

LUCRAREA NR. 07

Detectia liniilor folosind transformata Hough**Formularea problemei**

În mod ideal, metodele discutate în lucrarea precedentă ar trebui să furnizeze pixeli care se afla doar pe muchii. În practică, acest set de pixeli rareori caracterizează în mod complet o muchie datorită zgomotului, întreruperilor muchiei datorate iluminării neuniforme și a altor efecte care introduc false discontinuități ale intensității. Astfel, algoritmi de detectie a muchiilor sunt urmăriți în mod tipic de proceduri de conectare pentru asamblarea pixelilor în muchii semnificative.

Procesare globală - transformata Hough pentru linii**1. Transformata Hough**

Dat fiind un set de puncte dintr-o imagine (binară), se dorește găsirea unor subseturi ale acestor puncte localizate pe linii drepte. O soluție posibilă este de a găsi mai întâi toate liniile determinate de fiecare pereche de puncte și apoi de a găsi toate subseturile de puncte care sunt apropiate de anumite linii. Problema acestei proceduri este că implică găsirea a $n(n-1) \sim n^2$ linii și apoi efectuarea a $n(n(n-1))/2 \sim n^3$ comparații ale fiecărui punct cu fiecare linie. Aceasta abordare este restrictivă din punct de vedere computațional.

Pe de altă parte, în cazul transformatei Hough, se consideră un punct (x_i, y_i) și toate liniile care trec prin acest punct. Prin acest punct trec o infinitate de linii, toate satisfăcând ecuația $y_i = -x_i a + b$. Scriind această ecuație sub forma $b = -x_i a + y_i$ și considerând planul ab (denumit și spațiul parametrilor) se obține ecuația unei singure linii pentru o pereche fixă (x_i, y_i) . Mai mult, un al doilea punct (x_j, y_j) are de asemenea asociată o linie în spațiul parametrilor, și această linie intersectează linia asociată cu (x_i, y_i) în (a', b') , unde a' este panta iar b' interceptul liniei care conține atât punctul (x_i, y_i) cât și (x_j, y_j) în planul xy . De fapt, toate punctele de pe această linie au asociate linii în spațiul parametrilor care se intersectează în punctul (a', b') . Figura 1 ilustrează acest concept.

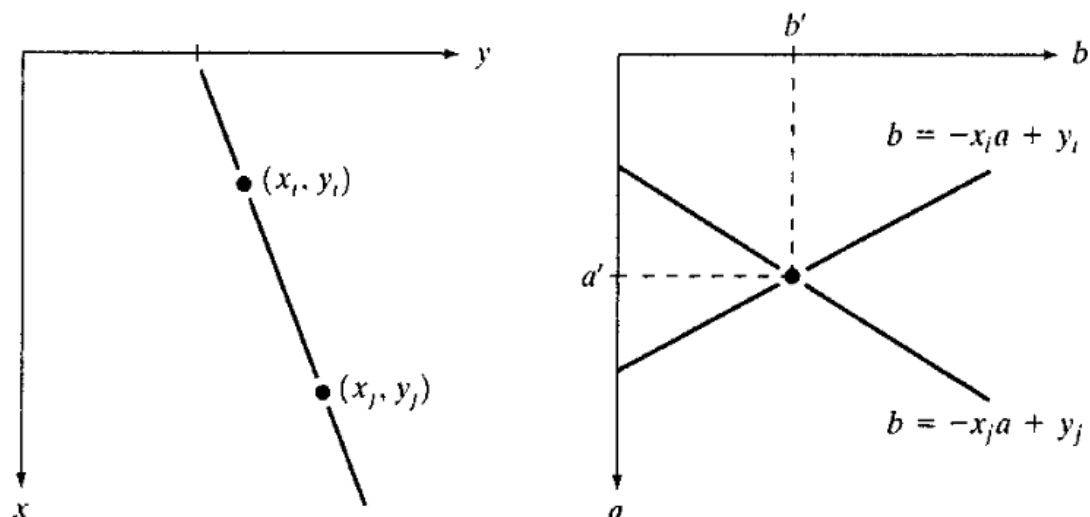


Figura 1. (stanga) Planul xy . (dreapta) Spatiul parametrilor.

În principiu, pot fi trasate liniile din spatiul parametrilor corespunzătoare tuturor punctelor (x_i, y_i) din imagine, și, apoi, liniile în imagine să fie identificate prin numărul mare de intersecții ale liniilor din spatiul parametrilor. Totuși, o dificultate practică a acestei abordări este aceea că a (panta liniei) tinde spre infinit pe măsura ce linia se apropie de direcția verticală. O modalitate de a rezolva această problemă este de a utiliza reprezentarea unei linii utilizând coordonate polare:

$$\rho = x \cos \theta + y \sin \theta. \quad (1)$$

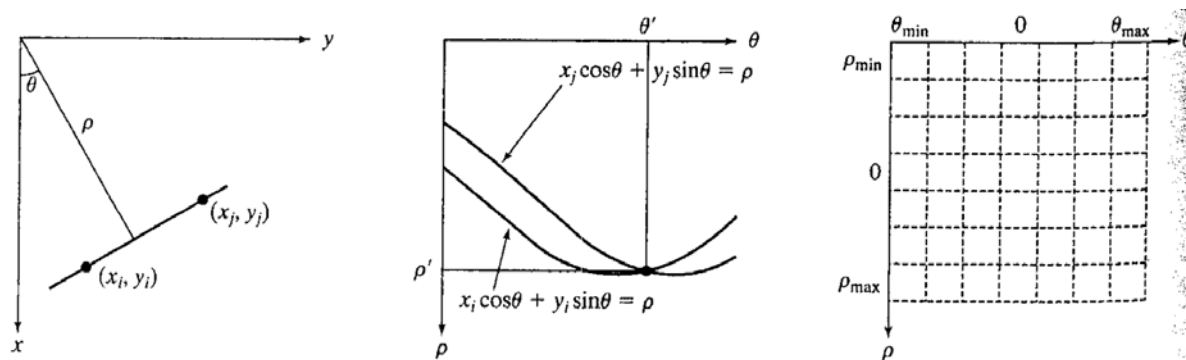


Figura 2. (stanga) Parametrizarea (ρ, θ) a liniilor din planul xy . (mijloc) Curbe sinusoidale în planul (ρ, θ) ; punctul de intersecție, (ρ', θ') , corespunde parametrilor liniei ce unește (x_i, y_i) și (x_j, y_j) . (dreapta) Divizarea planului (ρ, θ) în celule acumulator.

Figura 2 ilustrează interpretarea geometrică a parametrilor ρ și θ . O linie orizontală are $\theta = 0^\circ$ și ρ egal cu intersecția cu axa x . În mod similar, o linie verticală are $\theta = 90^\circ$ și ρ egal cu intersecția cu axa y pozitivă, sau $\theta = -90^\circ$ și ρ egal cu intersecția cu axa y negativă. Fiecare curbă sinusoidală din Figura 2 (mijloc) reprezintă o familie de linii ce trec printr-un anumit punct (x_i, y_i) . Punctul de intersecție (ρ', θ') corespunde liniei ce trece atât prin (x_i, y_i) cât și prin (x_j, y_j) .

Faptul că transformata Hough este atractivă din punct de vedere computațional provine din sub-divizarea spațiului parametrilor (ρ, θ) în așa-numite celule de

acumulare ca în Figura 2 (dreapta), unde $(\rho_{\min}, \rho_{\max})$ și $(\theta_{\min}, \theta_{\max})$ sunt intervalele prevăzute pentru valorile parametrilor. Uzual, intervalele maxime de valori sunt $-90^\circ \leq \theta \leq 90^\circ$ și $-D \leq \rho \leq D$, unde D reprezintă distanța dintre colturile imaginii. Celula de coordonate (i, j) , cu valoarea acumulator $A(i, j)$, corespunde patratului asociat cu coordonatele (ρ_i, θ_j) din spațiul parametrilor. Inițial aceste celule au valorile setate pe zero. Apoi, pentru fiecare punct muchie (x_k, y_k) din planul imaginii, se variază θ în intervalul subdivizat și se calculează valorile ρ corespunzătoare utilizând ecuația $\rho = x_k \cos \theta + y_k \sin \theta$. Valorile ρ rezultate sunt apoi rotunjite la cea mai apropiată celulă pe axa ρ . Celula acumulator corespunzătoare este incrementată. La terminarea acestei proceduri, o valoare Q în $A(i, j)$ semnifică faptul că Q puncte din planul xy se afla pe linia $\rho_i = x \cos \theta_j + y \sin \theta_j$. Numărul de subdiviziuni din planul (ρ, θ) determină acurătatea coliniarității acestor puncte.

Funcția MATLAB **[H, THETA, RHO] = hough(BW)** calculează transformata Hough a imaginii binare BW.

THETA (in degrees) and **RHO** are the arrays of **rho** and **theta** values over which the Hough transform matrix, **H**, was generated.

[H, THETA, RHO] = hough(BW, PARAM1, VAL1, PARAM2, VAL2)

sets various parameters. Parameter names can be abbreviated, and case does not matter. Each string parameter is followed by a value as indicated below:

'ThetaResolution' - Real scalar between 0 and 90, exclusive. 'ThetaResolution' specifies the spacing (in degrees) of the Hough transform bins along the theta axis. Default: 1.

'RhoResolution' - Real scalar between 0 and $\text{norm}(\text{size}(\text{BW}))$, exclusive. 'RhoResolution' specifies the spacing of the Hough transform bins along the rho axis. Default: 1.

2. Detectia varfurilor in spatiul Hough

Primul pas în utilizarea transformatei Hough pentru detectia liniilor și conectare îl reprezintă detectia varfurilor (maximelor) în spațiul parametrilor. Găsirea unui set semnificativ de varfuri distincte în transformata Hough poate fi o problemă dificilă. Datorită quantizării în spațiul imaginii digitale, a quantizării în spațiul parametrilor transformării Hough, precum și a faptului că, în mod obișnuit, muchiile în imagini nu sunt perfect drepte, varfurile transformatei Hough tind să fie localizate în mai mult de o celulă acumulator. O strategie de a depăși această problemă poate fi următoarea:

1. determinarea celulei Hough cu cea mai mare valoare și înregistrarea locației acesteia;
2. suprimarea (setarea pe zero) celulelor Hough în imediata vecinătate a maximului găsit în pasul 1;
3. repetarea primilor doi pași până când se detectează numărul de varfuri dorit, sau până se atinge o valoare de prag specificată.

IPT MATLAB pune la dispozitie o functie **houghpeaks** pentru rezolvarea acestei probleme:

PEAKS = houghpeaks(H, NUMPEAKS) locates peaks in the Hough transform matrix, **H**, generated by the **HOUGH** function. **NUMPEAKS** specifies the maximum number of peaks to identify. **PEAKS** is a Q-by-2 matrix, where **Q** can range from 0 to **NUMPEAKS**. **Q** holds the row and column coordinates of the peaks. If **NUMPEAKS** is omitted, it defaults to 1.

PEAKS = houghpeaks(..., PARAM1, VAL1, PARAM2, VAL2) sets various parameters. Parameter names can be abbreviated, and case does not matter. Each string parameter is followed by a value as indicated below:

'Threshold' Nonnegative scalar. Values of **H** below 'Threshold' will not be considered to be peaks. **Threshold** can vary from 0 to Inf. Default: $0.5 \cdot \max(H(:))$

'NHoodSize' Two-element vector of positive odd integers: [M N]. **'NHoodSize'** specifies the size of the suppression neighborhood. This is the neighborhood around each peak that is set to zero after the peak is identified. Default: smallest odd values greater than or equal to $\text{size}(H)/50$.

3. Detectia si conectarea liniilor utilizand transformata Hough

Odata ce a fost identificat un set de varfuri in transformata Hough, ramane de determinat daca exista segmente de linie asociate cu aceste varfuri, precum si pozitiile de start si end ale acestor linii.

Pentru fiecare varf, primul pas este de a gasi locatia tuturor pixelilor diferiti de zero din imagine care au contribuit la acel varf.

Pixelii asociati cu locatiile gasite trebuie grupati in segmente de linie. Urmatoarea strategie poate fi utilizata:

1. rotatia locatiilor pixelilor cu $90^\circ - \theta$ atfel incat sa fie asezati aproximativ pe o linie verticala;
2. sortarea locatiilor pixelilor dupa coordonatele x rotite;
3. localizarea golurilor in linie; ignorarea golurilor de mici dimensiuni are ca efect unirea segmentelor adiacente separate de spatii mici;
4. returnarea informatiilor despre segmentele de linie mai lungi decat o valoare minima prestabilita.

IPT MATLAB pune la dispozitie o functie **houghlines** pentru extragerea segmentelor de linie pe baza transformatei Hough:

LINES = HOUGHLINES(BW, THETA, RHO, PEAKS) extracts line segments in the image **BW** associated with particular bins in a Hough transform. **THETA** and **RHO** are vectors returned by function **HOUGH**. Matrix **PEAKS**, which is returned by function **HOUGHPEAKS**, contains the row and column coordinates of the Hough transform bins to use in searching for line segments. **HOUGHLINES** returns **LINES** structure array whose length equals the number of merged line segments found. Each element of the structure array has these fields:

point1 End-point of the line segment; two-element vector
 point2 End-point of the line segment; two-element vector
 theta Angle (in degrees) of the Hough transform bin
 rho Rho-axis position of the Hough transform bin

The end-point vectors contain [X, Y] coordinates.

`LINES = HOUGHLINES(...,PARAM1,VAL1,PARAM2,VAL2)` sets various parameters. Parameter names can be abbreviated, and case does not matter. Each string parameter is followed by a value as indicated below:

'FillGap' Positive real scalar.

When `HOUGHLINES` finds two line segments associated with the same Hough transform bin that are separated by less than 'FillGap' distance, `HOUGHLINES` merges them into a single line segment. Default: 20

'MinLength' Positive real scalar.

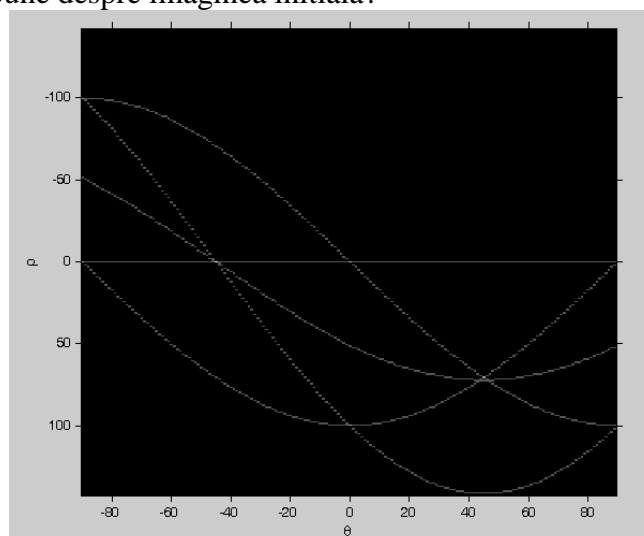
Merged line segments shorter than 'MinLength' are discarded. Default: 40

Aplicatii propuse

1. Detectati muchiile in imaginea `building.tif` utilizand, pe rand, operatorii prezentati (Sobel, Prewitt, Roberts, Canny si LoG). Comparati performantele metodelor
 - a. utilizand valorile implicite ale parametrilor;
 - b. variind valorile parametrilor pentru a evidentia toate muchiile semnificative.

Care operator furnizeaza cele mai bune rezultate?

2. Analizati urmatoarea imagine care contine linii in spatiul parametrilor Hough. Ce puteti spune despre imaginea initiala?



3. Implementati o functie MATLAB pentru afisarea pixelilor corespunzatori unei celule acumulator din spatiul Hough.
4. Evidentiati cele mai semnificative 5 segmente de linie in imaginea *building.tif* utilizand transformata Hough.
 - a. Calculati si afisati transformata Hough a imaginii;
 - b. Determinati cele mai semnificative 5 varfuri in spatiul Hough;
 - c. Determinati segmentele de linie corespunzatoare acestor varfuri si desenati-le in imaginea originala.