde sono rappresentate da livelli di grigio.

Acquisizione di immagini

Due dispositivi:

- dispositivi analogici
- dispositivi digitali

La qualità del colore per le immagini analogiche è migliore per quanto riguarda il colore.

quando dico che un'immagine è digitale, è digitalizzata nel dispositivo con cui la acquisisco.

Caratterizzazione dell'immagine

il processo di dormazione dell'immagine implica il mapping di una scena 3D in 2D, viene proiettata. Con questa proiezione rischio di perdere il senso di distanza (o lo perdo proprio sempre?) (slide digitalizzazione di immagini).

a meno che non si metta nell'immagine un riferimento assoluto che conosco per certo, non riesco a capire le reali dimensioni dell'oggetto. È quello che diceva nella prima lezione quando parlava delle iridi come campione di misura.

Digitalizzazione di immagini

Le camere fotografiche digitali moderne sfruttano lo stesso concetto alla base della camera oscura.

È anche l'idea alla base della Polaroid. Perché quando togliamo la pellicola l'immagine diventa tutta grigia? Perché come ha detto Fabio non c'è la lente, non c'è la camera, perciò esce tutta grigia.

Ha nominato un algoritmo "Gray cosa?" che useremo per bilanciare le immagini.

La camera pinhole crea un'immagine riflessa dell'oggetto. Due slide su camera pinhole.

Potremmo fare un buco più grande per fare entrare più luce, ma non avendo la lente l'immagine esce molto sfocata.

Si usano quindi le **lenti**, che hanno una teoria molto complicata ma focalizza l'immagine.

Seguono slide utili per completezza. Una è su parametri geometrici, ottici, fotometrici. . . più ovviamente i parametri dei sensori.

I sensori

Slide con la matrice grigia.

Ho un filtro, un vettore e un array.

Quando uso il filtro? Per togliere infrarossi e ultravioletti, riduce tutto ciò che non è luce visibile.

Quando uso il vettore (la linea)? Oggi si usa su ali dell'aereo o droni per fare foto aeree.

Quando uso la matrice? Boh.

Slide figura 2.13

La risoluzione più alta ce l'ho a sinistra (che si muove) o quella a destra su cui ho messo i sensori?

Decisamente la prima perché la controllo io, la seconda è la dimensione del sensore. Lo scanner migliore (ha fatto l'esempio dello scanner a casa) è quello che ha la risoluzione più alta. Quindi sinistra.

3.1 Segnale immagine o irradianza

Questo è troppo semplificato sul libro. Slide con l'immagine della donna.

È il prodotto dell'illuminazione e della riflettanza.

Guarda la slide manca il secondo pezzo.

La riflettanza va da 0 a 1, l'illuminazione dipende dalla sorgente. Ma è *sempre* fra 0 e 1? Ha fatto l'esempio della discoteca e dei raggi UV. Alcune sostanze, alcuni sbiancanti, assorbono, rielaborano e riemettono la luce dei raggi UV.

3.2 Campionamento vs quantizzazione

Slide presa dal Gonzales, c'è una matrice. Il prof mette l'origine nell'elemento in basso a sinistra, il libro in alto a sinistra. La slide successiva mostra i grafici differenze fra campionamento e quantizzazione, dove è possibile vedere il *rumore*.

La slide successiva ne mostra la digitalizzazione. un pixel rappresenta quindi una regione dell'immagine e ha associato un solo valore di grigio. Ma è digitalizzato bene? Dipende dagli scopi della mia indagine.

3.2.1 Campionamento

Il sensore realizza un campionamento spaziale dell'immagine acquisita. La cella del sensore del telefono deve diventare più piccola perché devo tenere insieme i pixel, l'area sensibile diventa più piccola. Cosa vuol dire? Che perdo luce, prende più dettagli ma perde segnale. Quindi il mio sensore deve essere molto ma molto più sensibile.

Poco segnale = poco rumore.

Non sempre la risoluzione spaziale è un parametro che va massimizzato.

3.2.2 La risoluzione

È un concetto relativo.

Tre tipi:

- r. dell'apparecchiatura di acquisizione
- r. dell'apparecchiatura di resa
- r. di ripresa di una scena

Aliasing e campionamento

Quando digitalizzo un'immagine, il campionamento in alto non è necessario. Due slide, una è un buon esempio di campionamento, la seconda no. Si va a creare un'immagine che prima non avevo. È il fenomeno di Aliasing. Slide successiva con definizione. Poi c'è una slide con l'esempio di immagine corrotta per il fenomeno di Aliasing, esempio della persiana.

Ci sono teoremi che legano cosa al mio campionamento.

Il nostro campionamento deve essere almeno la metà della più piccola cosa che vogliamo sia visibile. Parliamo del teorema di Shannon. Qualsiasi segnale deve essere la somma di diverse curve, per essere sicuri di prendere tutti i più piccoli campionamenti.

Slide orologio da tasca: immagine divisa in 1250 punti.

Campionamento e tecnologia dei sensori

Slide risoluzione ottimale e tecnologia dei sensori.

Non va bene un sensore? Se ne cerca un altro.

3.2.3 Vari modi per rappresentare un'immagine

Slide con matrici.

Ci sono dimensioni più o meno standard.

Genericamente il più importante è il livello di quantizzazione. È il livello di grigio. È quasi sempre una potenza di due.

Es. slide della rosa: i pixel hanno sempre la stessa dimensione, ma cambia il numero di pixel. una 1024x1024 sarà grande e nitida, una 32x32 avrà grosse porzioni di immagine coperte da un solo pixel. Ovviamente se vado a prendere una piccola con pochi pixel es 32x32 e vado a ingrandirla, perdo dettagli e l'immagine uscirà molto molto sgranata. È la tecnica dietro all'oscuramento di volti alla tv. Ci sono algoritmi per simulare il recupero di definizione (visti alla magistrale), però sono una stima, una volta che l'informazione è persa è persa. È la slide di es. di elaborazione di basso livello, il lavoro che hanno fatto per la Canon, CNN con immagini di scimmia, farfalla, boh e bambino.

3.2.4 Quantizzazione

Quanti livelli di grigio servono?

La risoluzione di livelli di grigio è la più piccola differenza del livello di grigio è la più piccola che posso distinguere.

Slide con il tizio, i numeri sono il numero di livelli di grigio. Con la quantizzazione prendiamo un numero finito di valori nel range $f(x, y)$.

Esempio della stampante: fa quantizzazione, partendo da 4 colori ne seleziona i livelli per andare ad ottenere milioni di colori. La quantizzazione entra in campo quando diminuisco la dimensione dei dot nella visualizzazione puntinata dell'immagine.

Quantizzazione non uniforme

Slide. L'altra volta con la legge di Weber avevamo accennato alla quantizzazione, la discretizzazione dei livelli di grigio che non sempre opera su modelli lineari.

Tempo di acquisizione

Quando lo cambio cambio la quantità di luce che arriva al sensore. quando tengo un tempo troppo corto su immagine statica, l'immagine esce scura perché non entra abbastanza luce. Al contrario, quando è troppo alta va in saturazione e va a contaminare i pixel vicini (un po' quello che succedeva con

la Polaroid).

In caso dinamico ovviamente il tempo di esposizione deve essere diverso. Per esempio per un treno in corsa il tempo di acquisizione deve essere molto basso, ha bisogno di un sensore più sensibile così che bastino meno fotoni per generare il segnale.

Range dinamico

Molto diverso dal numero di pixel (numero di livelli, che fa che è tipo un salame, ovvero non importa quante fette faccio ma quanto è lungo il salame), o dal numero di bit.

C'è la slide con la definizione che mi sono persa.

In base a quello che voglio prendere (esempio finestra in una stanza buia) cambia il range dinamico che devo prendere.

Come si risolve? con l'HDR dice Fabio? Mi serve che il sensore veda più luce nel buio e meno luce nella zona illuminata.

Cosa succede ? Negli scuri si vede più rumore, nelle zone troppo illuminate si satura.

3.3 Digitalizzazione immagini a colori

Per ogni pixel devo avere le 3 informazioni, per RGB. Per acquisire tutti e tre i canali potrei usare prismi. ma è complicato per molti motivi, tra cui un costo eccessivo per 3 sensori, oltre ad un'ottica troppo complicata. Come fa ad esempio un cellulare ad acquisire i colori per ogni singolo pixel? Ogni pixel può vedere un solo canale, poi vengono combinati. Riprendiamo il concetto di curva luminosa di efficienza. Il sensore acquisisce quello che si chiama un Bayer pattern, che viene interpolato.

3.3.1 Lo spazio colore RGB

Lo possiamo vedere come un cubo con i 3 colori sugli assi cartesiani, Dove saranno i grigi? Sulla diagonale che va dal punto nero (0, 0, 0) al punto bianco (255, 255, 255). Allontanandomi dalla diagonale dei grigi, vado verso le superfici del cubo che hanno i colori più saturi più carichi.

Come faccio ad editare i colori? Ruoto il cubo? Chiedi a Fabio.

Slide con l'immagine colorata da scomporre in bande, seguono le versioni grigie e nere per ogni canale. Quella che rappresenta il canale verde è grigia e non bianca dove c'era il verde semplicemente perché non è il verde massimo.

Le immagini digitali possono esser visualizzate o riprodotte su appositi dispositivi quali monitor, display, proiettori e stampanti.

Differenza fra visione additiva e sottrattiva. La visione umana è additiva, ma i colori primari che usiamo sono Red, Green e Blue, non rosso giallo e blu come ci hanno insegnato alle elementari. Il sistema RGB però è sottrattivo.

— **Inizio Piccola Digressione** —

Nella slide delle fasi dei Digital Image Fundamentals, l'editing rientra nella fase finale, mental world.

Parliamo di related e unrelated colours. Un esempio del secondo è che in una situazione di tutto buio il marrone si vede giallo, in luce si vede marrone, praticamente giallo scuro. Praticamente è il colore che vediamo in relazione ad un altro colore.

— **Fine Piccola Digressione** —

3.3.2 HUI Hetc ho perso

Ho perso la slide, quella con la definizione di HUI.

3.3.3 Memorizzare i colori

Slide con la matrice.

3.4 Compressione delle immagini

Standard più usato JPEG. Prima di fare una compressione, devo fare una trasformazione del colore.

Le singole bande vengono compresse per ridurre la ridondanza del segnale. Poi l'immagine viene decompressa e restituita. Il JPEG ha un fattore di image quality. Se andiamo ad aumentare il fattore di compressione, diventa più piccola l'immagine in fase di compressione ma in fase di decompressione sui bordi vanno a crearsi degli artefatti.

Ovviamente il JPEG introduce gli artefatti ma è possibile con metodi e tecniche precise rimuovere questi artefatti. Parliamo di restauro immagini compresse.

Capitolo 4

Operatori puntuali

Con gli argomenti di oggi cominciamo la vera e propria elaborazione delle immagini.

Questo venerdì altre due ore di lezione. La settimana prossima di venerdì si comincia con Laboratorio, molto utile per capire la teoria e dà punti extra se si consegnano le consegne.

4.1 Preprocessing delle immagini

Entra un'immagine, esce un'immagine. Es.: un'immagine negativa, o una a cui aumentiamo il contrasto. . .

Distinzione fra **restoration** (il mio dispositivo elettronico crea rumore, ha un'ottica che distorce l'immagine, io cerco di migliorare l'immagine) e **enhancement** (operazione di basso livello che come prodotto finale dà una migliore visione dell'immagine e che opera su scelte di metodi e/o parametri, spesso "trial and error").

Noi vedremo una serie di metodi con 1+ parametri che definiamo (perché sappiamo come opera l'operatore sull'immagine).

4.1.1 Operatori sulle immagini

Per operare sulle immagini parliamo di **operatori**.

o. puntuali operano solamente su pixel

o. locali opera su quello che chiamiamo "intorno", il valore di ogni pixel è correlato al valore di quelli circostanti

L'intorno del pixel è spesso chiamato finestra o filtro: $g(x, y) = T[f(x, y)]$

o. ?

4.1.2 Elaborazioni puntuali

Il risultato di un'e.p. *omogenea* dipende solo dal valore dei pixel ed è per tutti uguale. Es.: elenco sulla slide

4.1.3 E. locali

T è un o. definito su un intorno di (x, y) , roba che ha cambiato slide

La trasformazione T è definita solo nel punto (x, y) , nella slide espressa graficamente. Cosa farà questa trasformazione?

$g(x, y) = T[f(x, y)] \rightarrow s = T(r)$ Possiamo scrivere ciò per gli o.p. Chiedi a Fabio. Nei valori intermedi maggiore informazione. Taglia le ombre, taglia le alte luci, stretcha i valori intermedi, ne dà il massimo possibile. Tipica delle macchine fotografiche. Ma abbiamo detto che la scala di grigio è relativa. Es.: quando definiamo le magliette dei vari tizi che seguono la lezione sono una in funzione dell'altra.

Ha mostrato una slide con 4 diverse immagini con 4 diverse scale di grigio, e 4 diversi istogrammi.

Mostra un'altra slide con 2 gruppi di 4 immagini con relativo istogramma di I/O. A noi appaiono diverse perché sono in funzione di ciò che c'è intorno. Per avere quello che appare, non devo necessariamente avere gli stessi valori.

L'immagine dei due grafici ha un grafico a destra che crea immagini binarie, rende tutti i colori bianchi o neri, rendendo tutti i colori prima di m neri e quelli dopo m bianchi, quindi 2 canali.

Grafico fig. 3.3: esempio di domande a barriera. Es.: quanto vale $L-1$? 1, ma perché? Il logaritmo ha dominio $[0, 1]$, la potenza pure ci dice che vale 1. Questo ci dice che il grafico parla di una trasformazione tra 0 e 1. Ma quindi è un'immagine digitale? Non c'è modo che immagini digitali stiamo fra 0 e 1, hanno valori discreti (Fabio?).

Quasi tutte le immagini digitali stanno su scale di grigio.

$L - 1$ è la notazione di Gonzales

Grafico colorato: soluzione.

4.1.4 Istogrammi

Strumento importante. Forniscono importanti informazioni sulle scale di grigio.

Somma dei bin = dimensione dell'immagine.

Se divido l'istogramma per l'area dell'immagine (estensione della curva). Cosa rappresenterà ogni bin? La stima della probabilità di avere quel valore nella mia immagine.

Due immagini possono avere lo stesso istogramma anche se hanno dimensioni diverse (proporzioni uguali), es. sono in scala.

Per questo anche è utile la normalizzazione tra $[0, 1]$, ci riconduciamo sempre ad un caso unico.

Slide successiva: 4 immagini geometriche, poi 5 immagini diverse con 3 canali (azzurro bianco e verde). Le 4 geometriche hanno tutte lo stesso istogramma, quelle 5 sotto pure, perché tengo conto solo dei colori e non della loro distribuzione.

DEFINIZIONE

L'istogramma dà una descrizione parziale della distribuzione dei livelli di grigio (o di colori) in un'immagine.

Mostra slide con un'immagine geometrica e un istogramma. Corrisponde? Abbastanza, ho due picchi uno più accentuato per il colore di sfondo e del buco, uno più limitato per il quadrato. è sfrangiata perché c'è rumore.

4.1.5 Contrasto e luminosità locale

Riprende il concetto di integrale come valore dell'area sottesa dalla curva in esame.

Luminosità

Luminosità media di un'immagine:

$$I_{(av)} =$$

Il numeratore mi dà la somma di tutti i livelli di grigio.

L'integrale a denominatore è l'area dell'immagine complessiva.

La frazione mi dà la media dei livelli di grigio.

Contrasto

Definibile come la differenza fra il valore massimo e minimo di un'immagine.

$$C = \frac{I_p - I_n}{I_n}$$

Di solito si dice che un'immagine è ben contrastata se sfrutta l'intero range di possibili valori. Nella slide dove dice ciò ci sono tre banconote: quale è quella meglio contrastata? Quella al centro perché usa tutti i livelli di grigio. Nelle tre immagini di Einstein cerchiamo di capire come possa essere l'istogramma: nella prima avrà un range di valori decisamente più compatto delle altre due, avendo un range di scala di grigi più ridotto. Man mano che aumento il contrasto, avrò un istogramma più ampio.

Contrasto e luminosità sullo sfondo

Lo sfondo cambia tanto: influisce su Fabio?

4.2 Operatori puntuali lineari

Se facciamo una trasformazione, può capitare che alcune cose vadano fuori dal range. C'è un'op. detta di clipping, arrivi al valore massimo e poi ti fermi. Spesso il clipping non è reversibile. Es. ho un'immagine in scala di grigi, i grigi più chiari una volta raggiunto il massimo che è valore di bianco perfetto poi sono persi, perché si uniformano al bianco che c'era già e a riabbassare i livelli tutto il mio nuovo bianco torna grigino. P è un valore moltiplicativo, nel secondo diagramma moltiplicandolo agli estremi dell'intervallo $[A, B]$ ottengo un nuovo intervallo che viene traslato verso destra. Per ottenere anche i valori a sinistra devo togliere a tutta L i valori di PA . Slide con radiografia luminosa e nera, in quella nera si vedono meglio i dettagli. Per questo è utile.

Slide con tre immagini, poco contrastate, scure ... Si vede dall'istogramma. Quella molto scura e poco contrastata ha un istogramma tendente verso gli scuri quindi a sinistra. Quella al centro ha un istogramma

Slide fig.3.8: l'istogramma c è decisamente della terza immagine perché ha meno livelli di grigio, la 1 e la 2 immagine facciamo molta fatica a distinguerle.

Slide fig.3.7: gli istogrammi corrispondono alle immagini, più contrasto più ampio l'istogramma.

Slide fig.3.11: ho due immagini, una molto nitida e una compressa con JPEG e quindi corrotta/rovinata/con rumore: l'istogramma della prima sarà molto ristretto, il secondo è più ricco ma perché JPEG ha rovinato l'immagine.

Due slide con immagini di una ragazza e relativo istogramma: l'immagine originale (1a immagine 1a slide) e quella a occhio indistinguibile avranno due istogrammi molto diversi, Fabio sa perché.

4.3

4.3.1 Es. di istogramma

Ho un'immagine (es. fig.3.24) decisamente sottoesposta. Come faccio a dirlo all'algoritmo che dovrebbe aggiustarla da solo?

Tornano utili concetti di statistica. La deviazione standard ci aiuta a capire quanto è "sparsa" la distribuzione dei valori di luminosità e contrasto. Queste cose sono descritte da **features**. Algoritmo tipo: if "media μ o σ di" fai cose, elif "varianza σ^2 o μ di qualcos'altro" fai altro.

4.3.2 Proprietà degli istogrammi

I valori degli istogrammi sono i valori dei pixel. Se ho un'immagine troppo scura, gli dico "porta i valori scuri a" etc.

4.3.3 Concetto di stretch

Fig.4.4

Due slide, una gialla e rosa, una con formule.

Operativamente, spostato il minimo ($P_{in} - G_{min}$), assegno il massimo, normalizzo i miei valori.

Altra slide, fig.4.6: taglio le code perché tipicamente sono rumore. Sotto c'è un esempio di eq. di 1 grado, non è sapere a memoria ma almeno capirla. Dobbiamo sviluppare la capacità di vedere un'equazione e capire cosa fa.

DEFINIZIONE

Lo stretching è una trasformazione lineare che espande in modo uniforme la dinamica originale dell'immagine, producendo un effetto globale di miglioramento del contrasto.

4.4 Operatori puntuali non lineari

4.4.1 Logaritmico

Parliamo di scaling logaritmico:

$$s = c \log(1 + r)$$

Due slide, la seconda è fig.3.5.

Prima di discretizzarla applico il logaritmo, così da poter Il primo esempio migliora la leggibilità dell'immagine (es. si vedono meglio le trame dei tessuti). Nel secondo caso migliora la leggibilità dell'immagine ma aumenta anche la visibilità del rumore.

Nell'esempio del ciclone invece si vede che il logaritmo non è una buona soluzione. Questo perché ho sbagliato la trasformazione.

4.4.2 Gamma

La gamma correction verrà usato molto di più.

Fig.3.6: due slide, la seconda dice $r_{\gamma}1$ e $r_{\gamma}1$, scrive quello che ha detto a parole.

Fig.3.8: la colonna vertebrale fratturata. La 1 è troppo scura, la 2 ancora un po' troppo scura, la 4 ha uno schiacciamento delle luci alte che fa perdere dettagli.

Fig.3.9: immagine aerea.

Slide con tizio e immagine di automobile: domanda di sbarramento. Che gamma abbiamo applicato?

Sopra gli scuri vengono espansi e i chiari compressi \rightarrow gamma \downarrow 1.

Sotto gli scuri vengono compressi e i chiari espansi \rightarrow gamma \uparrow 1.

Slide con 2 tizi: per entrambi gli incarnati sono più scuri, si espandono gli scuri(?) e quindi gamma \downarrow 1.

Due grafici con immagine più chiara e più scura. Noi stiamo incrementando gli operatori puntuali. Non ho capito la frase.

Gamma correction

C'è in moltissimi dispositivi, tipo nella nostra macchina fotografica viene applicata prima della visualizzazione.

Ocio: per un corretto processing andrebbe tolta la gamma correction.

Fig.3.7: immagine di una retina umana.

I dispositivi classici hanno delle gamme (fig.4.20) diverse in base alle condizioni di visualizzazione.

4.5 Modifiche del contrasto

3 slides.

Slide 3 grafici, sono in grado di trovare il valore di K ? Sì.

Servono tanti termini noti quante sono le equazioni.

3 grafici, l'istogramma verrà modificato con una polarizzazione: scuri abbattuti, quindi schiacciati verso la sinistra, chiari ?, quindi schiacciati verso destra.

Slide con 8 trasformazioni. Come faccio a provarle tutte con meno costo computazionale possibile? Risposta, LUT.

4.6 LUT - look-up table

Come faccio a trasformare un'immagine in scala di grigi in immagine a colori? Definizione slide con la tabella IN-OUT.

Utile per es per definire la temperatura, su una scala di colori: associo ad ogni livello di grigio una tripletta di valori di colori. È lo stesso modo con cui vengono create le gif, tramite una look-up table.

È facile cambiare i colori e creare animazioni: basta mostrare un colore, rendere tutto nero, l'istante successivo rifarlo senza scannerizzare di nuovo l'immagine.

Domanda in aula: Ma sarebbe meglio per ciascuno dei 256 valori di grigio vedere se è già stato calcolato e inserirlo altrimenti calcolarlo

4.7 Trasformazioni puntuali basate sull'istogramma

Definizione: slide

4.8 Operatori puntuali pt.2

Istogramma, strumento non perfetto ma utile per capire la distribuzione dei valori di un'immagine.

Un esempio di operazione **globale** che abbiamo già visto? Risposta: equalizzazione dell'istogramma. Abbiamo visto l'i. cumulativo: calcola la probabilità di avere fino ad un dato valore in ogni punto dell'immagine (funzione monotona crescente). Es.: probabilità di avere un valore j 256? 1, ovunque.

4.8.1 Miglioramento locale

In quali casi un operatore funziona più di un altro? Nel caso dell'eq. dell'i., abbiamo visto che quando ci sono pochi colori e niente cose in mezzo, l'equalizzazione non funziona per niente bene (crea rumore, disturbo) slide

dell'edificio sotto all'arco di pietra. In una situazione di questo tipo o metto a posto i chiari oppure metto a posto gli scuri. Capita nell'elaborazione delle immagini, mettere a posto solo le cose che mi interessano. Es.: lastra ai polmoni, mi interessano i polmoni, non l'osso della spalla.

Come faccio a migliorare solo la parte che mi interessa? (slide Sagrada Familia)

L'equalizzazione globale ovviamente non funziona (l'i. cumulativo ha una grossa gobba), se mi limito all'istogramma cumulativo di una sezione la situazione migliora.

Ma se per es. nella slide della S.F. volessi migliorare anche il cielo? Parliamo dell'equalizzazione dell'istogramma locale.

Due approcci: *sliding window approach* e *tiling approach*. Nel primo prendo un pixel e miglio il suo valore. Nel secondo prendo un intorno e usando tutti i pixel dell'intorno miglio il pixel di partenza e a lui sostituisco il valore.

Il problema è che oltre ad avere un costo computazionale altissimo (intorni molto piccoli, per immagini con migliaia di pixel), se le finestre non si sovrappongono rischio che si creino artefatti.

Ma questa idea di equalizzazione locale la posso applicare alla gamma correction? Potenzialmente sì (ci sono gamma correction adattative, si vedono alla magistrale) ma il problema è trovare la gamma giusta. Serve un understanding dell'intorno. Come posso fare?

Abbiamo detto che $\gamma_{\text{chiario}} < 1$ chiaro, $\gamma_{\text{scuri}} > 1$ scuro. e l'intorno è chiaro, devo scurire. Se l'intorno è scuro, devo schiarire. Se un po' e un po' non ho capito mi spiegherà poi Fabio. L'idea quindi sostanzialmente è quella di **calcolare la gamma in funzione dell'intorno**.

Slide con filamento di tungsteno (fig.3.24). Si vede poco ma dietro ce n'è un secondo decisamente sotto esposto. L'immagine ha una parte ben contrastata e una male contrastata.

Ma come faccio a capire se sono in una regione dell'immagine più scura o più chiara? Guardo l'intorno del pixel, se ha valori più verso lo 0 (scuro) o verso il 255 (chiaro)?

Se prendo ad esempio una regione che è metà chiara e metà scura, quindi sono su un bordo, come faccio a capire se devo schiarire o scurire? Con la varianza: la media sulla finestra considerata ci dà informazioni su quanto è luminoso un intorno, la varianza su quanto è contrastata. Domanda in aula: come mai varianza e non deviazione? Risposta, è una scelta dell'algoritmo.

Slide con i due filamenti, parla di local min ma non ho sentito.

La varianza cosa evidenzia? Le variazioni elevate di colori, quindi i bordi.

Slide con equazione:

- E è la funzione
- $ms(x, y)$ è la media (m) dell'intorno ($s(x, y)$)
- k è ??? (non ho capito, senti Fabio)
- σ è la deviazione dell'intorno, che deve avere una finestra di validità (non troppo scuro, non troppo chiaro)

Fig.3.25 contiene tre immagini, originale, media delle varianze, e ?

Ma il risultato finale va bene? Mica tantissimo, i bordi sono molto blurry, frastagliati, anche se la parte sotto del filamento dietro si vede meglio (ma non benissimo). Però non era la sua domanda, la domanda era sull'algoritmo. Risposta: ci sono troppe costanti da stimare. Come possiamo migliorare? Potremmo fare un algoritmo per stimare i parametri. Come? Entra in gioco machine learning.

Slide fig.3.27: immagine b, global equalization, c local equalization.

Ma siamo sicuri che per calcolare la varianza ho un costo computazionale minore dell'istogramma di equalizzazione?

Capitolo 5

Operazioni fra immagini

5.1 Slicing

Definizione di bit-plane.
Bit-plane slicing.

Nell'elaborazione si parla di ROI, Region Of Interest.

Domanda: come faccio ad elaborare solamente una certa porzione di immagine (es. solo il volto di una persona)?

Un approccio plain sarebbe "if questa cosa prendi qui, else prendi là". Ma sulle immagini ovviamente non è efficientissimo.

I bit-plane sono immagini binarie. Sfruttiamo gli operatori binari, AND e OR. Slide 6.

Le slide 7 e 8 fanno un esempio di uso degli operatori binari per ottenere le ROI di nostro interesse.

5.2 Operazioni aritmetiche fra pixel

5.2.1 Differenza

Slide 9, immagine all'istante t **meno** immagine originale = differenza, che se moltiplicata all'immagine all'istante t ci dà un'immagine di ciò che si è mosso (in questo esempio pedoni e macchina) e basta.

5.3 Media di una sequenza

Non ho capito se fa parte della parte prima, comunque slide 13.

All'inizio l'immagine mi risulta molto rumorosa (alto dx) poi diventa sempre più nitida finché vedo la galassia. Come mai? C'è ovviamente rumore, un segnale che si somma alle nostre immagini che ha media 0.

Riduciamo questo rumore mediando le varie immagini (slide 15-16).

Slide 14, recap di varianza e deviazione standard.

$$(\sigma^2)_f$$

è la varianza del segnale perfetto e vale 0. Slide 17, mostra gli istogrammi.

Slide 18, risultato finale.

Slide 20, cloning e combinazione di immagini, si fa alla magistrale.

Capitolo 6

Operatori locali

Abbiamo visto enhancing puntuale. Ora vediamo enhancing locale.

Da cosa deriva il rumore? Elettronica, interferenze di persone/oggetti, ma da cos'altro potremmo avere rumore? Dall'illuminazione. Es.: neon, potrebbe filtrare cosa? Non ci accorgiamo, ma l'immagine cambia. Risolviamo mediando n immagini. Slide 5.

Slide 6. Ma è sempre necessario ridurre il rumore? Se un'immagine si vede già bene? E come faccio su un'immagine singola?

Parliamo della Gioconda. Slide 7-8. Facciamo un esperimento. Mettiamo n volte un pattern randomico di rumore, cosa ci aspettiamo? Tante immagini rumorose. Però pattern casuali diversi influenzano l'immagine in modo diverso. Per dire, se sta sulla guancia no ma se finisce ad esempio sulla bocca sì.

Oppure nel caso di mammografia, se il rumore finisce su una zona non interessata dalle microcalcificazioni non ci interessa, ma in altre zone più mirate per la diagnosi non possono avere rumore.

Slide 9, anche l'AI ha problemi ad analizzare immagini rumorose. Es. della farfalla monarca che l'AI fatica a riconoscere quando vi viene sovrapposta un pattern di rumore.

6.0.1 Operazioni locali

Smoothing

Slide 10. Pixel: pelle o non pelle? Voglio che sia solo faccia: uso un face detector. Non voglio artefatti: sulla faccia voglio un filtro pesante, dove non sono sicura sia faccia uno leggero.

6.0.2 Tipi di rumore

Per noi è solo additivo, c'è il tipo ? che noi non vediamo.

6.0.3 Degradamento dell'immagine

Slide 11-12.

6.1 Rumore

Slide 13-14. Vediamo un fantoccio (si chiama così in radiologia): diversi sistemi di acquisizione generano diversi tipi di rumore. Diversi tipi di rumore hanno diverse distribuzioni statistiche riconoscibili dall'istogramma.

Ne trattiamo

6.1.1 R. gaussiano

Dipende da slide 15.

6.1.2 R. impulsivo

Nell'elettronica ad un certo punto il sensore va in saturazione e va a 0 (es. vecchi televisori quando andavano a neve).

6.1.3 Dove nasce il rumore

rumore gaussiano : roba slide Perché sensibile alla temperatura? Perché temperature alte creano energia, che influenza e crea rumore.

rumore impulsivo : roba slide

6.1.4 Stima del rumore

Come posso fare a stimare il rumore del mio dispositivo? Slide 18.

Vado a mettere un target, lo acquisisco, ne costruisco l'istogramma e in base a come è vedo che tipo di rumore è.

6.1.5 Il modello gaussiano

Slide 19.

6.1.6 Quantificare il rumore di acquisizione

Slide 21-22

6.2 Metriche oggettive

6.2.1 Quantificare la perdita di informazione/qualità

Slide 25

6.2.2 MSE

Slide 26

6.2.3 PSNR

Slide 26

6.2.4 confronto

Slide 27-28. Le due immagini hanno lo stesso MSE, ma la seconda ha un PSNR più ?.

6.3 Riduzione del rumore

6.3.1 Filtraggio

Slide 29, ne parleremo venerdì.

Parliamo anche di operatori e operazioni lineari e non lineari.

Ricordiamo che le nostre immagini sono matrici $n \times n$, avrò $n \bullet n$ operazioni.

6.3.2 Filtri spaziali

Il filtraggio lineare su un'immagine f di dimensione $M \times N$ si fa con una maschera di dimensione $M \times N$.

Domanda tipo barriera: questa maschera cosa fa? Le maschere devono sempre dare somma 1. Perché? se vado su zona omogenea l'applicazione del filtro non altera il valore dei pixel.

L'immagine che ha rubato recentemente di cui parla nell'audio (la maschera che si sovrappone e pixel etc) è la slide 34.

Capitolo 7

Equalizzazione dell'istogramma

Tecnica di image enhancement che permette di migliorare il contrasto in un'immagine.

Sfrutta il concetto alla base del contrast stretching, ovvero che un'immagine con un range di intensità più ampio è più contrastata.

Altri due punti dalla prima slide.

Altra slide.

Tecnica un po' troppo usata perché non richiede la scelta di alcun parametro ma problematica perché crea artefatti.

Taaaaaanta roba matematica, copio e incollo le slide.

7.0.1 I. normalizzato

Rappresenta la frequenza di occupazione dei livelli ed è interpretata come stima della probabilità di avere un valore k .

Immagine e formula.

7.0.2 I. cumulativo

slide della luna

perché l'equalizzazione qua esce male? Noi vogliamo che lo sfondo nero rimanga nero ma l'equalizzazione cerca di usare tutto il range possibile e quindi tira su tantissimo rumore.

In generale l'equalizzazione su istogrammi con sezioni vuote darà sempre problemi perché creerà artefatti cercando di riempire i buchi con informazione che non c'è.

Se l'immagine è già ben bilanciata, è molto probabile che l'equalizzazione la rovini.

Utile per lavorare su un'immagine presa in condizioni di illuminazione diverse. Slides sulla Sagrada Familia. L'equalizzazione non migliora l'immagine complessivamente: è possibile definire la funzione di trasformazione sulla base di una sottoregione dell'immagine.

7.0.3 Equalizzazione totale e locale

Ma come faccio tipo a distinguere l'istogramma del cielo (picco stretto nella zona dei chiari) da quello della facciata (picco largo e più spalmato)? Ad esempio con la deviazione standard. Un'alternativa è usare un **operatore sliding window**: prendo una tile e l'equalizzo, prendo un'altra tile e l'equalizzo. Il risultato sarà pessimo. Meglio sarebbe prendere una tile e le sue vicine e equalizzarle tutte insieme e poi sostituirlo nella tile originale (**tiling**?).