

Sisteme de recunoaștere a formelor – Lab 11

Detecția dreptelor prin transformata Hough

1. Obiective

Obiectivul principal al acestei lucrări este să se studieze o alternativă la abordarea RANSAC (studiată în Lab 1) pentru detecția dreptelor în imagini cu muchii.

2. Fundamente teoretice

Transformata Hough este o metodă ce rezolvă o problemă clasică din viziunea artificială: găsirea dreptelor într-o imagine ce conține o mulțime de puncte de interes. Metoda directă de a calcula drepte din fiecare pereche de puncte are o complexitate computațională ridicată, $O(n^2)$, și nu este aplicabilă pentru un număr mare de puncte. Transformata Hough a fost propusă și patentată de Peter Hough [Hou62], și în varianta inițială a fost o metodă de timp real pentru a număra câte puncte sunt plasate pe fiecare posibilă dreaptă într-o imagine. Această metodă se bazează pe reprezentarea dreptei în forma pantă-termen liber, ($y=ax+b$), și pe construirea unui spațiu de parametric, numit și acumulator Hough. Pentru fiecare punct de interes din imagine, se calculează toate posibilele drepte ce trec prin el, și se incrementează elementele din spațiul parametric. Dreptele relevante sunt localizate în maximele locale ale spațiului parametric.

Varianta inițială a fost orientată pe detecția dreptelor în imagini video, pe baza reprezentării dreptelor ca pantă și termen liber. Această reprezentare este sub-optimală, deoarece nu este mărginită: pentru a reprezenta toate posibilele drepte din imagine, panta și termenul liber trebuie să varieze în domeniul $-\infty$ și $+\infty$. Rezultatele lui Duda și Hart [Dud72] au făcut transformata Hough populară în domeniul viziunii artificiale. Principala problemă, parametrii nemărginiți, a fost rezolvată prin parametrizarea normală. Parametrizarea normală a unei drepte consistă în reprezentarea dreptei prin vectorul ce trece prin origine și este perpendicular pe dreaptă. Reprezentarea normală (1) se mai numește și reprezentarea ρ - θ (Fig. 1).

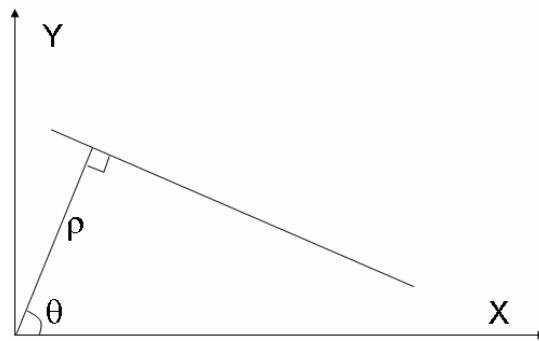


Fig. 1. Vectorul perpendicular pe dreaptă, ce trece prin origine, reprezintă dreapta prin parametrii ρ și θ

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

Pe lângă faptul că parametrii sunt limitați, cuantizarea parametrilor joacă un rol important în descreșterea complexității computaționale. Cuantizarea are legătură cu dimensiunea acumulatorului Hough. Pentru fiecare din cei doi parametri ai drepte se stabilește un nivel de cuantizare, ce depinde de acuratețea cerută (ex. acuratețea lui ρ poate fi 10, 1, 0.5 pixeli etc, iar acuratețea lui θ poate fi 10 grade, 1 grad, 0.5 grade etc). Parametrii ρ și θ au un interval de variație limitat deoarece imaginea are o dimensiune finită. Valoarea maximă pentru ρ este diagonala imaginii, ρ_{max} . În funcție de intervalul ales pentru θ , există mai multe configurații echivalente pentru domeniul parametrilor (prima este cea propusă în articolul original):

$$\begin{aligned} 1. \theta \in [-90^\circ, 90^\circ) \text{ or } \theta \in [0, 180^\circ), \rho \in [-\rho_{max}, +\rho_{max}] \\ 2. \theta \in [0, 360^\circ), \rho \in [0, +\rho_{max}] \end{aligned} \quad (2)$$

Presupunem că acumulatorul Hough H reprezintă spațiul parametrilor cuantizați ai dreptei. Pașii de cuantizare pentru ρ și θ sunt $\Delta\rho$ și $\Delta\theta$, iar valorile lor maxime sunt ρ_{max} și θ_{max} . Acumulatorul va avea o dimensiune de $(\rho_{max}/\Delta\rho \times \theta_{max}/\Delta\theta)$. H se construiește pe baza următorilor pași:

1. Se inițializează fiecare celulă din H cu 0
 2. Pentru fiecare punct de interes $P(x, y)$ (ex. punct de muchie) se calculează toate posibilele drepte ce trec prin el, și se incrementează locațiile din H asociate:
 - pentru fiecare θ de la 0 la θ_{max} (cu pasul $\Delta\theta$)
 - se calculează $\rho = x \cos(\theta) + y \sin(\theta)$
 - se incrementează $H(\rho, \theta)$ dacă $\rho \in [0, +\rho_{max}]$
- sfârșit

Operația de incrementare a unei locații Hough poate fi ponderată, dacă se dorește ca fiecare punct să contribuie cu o pondere diferită. Atunci când acumulatorul este construit, dreptele relevante se extrag ca maxime locale ale acestuia. Un exemplu de detecție a liniilor pe baza transformatei Hough se prezintă în figura 2. Domeniul de variație al parametrilor pentru acest exemplu este $[0, 360]$ grade pentru θ , $[0, 144]$ pixeli pentru ρ . Acuratețea parametrilor este 1 grad pentru θ și 1 pixel pentru ρ .

Alegerea unui nivel de cuantizare adecvat este foarte importantă. Dacă cuantizarea este prea fină, rezoluția crește odată cu timpul de procesare, și cresc și șansele ca puncte aparent colineare să fie dea parametri în celule diferite din acumulator (acest lucru va cauza detecții multiple ale aceleiași drepte, sau fragmentarea unei drepte).

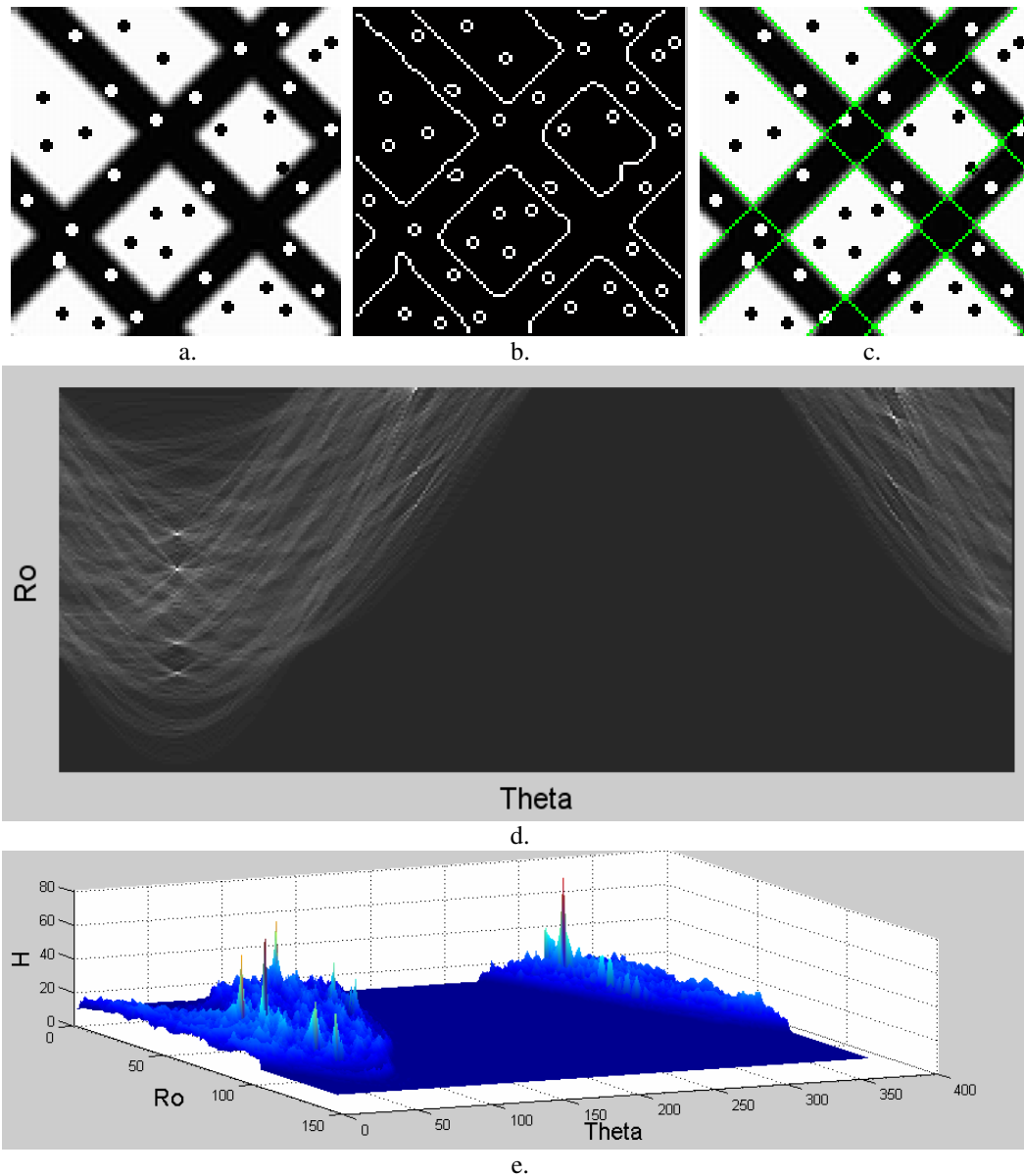


Fig. 2. a. Imagine cu un model cu muchii drepte, afectată de zgomot sare și piper, b. Muchiile detectate cu un detector de muchii Canny, c. Cele mai relevante drepte sunt marcate cu verde, și ele se vor asocia cu cele mai relevante 8 maxime din acumulatorul Hough, d. Acumulatorul Hough afișat folosind codificarea de intensitate, e. Acumulatorul Hough afișat în 3D, folosind codificarea în culoare.

Deși transformata Hough se folosește cel mai des pentru detecția dreptelor, poate fi folosită și pentru detecția curbilor mai complexe, atâta timp cât o parametrizare adecvată este disponibilă. Duda și Hart [Dud72] au propus detecția cercurilor, folosind un spațiu de parametri tridimensional și transformând fiecare punct într-un con circular în spațiul parametric (toate cercurile posibile ce conțin respectivul punct). Mai târziu, Ballard a generalizat transformata Hough pentru a detecta orice formă non-analitică [Bal81].

3. Detalii de implementare

Folosiți cea mai simplă configurație posibilă pentru cuantizarea parametrilor: 1 pixel pentru $\Delta\rho$ și 1 grad pentru $\Delta\theta$. Folosiți a doua variantă pentru domeniul de variație al parametrilor (2). Dimensiunea acumulatorului Hough va fi de $360 \times (D + 1)$, unde D este diagonala imaginii.

Pentru a localiza maximele locale în acumulator, se va testa pentru fiecare element dacă este un maxim local într-o fereastră pătrată ($n \times n$) centrată pe element. Dimensiunea ferestrei ar trebui indicată la runtime. Rețineți acele elemente (valoare, ρ , θ) care sunt maxime locale și care au valoarea mai mare decât un prag (ex 10). Ordonăți elementele reținute, și păstrați primele k elemente, cu cele mai mari valori, ca fiind dreptele relevante din imagine.

4. Activitate practică

1. Calculați acumulatorul Hough și afișați-l (folosiți `edge_simple.bmp` ca intrare și `hough_empty.bmp` ca ieșire). Ajustați valorile astfel încât valoarea maximă să aibă intensitatea 255, prin înmulțirea fiecărei valori, înainte de introducerea în imaginea destinație, cu $255 / max_value$ (calculați în prealabil valoarea maximă!)
2. Localizați primele k vârfuri din acumulator, folosind o fereastră de 3×3 , 7×7 , și 11×11 (... valoare introdusă la rulare!).
3. Desenați liniile asociate cu aceste k vârfuri, pe imaginea originală (`image_simple.bmp`). Folosiți diferite culori din paletă pentru linii.
4. Repetați procesul pentru `image_complex.bmp`: calculați acumulatorul pe baza imaginii de muchii `edge_complex.bmp`, localizați primele k vârfuri, desenați dreptele pe imaginea originală `image_complex.bmp` (folosiți codul pentru desenare de la laboratoarele anterioare – Ransac, Perceptron etc.).

5. Bibliografie

[Hou62] P. Hough, "Method and means for recognizing complex patterns", US patent 3,069,654, 1962.

[Dud72] R. O. Duda and P. E. Hart, "Use of the Hough Transformation to Detect Lines and Curves in Pictures," *Comm. ACM*, Vol. 15, pp. 11–15, 1972.

[Bal81] D. H. Ballard, "Generalizing the Hough Transform to Detect Arbitrary Shapes", *Pattern Recognition*, Vol.13, No.2, p.111-122, 1981.