



Universitatea "Politehnica" din București
Facultatea de Electronică, Telecomunicații și
Tehnologia Informației



Tehnici Avansate de Prelucrarea și Analiza Imaginilor

Curs 1 - Introducere

Ș.I. Bogdan IONESCU
Prof. Constantin VERTAN
Conf. Mihai CIUC

Master SIVA - Sisteme Inteligente și Vedere Artificială 2010-2011

Bibliografie

[1] Curs



[2] C. Vertan, M. Ciuc, Tehnici fundamentale de Prelucrarea și Analiza Imaginilor, Ed. MatrixROM, București, 2007.
<http://alpha.imag.pub.ro/cursuri>



[3] A.K. Jain, Fundamentals of Digital Image Processing Prentice Hall, 1989.

[4] Matlab, documentație Image Processing Toolbox,
<http://www.mathworks.com/products/image/>

[5] alte surse, Internet, etc.

Tehnici avansate de prelucrarea și analiza imaginilor, Ș.I. Bogdan IONESCU 1

Cuprins curs

1. Introducere
2. Descrierea culorilor
3. Modificarea imaginilor prin operații geometrice
4. Filtrări liniare
5. Filtrări neliniare
6. Filtrări adaptive
7. Morfologie matematică
8. Transformări unitare

Tehnici avansate de prelucrarea și analiza imaginilor, Ș.I. Bogdan IONESCU 2

Plan Curs 1 - Introducere

- 1.1. Aplicații PAI
- 1.2. Arhitectura unui sistem PAI
- 1.3. Modul de reprezentare al imaginilor

Tehnici avansate de prelucrarea și analiza imaginilor, Ș.I. Bogdan IONESCU 3

1.1. Aplicații ale prelucrării și analizei de imagini

Tehnici avansate de prelucrarea și analiza imaginilor, Ș.I. Bogdan IONESCU 4

Cum putem defini conceptul de PAI ?

- ↳ "Image processing holds the possibility of developing the ultimate machine that could perform the visual functions of all living beings" **(Anil K. Jain, 1989)**
- ↳ Analiza și manipularea imaginilor cu ajutorul unui sistem de calcul.
- ↳ Prelucrarea și analiza imaginilor reprezintă un ansamblu de metode de transformare și interpretare a informației vizuale, reprezentate în formă digitală.

Tehnici avansate de prelucrarea și analiza imaginilor, Ș.I. Bogdan IONESCU 5

Cum putem defini conceptul de PAI ? (continuare)

↳ În domeniile ingineriei electrice și al sistemelor de calcul, PAI reprezintă orice formă de prelucrare de semnal pentru care datele de intrare sunt imagini, iar datele de ieșire sunt, fie tot imagini, fie seturi de caracteristici/atribute relative la conținutul imaginii de intrare. (Wikipedia)

- prelucrare digitală a imaginilor
- prelucrare analogică a imaginilor
- prelucrare optică a imaginilor

Unde își găsește aplicații PAI ?

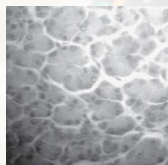
- > aplicații de "consum"
- > imagistică medicală
- > imagistică satelitară
- > supraveghere video
- > automatizări industriale
- > interacție om-mașină
- > multe multe alte aplicații ...

Aplicații de "consum"

> algoritmi generali

↳ corecții de iluminare

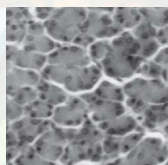
iluminarea neuniformă a imaginii constă în fluctuații artificiale ale intensității anumitor zone din imagine ce duc la alterarea informației (ex. imagini medicale)



imagine microscopică perturbată



câmpul de iluminare estimat



imaginea cu iluminare uniformă

Aplicații de "consum" (continuare)

> algoritmi generali

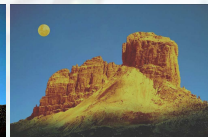
↳ corecții de contrast

defectele de contrast au ca rezultat eliminarea de informație utilă din imagine și/sau alterarea acesteia.

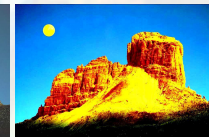
→ contrast = o măsură a raportului dintre intensitatea maximă și cea minimală din imagine.



contrast "corect"



contrast scăzut



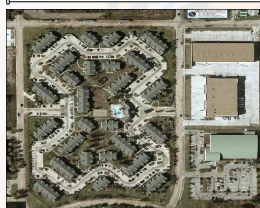
contrast ridicat

Aplicații de "consum" (continuare)

> algoritmi generali

↳ corecție defecte și zgomot

o altă problemă frecventă, chiar inerentă sistemelor de achiziție de imagini o reprezintă prezența informațiilor parazite în imagine, sau ceea ce numim *zgomot* al imaginii



original

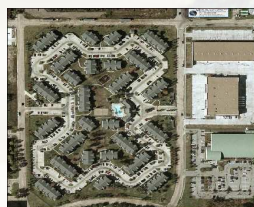


zgomot "salt and pepper"

Aplicații de "consum" (continuare)

> algoritmi generali

↳ corecție defecte și zgomot (continuare)



original



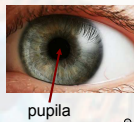
zgomot multiplicativ aleator "speckle"

eliminarea zgomotului se realizează în general prin operații de filtrare specifice: filtrare de mediere, filtrare mediană, filtrare adaptivă, etc.

Aplicații de "consum"

> algoritmi destinați aparatelor foto digitale

↳ corecția ochilor roșii



lumina blitzului camerei se declanșează prea repede pentru ca pupila să se închidă, aceasta se reflectă de peretele ochiului și revine afară prin pupila. Culoarea roșie apare datorită vaselor de sânge ale coroidei ce vascularizează peretele ochiului.



ex. se caută regiuni de culoare roșie cu anumite constrângeri geometrice iar pentru acestea se înlătură componenta de roșu



Tehnici avansate de prelucrarea și analiza imaginilor, Ș.I. Bogdan IONESCU

12

Aplicații de "consum" (continuare)

> algoritmi destinați aparatelor foto digitale și camerelor video

↳ detecția culorii pielii

se dorește localizarea în imagine a regiunilor ce corespund culorii pielii (umane). → prezență umană în scenă !?



ex. culoarea pielii este specifică și are o anumită paletă de culoare:
Roșu>95, Verde>40,
Albastru>20



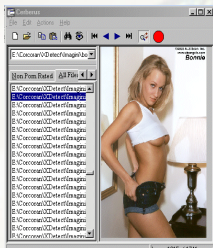
Tehnici avansate de prelucrarea și analiza imaginilor, Ș.I. Bogdan IONESCU

13

Aplicații de "consum" (continuare)

> algoritmi destinați aparatelor foto digitale și camerelor video

↳ detecția culorii pielii (aplicații)



detecția automată a conținutului sensibil: "family filter"



detecția și urmărirea feței

Tehnici avansate de prelucrarea și analiza imaginilor, Ș.I. Bogdan IONESCU

14

Aplicații de "consum" (continuare)

> gestiunea automată a colecțiilor multimedia

↳ CBIR = Content-Based Image Retrieval



> număr foarte mare de imagini
> cum găsim imaginea dorită ?
> cum specificăm ce imagine dorim ?

sistem de indexare

bază de imagini digitale: Internet, personală, etc.

Tehnici avansate de prelucrarea și analiza imaginilor, Ș.I. Bogdan IONESCU

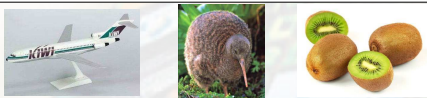
15

Aplicații de "consum" (continuare)

> gestiunea automată a colecțiilor multimedia (continuare)

↳ CBIR = Content-Based Image Retrieval (continuare)

cum specificăm imaginea dorită ? cel mai frecvent textual, ex. găsește toate imaginile cu kiwi



mai mult, anumite cuvinte sună similar și se scriu similar:



bear - beer



grid - greed

Tehnici avansate de prelucrarea și analiza imaginilor, Ș.I. Bogdan IONESCU

16

Aplicații de "consum" (continuare)

> gestiunea automată a colecțiilor multimedia (continuare)

↳ CBIR = Content-Based Image Retrieval (continuare)

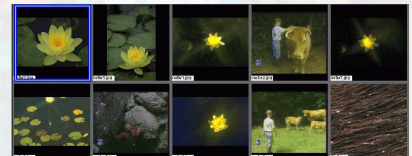
informația textuală nu este suficientă pentru a exprima cererile de căutare ("query") → informații de conținut



o imagine face cât 1000 de cuvinte

conversie automată de către CBIRS în atribute de conținut (adnotare):
culoare, textură, formă, ...

compararea acestora cu baza existentă și furnizare imagini similare →



Tehnici avansate de prelucrarea și analiza imaginilor, Ș.I. Bogdan IONESCU

17

Aplicații de “consum” (continuare)

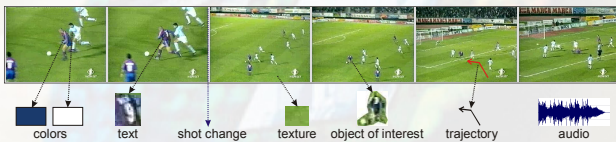
> gestiunea automată a colecțiilor multimedia (continuare)

↳ CBVR = Content-Based Video Retrieval

ca principiu problematica este aceeași ca în cazul imaginilor, cu mențiunea că este mult mai complexă (CBVRS sunt extensia temporală a CBIRS):

> volum mult mai mare de date de prelucrat, 1 minut video = 1500 imagini;

> multimodal: totul este în mișcare, evoluție temporală, sunet, text ...



> prea multe atribute, trebuie găsite doar cele mai reprezentative !

Imagistică medicală

> parte a modului de obținere al imaginii

↳ imagini microscopice (zoom <2.000.000x)

↳ radiografii ~ raze X

↳ MRI – Magnetic Resonance Imaging, folosește un câmp magnetic foarte puternic ce polarizează atomii de hidrogen din corp.

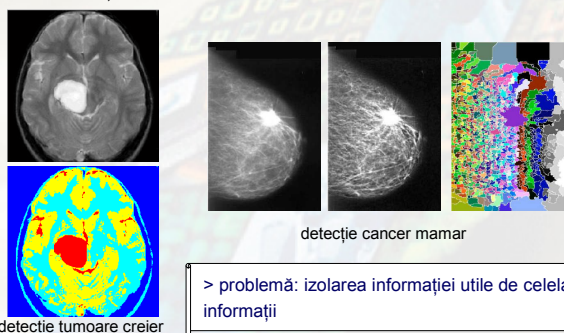
↳ alte tehnici: imagistică nucleară, ultrasunete, CT, ...



Imagistică medicală

> interpretarea automată a conținutului imaginii

↳ detecția automată a tumorilor



> problemă: izolarea informației utile de celelalte informații

Imagistică medicală

> interpretarea automată a conținutului imaginii (continuare)

↳ descriere automată a zonelor de interes, ex. melanoame de piele, criteriul ABCD

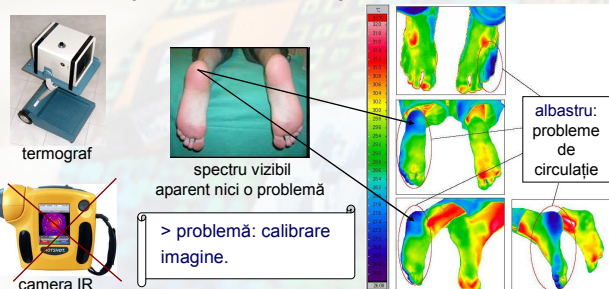


> problemă: stabilitatea achiziției culorilor, calibrare colorimetrică.

Imagistică medicală

> interpretarea automată a conținutului imaginii (continuare)

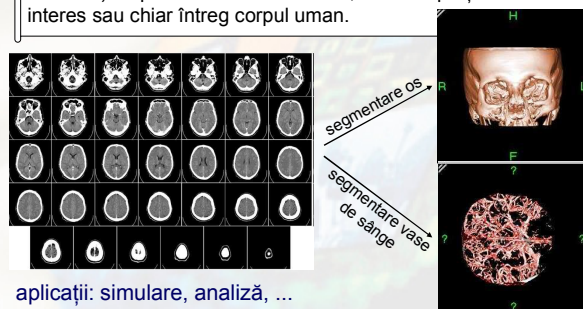
↳ termografie: transformă radiația electromagnetică din spectrul infraroșu (~0.9–14 μm) în imagini.



Imagistică medicală

> reconstrucție 3D

pornind de la un set de imagini medicale (“slices”, de regula CT sau MRI) se pot reconstrui virtual 3D, anumite părți anatomice de interes sau chiar întreg corpul uman.



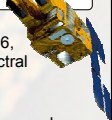
aplicații: simulare, analiză, ...

Imagistică satelitară

> "remote sensing"

captarea de la distanță ("remotely") a informațiilor relative la un anumit obiect sau fenomen (fără a interacționa fizic cu acesta).

→ dispozitivele de captură cele mai sofisticate: **sateliții**



- SPOT - Systèmes Probatoires d'Observation de la Terre (SPOT1: 1986, ... SPOT 5: 2002), 2.5m panchromatic (spectru vizibil), 10m multispectral (spectru Verde, Roșu, Infraroșu apropiat, Infraroșu mediu).

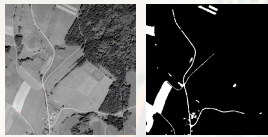
- IKONOS – 1999, 0.8 m panchromatic, 4m multispectral, 1m pan-sharpened = procesul de imbinare a imaginilor de rezoluție ridicată (panchromatic) cu cele de rezoluție scăzută (multispectrale) pentru a crea o singură imagine color de înaltă rezoluție (vezi GoogleEarth)

- QuickBird – 2001, 0.61m panchromatic, 2.4m multispectral

Imagistică satelitară

> "remote sensing" (continuare)

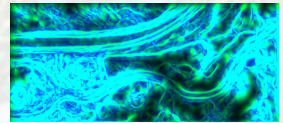
↳ imagini satelitare optice



segmentare bazată pe intensitate



imagine optică



filtrare în frecvență și clasificare

aplicații: **detectie automată a evenimentelor (inundații, incendii), supraveghere, GIS – Geographic Information System, ...**



segmentare bazată pe orientare

Imagistică satelitară

> "remote sensing" (continuare)

↳ SAR - Synthetic Aperture Radar

- această tehnică exploatează deplasarea unei antene pentru a forma o antenă de sinteză de dimensiuni semnificativ mai ridicate (rezoluție angulară mai mare decât a antenei imobile)
- fiecare culoare corespunde unei polarizări a unde emise și a unei polarizări a antenei de recepție ce pun în evidență tipurile diferite de interacții (sol, clădiri, ...)



SAR colorat folosind polarimetrie



Internal waves in the Strait of Gibraltar

avantaje: independente de vreme, iluminare, o gama largă de informații (amplitudine, coerență,...)

aplicații: ... + monitorizare evoluție ghețari, păduri, curenți apă, etc.

Supraveghere video

datorită evoluției tehnologice a sistemelor de achiziție de imagini, prețul acestora a scăzut dramatic, fiind practic integrate sau integrabile peste tot (mobile, sisteme laptop, intersecții, clădiri, ...)



ex. Webcam 13Eur

> detecția automată a evenimentelor de interes

↳ supravegherea traficului auto/persoane



detecția apariției obiectelor



detecția mulțimilor

Supraveghere video

> detecția automată a evenimentelor de interes (continuare)

↳ securizare



forțarea intrării



monitorizare perimetru

- s-a simplificat problema transiterii datelor: camere IP sau WiFi

- problemă: condiții meteo variabile, zi-noapte.



ex. Fibrage IP camera

Supraveghere video

> sisteme biometrice de identificare

sunt metode de identificare unică a persoanelor pe baza a una sau mai multe proprietăți intrinseci fizice sau de comportament

↳ **fiziologice:** amprente, recunoașterea feței, geometria mâinii, recunoașterea irisului, miros, ...



scanner iris



scanner amprentă

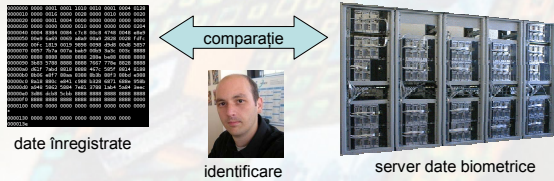


recunoaștere trăsături

Supraveghere video

> sisteme biometrice de identificare (continuare)

↳ de comportament: scrisul de mână, voce, gesturi, ...

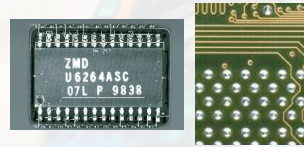


> indexare automată baze de înregistrări

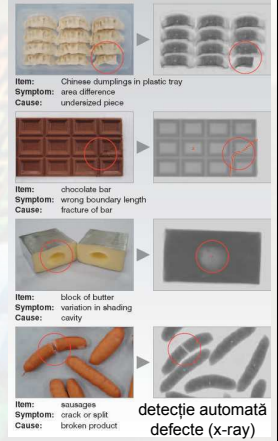
o cameră video poate înregistra 24h/24h, 7 zile/7 zile
~ 15.120.000 imagini pe săptămână → problemă localizare
evenimente de interes (ex. spargere, incendiu, ...), arhivare

Automatizări industriale

au ca principal scop substituirea prezenței umane în anumite procese de fabricație/monitorizare/evaluare sau în medii inaccesibile.
→ reducere costuri, minimizare eroare umană, maximizare eficiență



inspecție automată contacte – puncte de sudură (optic)



Automatizări industriale

↳ este nevoie de un sistem de achiziție de imagini "de încredere" = camere industriale

↳ rezoluție spațială (HD) și/sau temporală mare (normal 25 img/s, high speed 1000 img/s)

↳ cantitate mare de date vehiculată, necesitate protocoale de transfer de mare viteză

→ CameraLink (255MB/s),
FireWire (~400MB/s),
GigE Vision (Lan Gigabit).



cameră de mare viteză



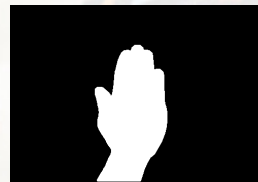
HD vs. SD (Jay Leno)



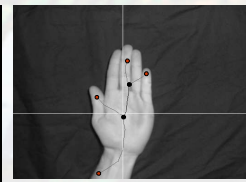
Interacție om-mașină

- este vorba de sisteme bazate pe vedere asistată de calculator și nu pe dispozitivele clasice (mouse, tastatură, etc.).
- motivate în principal de necesitatea unei interacții om-mașină cât mai apropiată de modul de percepție uman, și astfel cât mai naturală.

↳ sisteme de analiză și recunoaștere a gesturilor



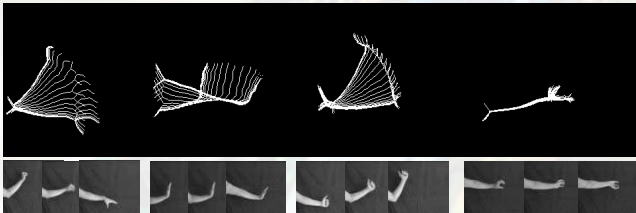
izolare automată a regiunii mâinii



recunoaștere automată trăsături

Interacție om-mașină

↳ sisteme de analiză și recunoaștere a gesturilor (continuare)



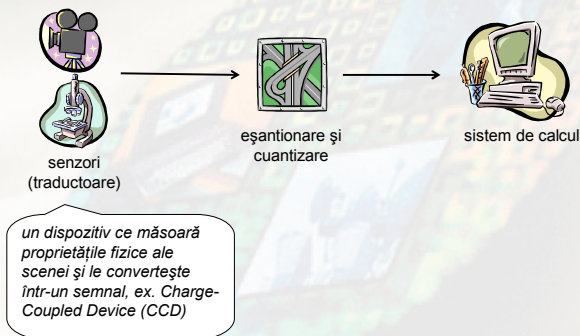
recunoaștere automată a gesturi dinamice ale mâinii

aplicații: ghidare roboți la distanță, recunoaștere automată semne, comandă, interacție virtuală, ...

1.2. Arhitectura unui sistem PAI

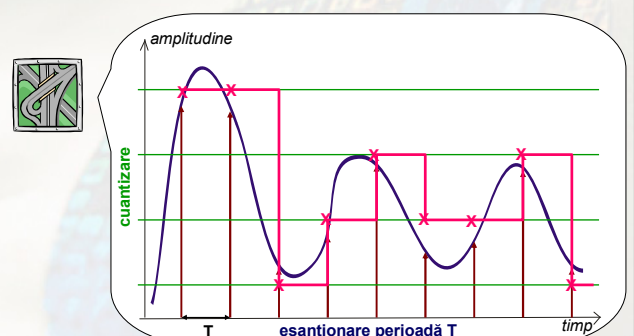
Arhitectura de principiu a unui sistem PAI

> la nivel fizic (**hardware**) aceasta poate fi descrisă astfel:



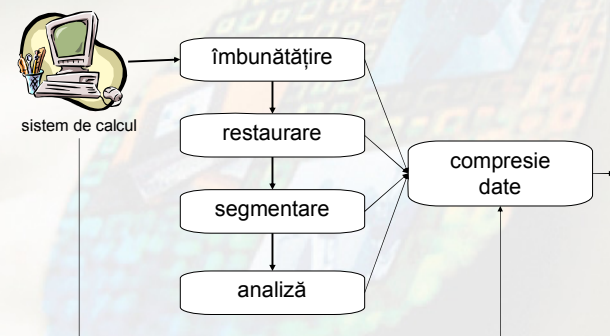
Arhitectura de principiu a unui sistem PAI

> eșantionarea și cuantizarea



Arhitectura de principiu a unui sistem PAI

> la nivel logic (**software**) aceasta poate fi descrisă astfel:



Arhitectura de principiu a unui sistem PAI

> la nivel logic (continuare)

↳ compresia datelor

are ca scop reducerea volumului datelor
→ stocare (eficientizare spațiu, constrângeri, etc.)
→ transmisie (lățime de bandă limitată)

tehnicele existente exploatează **redundanța** datelor.

→ **compresie cu pierderi** (informația originală este redusă prin eliminare, acesta nemaiputând fi reconstituită întocmai)

→ **compresie fără pierderi** (informația originală este redusă prin exploatarea repetitivității datelor, reconstrucția datelor inițiale fiind întocmai)

Arhitectura de principiu a unui sistem PAI

> la nivel logic (continuare)

↳ compresia datelor (continuare)



Arhitectura de principiu a unui sistem PAI

> la nivel logic (continuare)

↳ îmbunătățire

are ca scop reducerea degradărilor perceptuale și/sau aleatoare ale imaginii
→ zgomot (perturbația cea mai frecventă)



Arhitectura de principiu a unui sistem PAI

> la nivel logic (continuare)

↳ restaurare

are ca scop reducerea degradărilor *deterministe* (pentru care se poate estima mecanismul de producere al acestora)
→ focalizare, compensare mișcare, defecte optice, ...



Tehnici avansate de prelucrarea și analiza imaginilor, Ș.I. Bogdan IONESCU

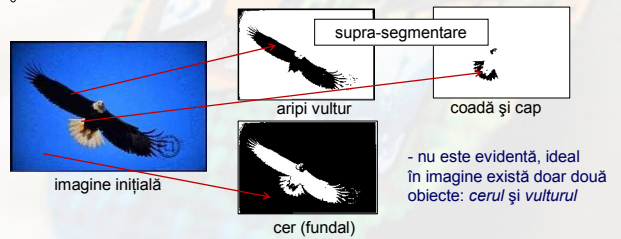
42

Arhitectura de principiu a unui sistem PAI

> la nivel logic (continuare)

↳ segmentare

descompunerea imaginii (scenei) în părțile sale constitutive sau izolarea unui element de interes.



Tehnici avansate de prelucrarea și analiza imaginilor, Ș.I. Bogdan IONESCU

43

Arhitectura de principiu a unui sistem PAI

> la nivel logic (continuare)

↳ analiză

constă în descrierea imaginii, a părților constitutive ale acesteia și/sau a relațiilor existente între acestea.
→ se trece de la obiecte la descrieri numerice



Tehnici avansate de prelucrarea și analiza imaginilor, Ș.I. Bogdan IONESCU

44

Arhitectura de principiu a unui sistem PAI

> la nivel logic (continuare)

↳ analiză (continuare)

tipul de descriere furnizat se împarte în două mari categorii:

-*descrieri sintactice* : sunt descrieri numerice de nivel scăzut (low-level) ex. parametri, statistici, histogramme, etc.



-*descrieri semantice* sau de nivel înalt apropiate de percepția umană

During the soccer game, Ronaldo number 9 from Real Madrid, scored.

Tehnici avansate de prelucrarea și analiza imaginilor, Ș.I. Bogdan IONESCU

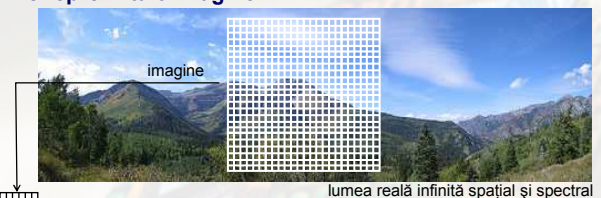
45

1.3. Modul de reprezentare al imaginilor

Tehnici avansate de prelucrarea și analiza imaginilor, Ș.I. Bogdan IONESCU

46

Ce reprezintă o imagine ?



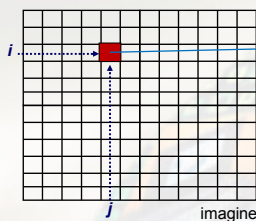
imagine digitală = ansamblu de valori plasate după o formă spațială într-un spațiu cel puțin bidimensional (matrice)

imagine = o proiecție a lumii reale într-un plan/hyperplan.

Tehnici avansate de prelucrarea și analiza imaginilor, Ș.I. Bogdan IONESCU

47

Ce reprezintă o imagine ?



elementul de bază al unei imagini 2D se numește **pixel** = picture element.

imagine = o mulțime finită de pixeli

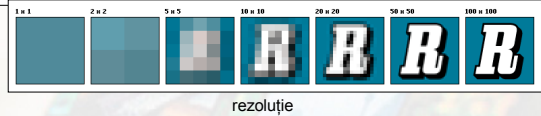
fiecare pixel al imaginii este caracterizat prin:

- **valoare** → legată de "culoarea" transmisă (ex. alb, roșu, etc.)
- **poziție în imagine** → informație spațială.

forma pixelului: pătrată, rotundă, rectangulară (grid) + dimensiunea pixelului fac legătura dintre imagine și realitatea fizică.

Ce reprezintă o imagine ?

rezoluția de pixeli = numărul de pixeli pe orizontală X numărul de pixeli pe verticală (dimensiune imagine)
→ rezoluție mare înseamnă o mai bună reprezentare a realității (mai multe detalii)



rezoluție

rată de aspect = lățimea imaginii în pixeli împărțită la înălțimea în pixeli.



Ce reprezintă o imagine ?

rezoluția spațială = numărul de pixeli **independenți** pe unitatea de lungime:

- dpi (dots per inch),
- ppi (pixels per inch),
- lpi (lines per inch).

→ anumiți pixeli pot fi extrapolați artificial din pixeli reali înregistrați, pentru o rezoluție reală nu se ține cont de aceștia (camere Web ?).
→ cu cât mai mulți dpi cu atât mai clară este imaginea.

- dimensiunea unui pixel = $1 / \text{rezoluție spațială}$
ex. 300 dpi → 1 pixel = $1/300 \text{ inch} = 3.3 \text{ m inch} = 0.00838 \text{ cm}$

- valori uzuale: 150 dpi = 59,06 pixels/cm (~ 60)
300 dpi = 118,11 pixels/cm (~ 120)
600 dpi = 236,22 pixels/cm (~ 240)
1200 dpi = 472,44 pixels/cm (~ 480)

Cum sunt reprezentate imaginile digitale ?

numere digitale = numere reprezentate cu un număr finit de biți, după un format standard pentru un calculator [digital].

numeric ≠ digital

> d.p.d.v. al valorilor, imaginile digitale sunt de două feluri:

↳ **imagini scalare** = valoarea oricărui pixel este un scalar proporțional cu intensitatea luminoasă

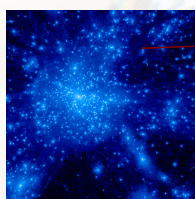


Cum sunt reprezentate imaginile digitale ?

> d.p.d.v. al valorilor, imaginile digitale sunt de două feluri (continuare):

↳ **imagini vectoriale** = valoarea unui pixel este un vector

- **imagini color**: un pixel este de regulă (cel mai frecvent) un triplet (R,G,B) = procent de roșu, de verde și de albastru, unde fiecare valoare este pe 8 biți ($0 \leq R \leq 255$, etc.)



pixel = (84,187,254)

spațiu de culoare = este un model matematic abstract ce descrie un mod de reprezentare al culorilor ca vectori de numere (R,G,B) → **spațiul de culoare RGB**

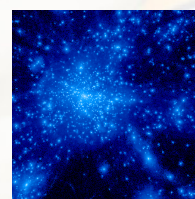
imagine color RGB
(8+8+8 biți/pixel)

Cum sunt reprezentate imaginile digitale ?

> d.p.d.v. al valorilor, imaginile digitale sunt de două feluri:

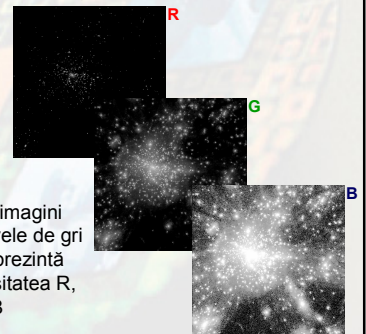
↳ **imagini vectoriale** (continuare)

- **imagini color** (continuare)



imagine color RGB
(8+8+8 biți/pixel)

= trei imagini cu nivele de gri ce reprezintă intensitatea R, G și B



Cum sunt reprezentate imaginile digitale ?

> d.p.d.v. al valorilor, imaginile digitale sunt de două feluri:

↳ **imagini vectoriale** (continuare)

- **imagini satelitare** : un pixel poate fi un vector cu 3 – 200 componente.

- **imagini termografice** : un pixel poate fi un vector cu 2 – 5 componente în banda IR (infra-roșu).

> d.p.d.v. al semnificației valorilor, imaginile digitale sunt:

↳ **imagini de intensitate** = valorile pixelilor sunt direct proporționale cu mărimea fizică măsurată în scenă (culoare, intensitate luminoasă, temperatură, ...)

Cum sunt reprezentate imaginile digitale ?

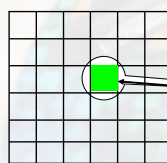
> d.p.d.v. al semnificației valorilor, imaginile digitale sunt:

↳ **imagini indexate** = valorile pixelilor nu au legătură cu mărimea fizică măsurată în scenă.

- valorile pixelilor nu sunt altceva decât niște indici (adrese) ale unor valori de culori dintr-o tabelă atașată imaginii sau cunoscută "a priori" = LUT (Look-up-Table)

Index culoare	R	G	B
0	255	0	0
1	0	255	0
...			
N	255	255	255

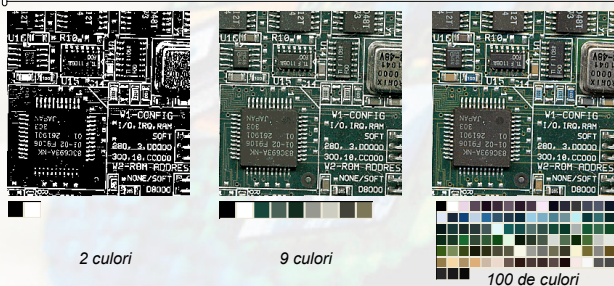
LUT



Cum sunt reprezentate imaginile digitale ?

> imagini diferite au culori diferite

paletă de culoare = mulțimea tuturor culorilor (intensităților) folosite de imagine.



Cum sunt reprezentate imaginile digitale ?

> imagine nu este întotdeauna reprezentarea fidelă a realității ! ci o proiecție a acesteia

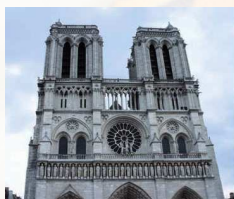
→ există o multitudine de reprezentări "fidele"



Cum sunt reprezentate imaginile digitale ?

> imagine nu este întotdeauna reprezentarea fidelă a realității ! ci o proiecție a acesteia

→ există o multitudine de reprezentări "fidele" (continuare)



varianta 1



varianta 2
(corecție de perspectivă)

Cum sunt reprezentate imaginile digitale ?

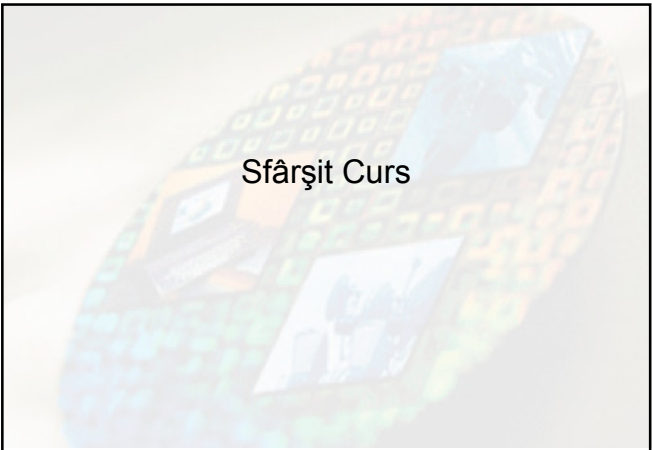
> în general în cazul sistemelor de analiză a imaginilor apar două paradigme ce trebuiesc depășite:

→ **paradigma senzorială** = "sensor gap"

discrepanța care există între informațiile prezente în scena reală 3D și informațiile furnizate de imagine, imagine ce reprezintă o proiecție discretă 2D obținută în momentul înregistrării scenei.

→ **paradigma semantică** = "semantic gap"

discrepanța dintre informațiile extrase în mod automat din imagine și semnificația semantică pe care le-o putem atribui acestora.



Sfârșit Curs