Sisteme de recunoaştere a formelor – Lab 3

Detecţia dreptelor prin transformata Hough

1. Obiective

Obiectivul principal al acestei lucrări este studierea transformatei Hough pentru detecţia dreptelor în imagini cu muchii.

2. Fundamente teoretice

Transformata Hough este o metodă care rezolvă o problemă clasică din viziunea artificială: găsirea dreptelor într-o imagine ce conţine o mulţime de puncte de interes (de exemplu muchii). Metoda directă de a calcula drepte din fiecare pereche de puncte are o complexitate computaţională ridicată de $O(n^2)$, şi nu este aplicabilă pentru un număr mare de puncte. Transformata Hough a fost propusă şi patentată de Peter Hough [Hou62], şi în varianta iniţială, a fost o metodă de timp real pentru a număra câte puncte sunt plasate pe fiecare dreaptă posibilă dintr-o imagine. Această metoda se bazează pe reprezentarea dreptei sub formă pantă-termen liber, ($y=ax+b$), şi pe construirea unui spaţiu parametric, numit şi acumulator Hough. Pentru fiecare punct de interes din imagine se calculează toate dreptele posibile care trec prin el, şi se incrementează elementele din spaţiul parametric. Dreptele relevante sunt localizate în maximele locale ale spaţiului parametric.

Această reprezentare este sub-optimală, deoarece nu este mărginită. Pentru a reprezenta toate dreptele posibilele din imagine, panta şi termenul liber trebuie să varieze în domeniul $-\infty$ şi $+\infty$. Modificările propuse de Duda şi Hart [Dud72] au făcut transformata Hough populară în domeniul viziunii artificiale. Principala problemă legată de parametri nemărginiţi a fost rezolvată prin parametrizarea cu normala. Parametrizarea normală a unei drepte constă în reprezentarea dreptei prin vectorul normală (perpendicular) şi distanţa de la origine. Reprezentarea normală (1) se mai numeşte şi reprezentarea ρ-θ (Fig. 1).

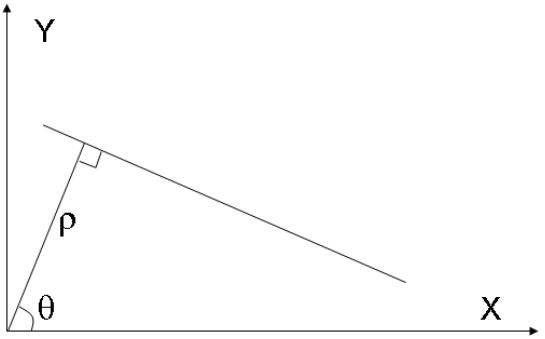

Fig. 1. Dreapta sa află la o distanţă ρ faţă de origine şi normala face unghiul θ cu axa Ox.

Atunci ecuaţia satisfăcută de punctele *(x,y)* de pe dreaptă este:

$$\rho = x\cos(\theta) + y\sin(\theta) \tag{1}$$

Introducerea cuantizării parametrilor joacă un rol important în descreşterea complexităţii computaţionale. Cuantizarea determină dimensiunea acumulatorului Hough. Pentru fiecare dintre cei doi parametri ai dreptei se stabileşte un nivel de cuantizare care depinde de acurateţea cerută (de exemplu: pasul pentru ρ poate fi de 10, 1, 0.5 pixeli etc, iar pasul pentru θ poate fi de 10 grade, 1 grad, 0.5 grade etc). Parametrii ρ si θ au un interval de variaţie limitat deoarece imaginea are o dimensiune finită. Valoarea maximă pentru ρ este diagonala imaginii. În functie de intervalul ales pentru θ, exista mai două configuraţii echivalente pentru domeniul parametrilor. Prima este cea propusă în articolul original iar noi vom adopta pe a doua.

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

Presupunem că acumulatorul Hough H reprezintă spaţiul parametrilor cuantizaţi ai dreptei. Paşii de cuantizare pentru ρ si θ sunt $\Delta\rho$ şi $\Delta\theta$, respectiv. Valorile lor maxime sunt ρ_{max} si θ_{max}. Atunci acumulatorul va avea o dimensiune de ($\rho_{max}/\Delta\rho$ x $\theta_{max}/\Delta\theta$). H se construieşte pe baza următorilor paşi:

1. Se iniţializează fiecare celulă din H cu 0.
2. Se determină ecuaţia dreptelor care trec prin fiecare punct de muchie $P(x, y)$ şi se incrementează locaţiile asociate din H:

   pentru fiecare θ de 0 la θ_{max} (cu un pas de $\Delta\theta$)

   se calculează $\rho = x\cos(\theta) + y\sin(\theta)$

   dacă $\rho \in [0, +\rho_{\max}]$ se incrementează $H(\rho, \theta)$

   sfârşit

Operaţia de incrementare a unei locaţii Hough poate fi ponderată – de exemplu cu modulul gradientului. După ce am construit acumulatorul, dreptele relevante se extrag ca maxime locale ale acestuia. Un maxim local este un punct unde valoarea din acumulator este mai mare decât toate valorile dintr-o vecinătate (pătratică).

Un exemplu de detecţie a liniilor pe baza transformatei Hough se prezintă în Figura 2. Domeniul de variaţie al parametrilor pentru acest exemplu este [0, 360) grade pentru θ, şi [0, 144] pixeli pentru ρ. Acurateţea parametrilor este de 1 grad pentru θ şi de 1 pixel pentru ρ.

Alegerea unui nivel de cuantizare adecvat este foarte importantă. Dacă se face o cuantizare prea fină, rezoluţia creşte odată cu timpul de procesare, şi cresc şi şansele ca puncte aparent colineare să incrementeze celule diferite din acumulator (acest lucru va cauza detecţii multiple ale aceleiaşi drepte, sau fragmentarea unei drepte în mai multe părţi).

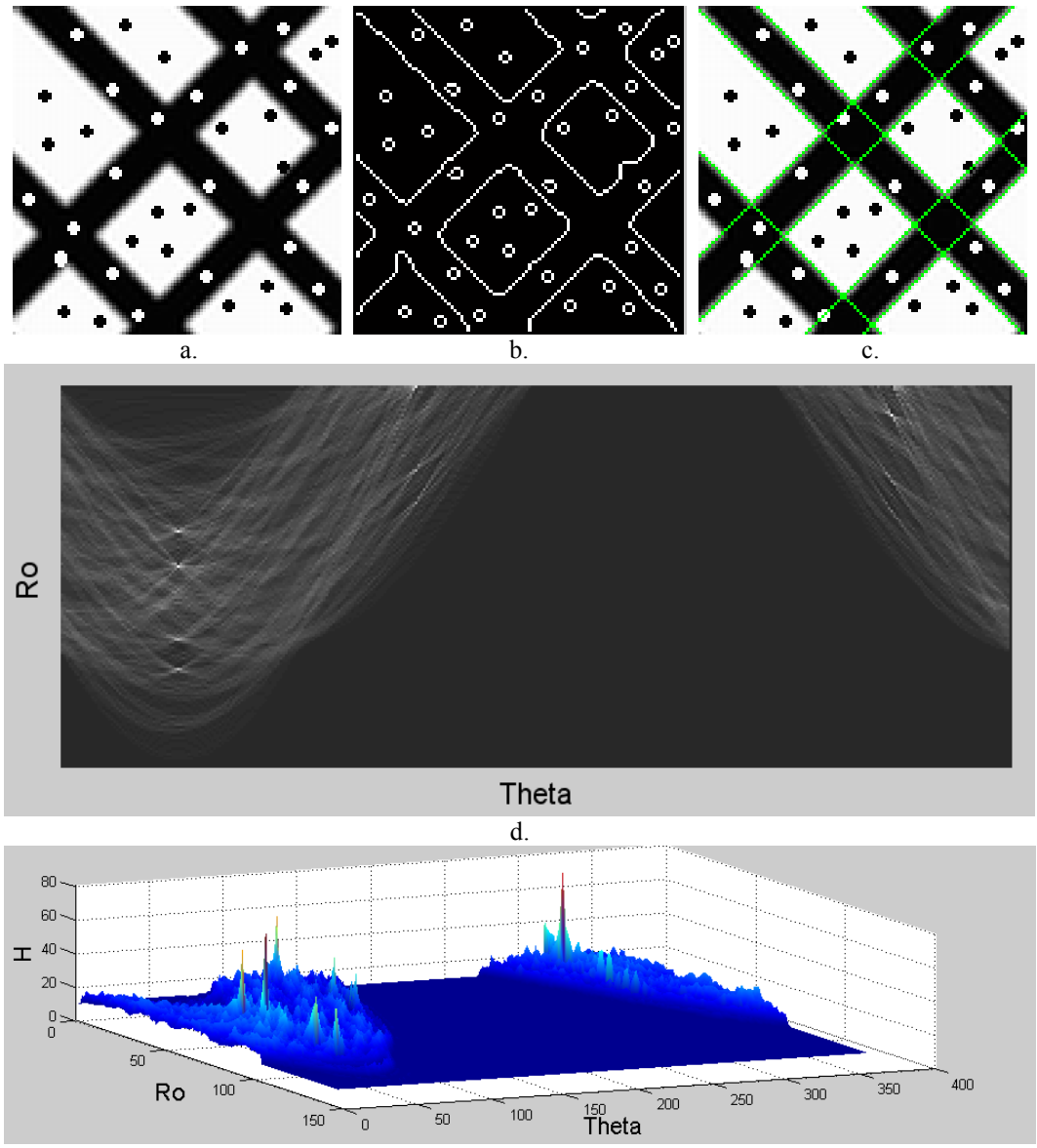

Fig. 2. a. Imagine cu un model cu muchii drepte, afectata de zgomot sare si piper, b. Muchiile detectate cu un detector de muchii Canny, c. Cele mai relevante drepte sunt marcate cu verde, si ele se vor asocia cu cele mai relevante 8 maxime din acumulatorul Hough, d. Acumulatorul Hough afisat folosind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

Deşi transformata Hough se foloseşte cel mai des pentru detecţia dreptelor, ea poate fi folosită şi pentru detecţia curbelor mai complexe, atât timp cât o parametrizare adecvată este disponibilă. Duda şi Hart [Dud72] au propus detecţia cercurilor, folosind un spaţiu de parametri tridimensional şi transformând fiecare punct într-un con circular în spaţiul parametric (toate cercurile posibile ce conţin respectivul punct). Mai târziu, Ballard a generalizat transformata Hough pentru a detecta orice formă non-analitică [Bal81].

3. Detalii de implementare

Folosiţi cea mai simplă configuraţie posibilă pentru cuantizarea parametrilor: 1 pixel pentru ρ şi 1 grad pentru θ. Folosiţi a doua variantă pentru domeniul de variaţie al parametrilor (2). Dimensiunea acumulatorului Hough va fi de $D + 1$ rânduri şi 360 de coloane, unde D este diagonala imaginii:

```
Mat Hough(D+1,360,CV_32SC1);
```

Acumulatorul se iniţializează cu 0 folosind:

```
Hough.setTo(0);
```

Acumulatorul se modifică folosind:

```
Hough.at<int>(ro, theta)++;
```

Acumulatorul trebuie normalizat ca valorile să fie între 0-255 pentru a putea fi afişat sub forma unei imagini. `maxHough` reprezintă valoarea maximă din acumulator după construire. Calculele ulterioare se fac pe acumulatorul original.

```
Mat houghImg;
Hough.convertTo(houghImg, CV_8UC1, 255.f/maxHough);
```

Pentru a localiza maximele locale din acumulator, se va testa pentru fiecare element dacă este un maxim local într-o fereastră patratică (n x n) centrată pe element. Reţineţi acele elemente care sunt maxime locale şi care au valoarea mai mare decât un prag. Ordonaţi elementele reţinute, şi păstraţi primele k vârfuri, care reprezintă cele mai mari maxime locale şi corespund la dreptele importante.

Următoarea structură vă permite stocarea maximelor locale şi sortarea lor cu un apel la metoda `sort` din librăria `algorithm`. Operatorul < a fost redefinit ca operatorul > dintre câmpurile `hval` pentru a realiza sortarea descrescătoare în funcţie importanţa maximelor locale.

```
struct peak{
     int theta, ro, hval;
     bool operator < (const peak& o) const {
          return hval > o.hval;
     }
};
```

4. Activitate practică

1. Calculaţi acumulatorul Hough folosind imaginea de muchii. Afişaţi rezultatul sub forma unei imagini cu nivele de gri.
2. Găsiţi primele *k* maxime locale. Folosiţi mărimi diferite pentru fereastra de suport, de exemplu de 3x3, 7x7 sau 11x11 (parametru pentru metodă).
3. Desenaţi liniile asociate cu aceste *k* vârfuri atât pe imaginea originală cât şi pe imaginea de muchii.

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.