Soft kompjuting

Hough transormacija

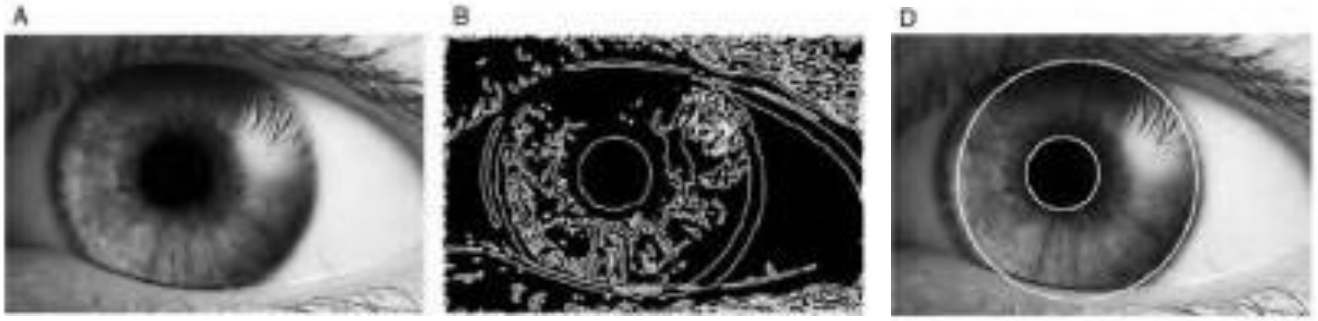
Reprezentacija znanja

- Kada vršimo analizu slike (npr. detekciju objekata), način na koji reprezentujemo znanje o slici je veoma važan
- Originalnu reprezentaciju (sliku) transformisaćemo u drugu reprezentaciju koja će nam olakšati rešavanje nekih problema
- Želimo da u značajnoj meri smanjimo količinu podataka o slici, a da očuvamo važne strukturne informacije
- Nije uvek trivijalno

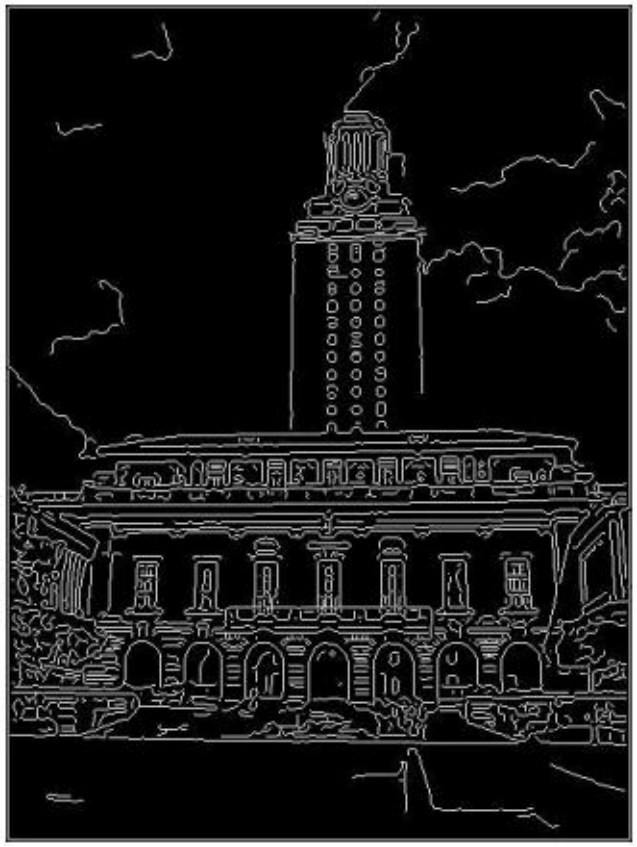
Detekcija ivica

- Detekcija ivica nam omogućava da u značajnoj meri smanjimo količinu podataka na slici
  - Međutim, izlaz operatora za detekciju ivica je i dalje slika (opisana pikselima)
  - Količina informacija bi se još više smanjila ako bismo te piksele pretvorili u jednačine osnovnih geometrijskih oblika

- Nije jednostavno...
  - Zbog nesavršenosti, bilo u podacima ili u detektoru ivica, može biti nedostajućih piksela na željenim krivama
  - Takođe može biti odstupanja od idealnih linija/krugova/elipsi
  - Može biti šuma



Teškoće pri fitovanju linije



- Suvišne tačke, više modela
  - Koje tačke idu sa kojim linijama?
  - Da li uopšte pripadaju liniji?
- Na nekim linijama postoje procepi
- Šum u izmerenim gradijentima i orijentacijama
  - Kako detektovati stvarne parametre?

Hough transformacija

- Koristi se kao tehnika u analizi slike, digitalnoj obradi slika i c*omputer vision*
- Svrha *Hough* transformacije je da adresira ovaj problem grupisanja tačaka ivice u objekte

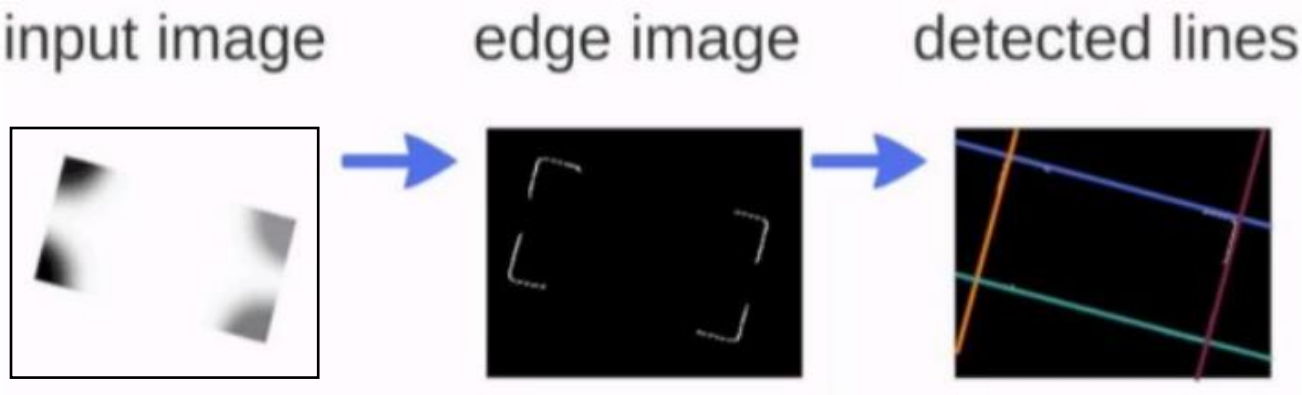
- Možemo je koristiti za detekciju proizvoljnih oblika – ako možemo taj oblik da predstavimo u matematičkoj formi
  - Detekcija linija
  - Detekcija krugova
  - Ostale parametarske krive (proizvoljni oblici)

- Robustna je na šum i delimično zaklanjanje (*partial occlusion*)

Hough transformacija

- Prvi korak (pretprocesiranje) jeste neki algoritam za detekciju ivica
  - Robert Cross
  - Sobel
  - Canny...

Hough transformacija

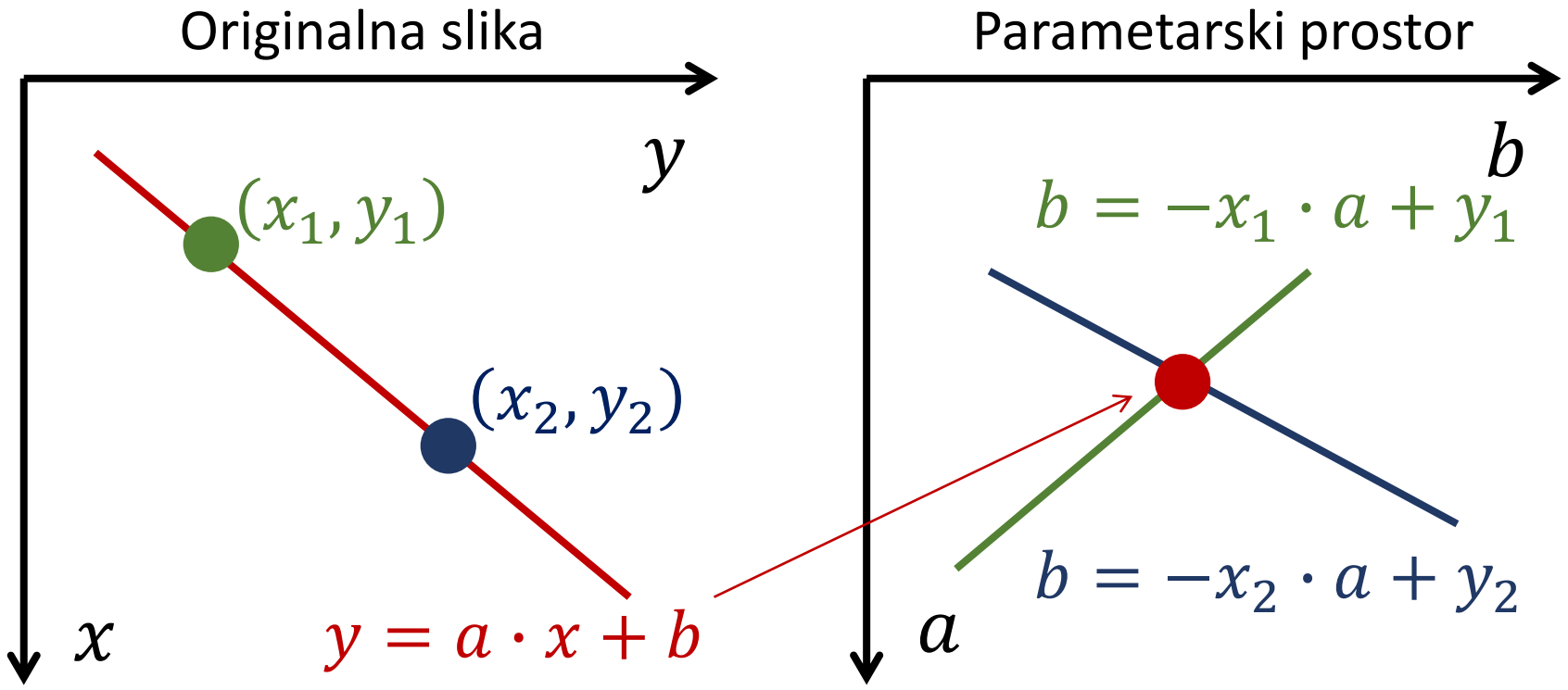


- Rezultati detekcije ivica nam ne govore ništa o identitetu i broju obeležja koje smo pronašli na slici
- Rezultati sadrže šum – imamo više piksela za svako obeležje i procepe
- Ako primenimo *Hough* transformaciju, ovde možemo detektovati 4 linije što nam govori o stvarnoj geometrijskoj strukturi

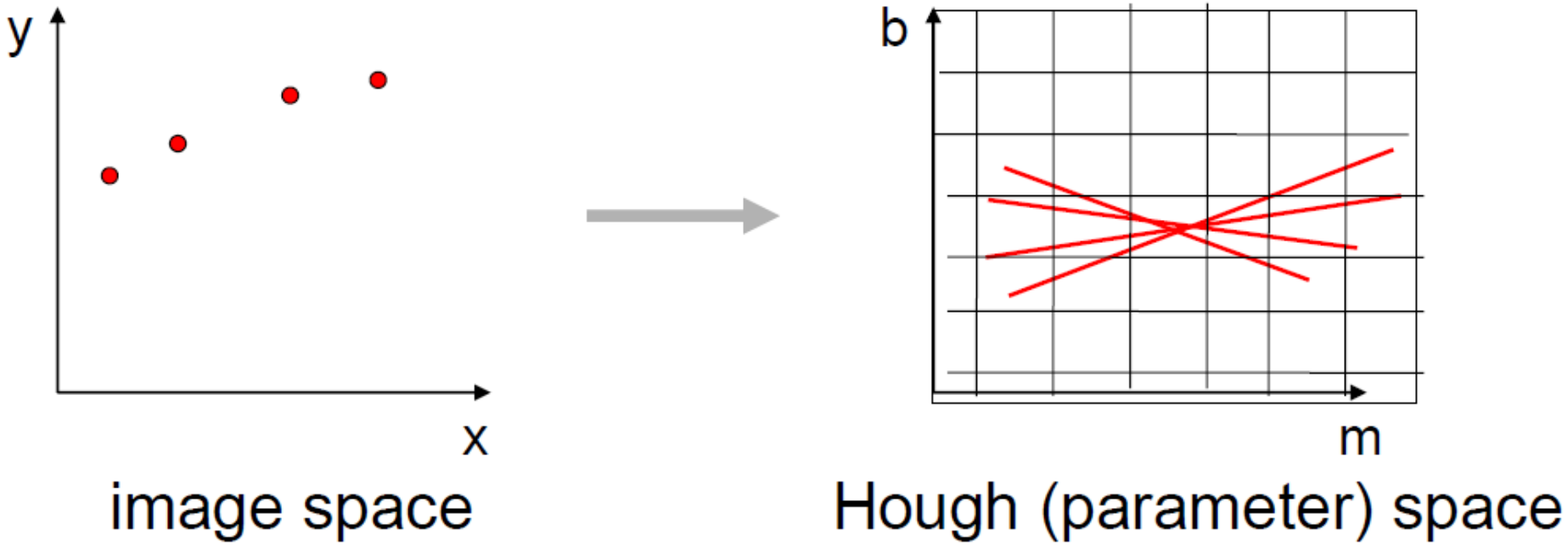
- *Hough* transformacije kao ulaz uzima binarnu sliku i transformiše je u parametarski prostor (*feature space*)

Detekcija linije

- Svaka linija se može predstaviti jednačinom $y = a \cdot x + b$
- Dakle, dva parametra a i b jedinstveno određuju pravu
- *Hough* prostor ćemo definisati kao parametarski prostor – svih mogućih nagiba a i preseka sa y-osom b



Detekcija linije



- Svaka tačka ivice će glasati za skup mogućih parametara u *Hough* (parametarskom) prostoru
- Pikseli koji predstavljaju šum će takođe glasati, ali, tipično, njihovi glasovi će biti nekonzistentni sa većinom „dobrih“ glasova
- Glasove akumuliramo u diskretan broj ćelija (*bins*). Parametri sa najviše glasova predstavljaju linije na slici (*image space*)

Nedostatak reprezentacije $y = a \cdot x + b$

- Nedostatak prethodnog pristupa su vertikalne linije

- Npr. imamo dve tačke $(3,1)$ i $(3,2)$:

$$b = -x \cdot a + y$$
$$(3,1) \Rightarrow b = -3a + 1$$
$$(3,2) \Rightarrow b = -3a + 2$$

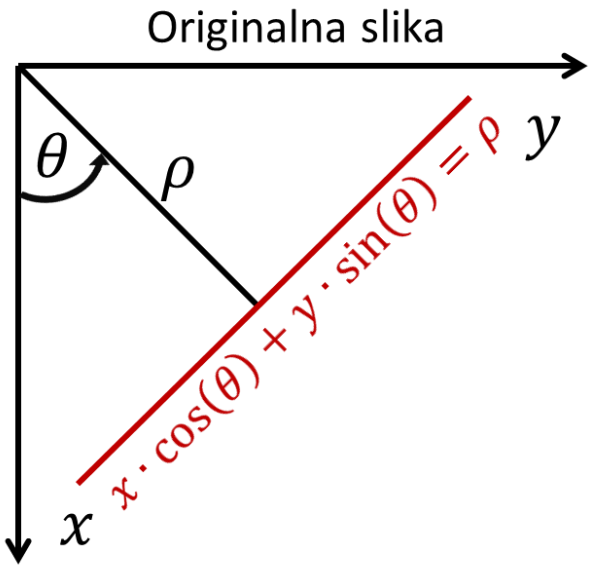
- U parametarskom prostoru, ove dve prave su paralelene i ne možemo naći tačku preseka koja bi nam dala parametre a i b

- Rešenje: koristiti drugačiju reprezentaciju prave

Detekcija linije

- Jednačina prave: $x \cdot \cos(\theta) + y \cdot \sin(\theta) = \rho$
- Ova jednačina se može predstaviti u obliku sličnom prvoj reprezentaciji:

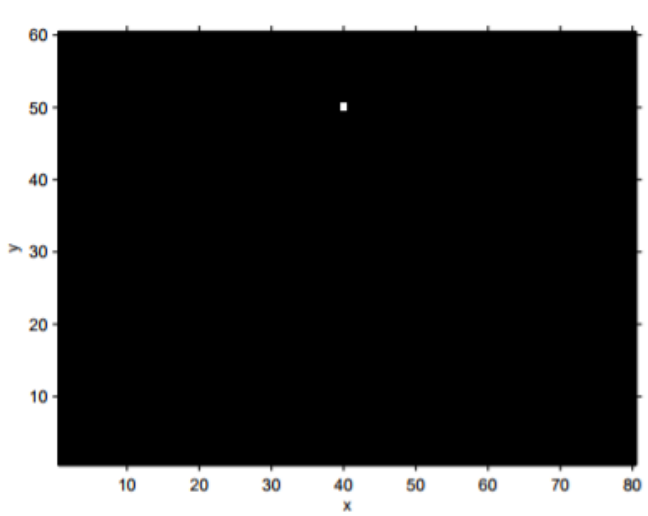
$$y = -\frac{\cos(\theta)}{\sin(\theta)} \cdot x + \frac{\rho}{\sin(\theta)}$$



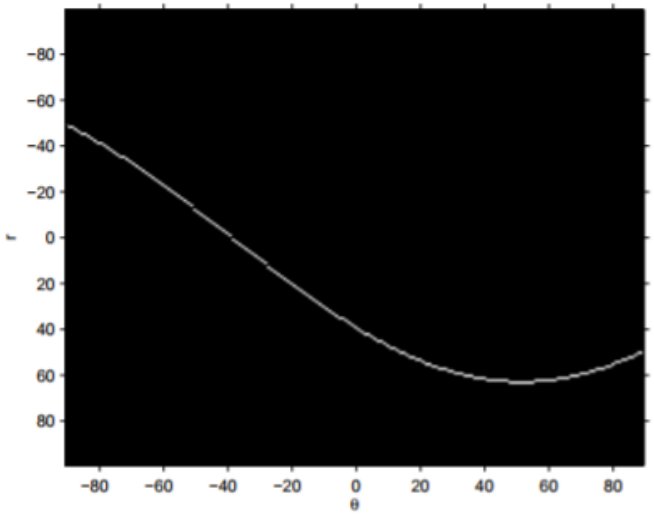
- ρ – rastojanje od koordinatnog početka do najbliže tačke linije
- θ – ugao x-ose i linije koja povezuje koordinatni početak sa najbližom tačkom linije

Hough prostor za skup pravih linija

- Dakle, svaku pravu možemo predstaviti kao funkciju dva parametra – θ i ρ
- Parametarski prostor se u ovom slučaju često zove *Hough* prostor za skup pravih linija u dve dimenzije
  - I u ovom slučaju piksel (tačka) se mapira na sve linije koje kroz njega prolaze
  - U *Houhg* prostoru će linije izgledati slično sinusoidama

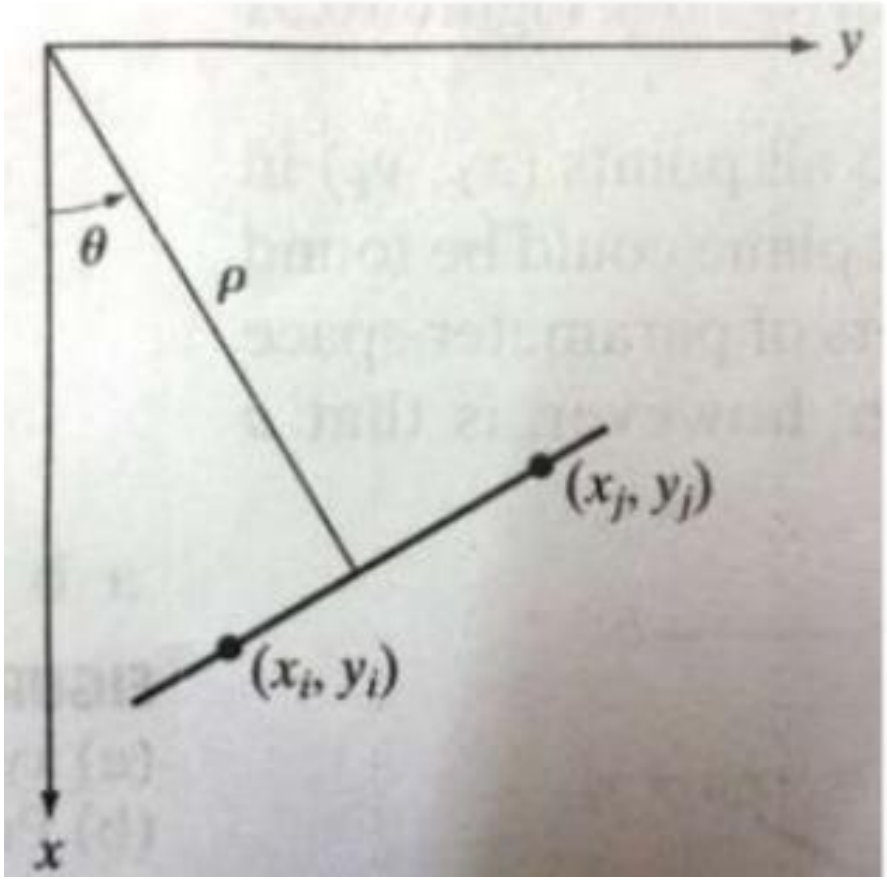


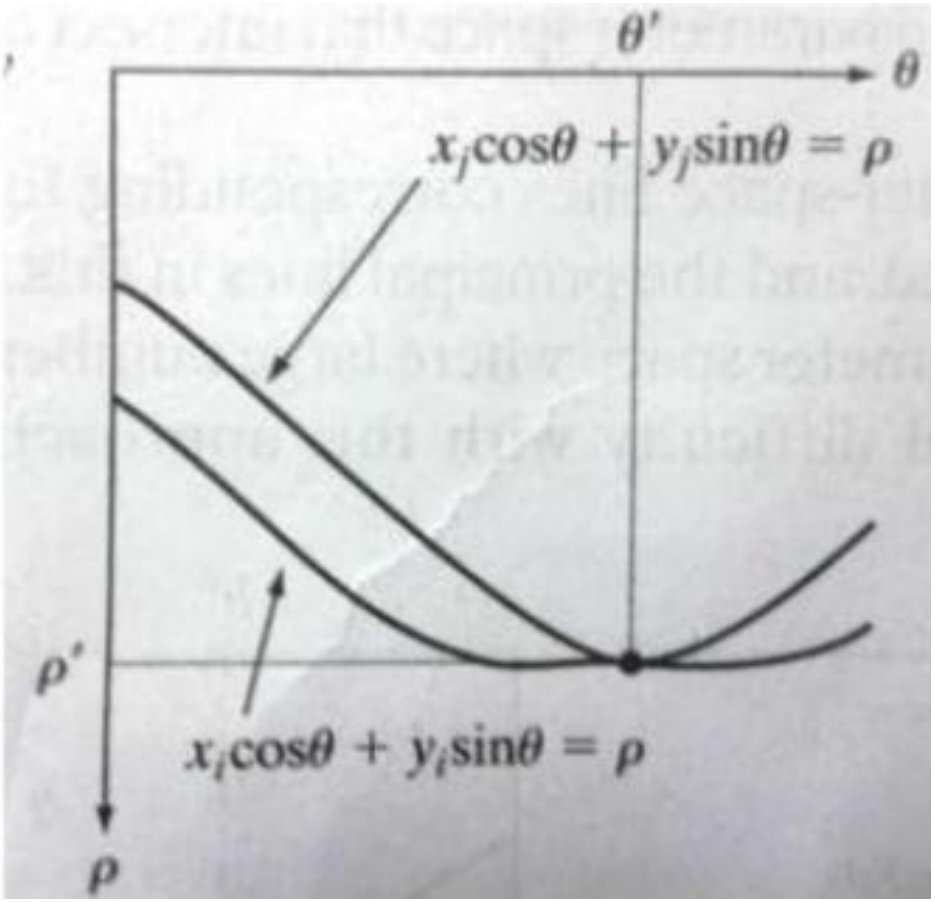
(a) Point p_0.



(b) All possible lines through p_0 represented in the Hough space.

Hough prostor za skup pravih linija

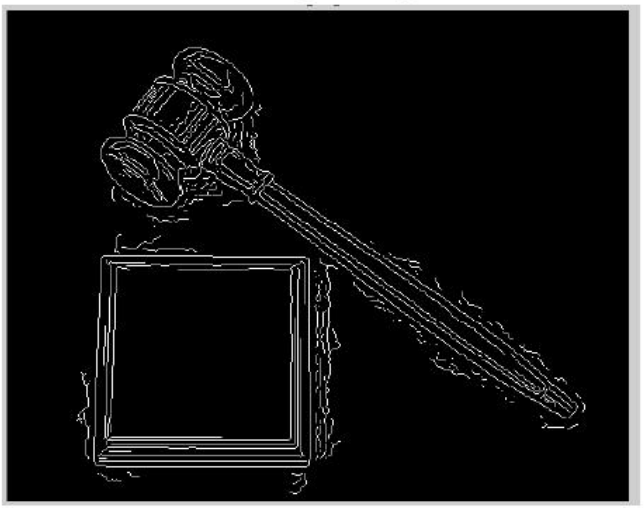




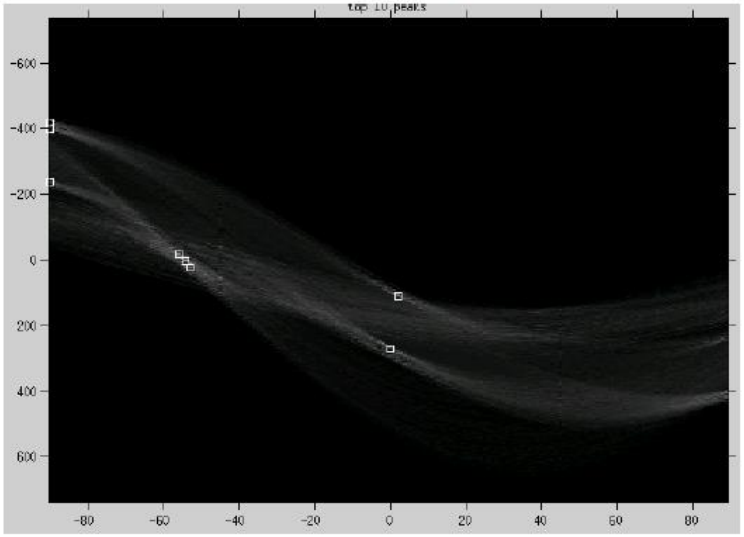
Hough prostor za skup pravih linija

Original image

Canny edges

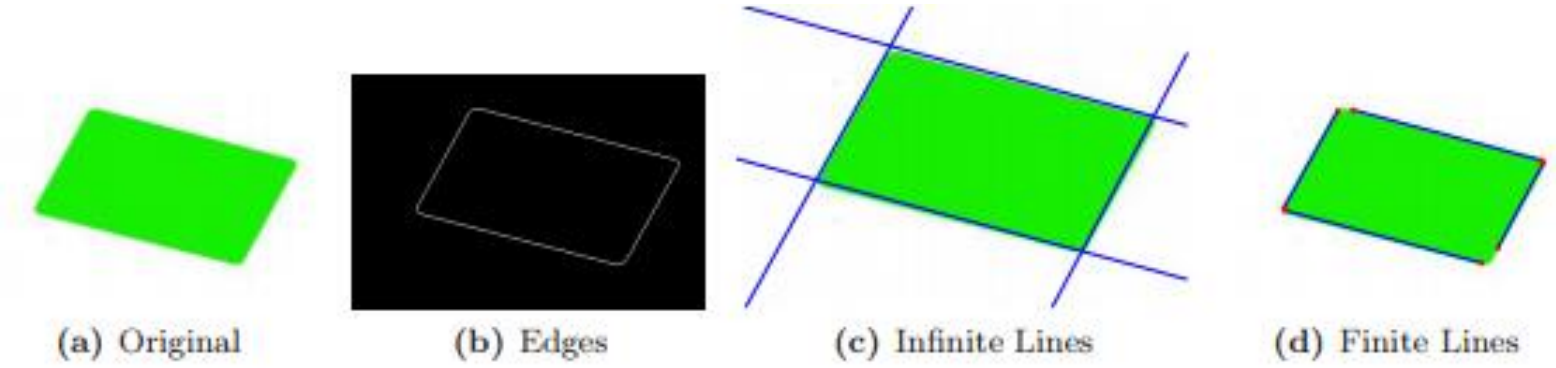


Vote space and top peaks



Algoritam

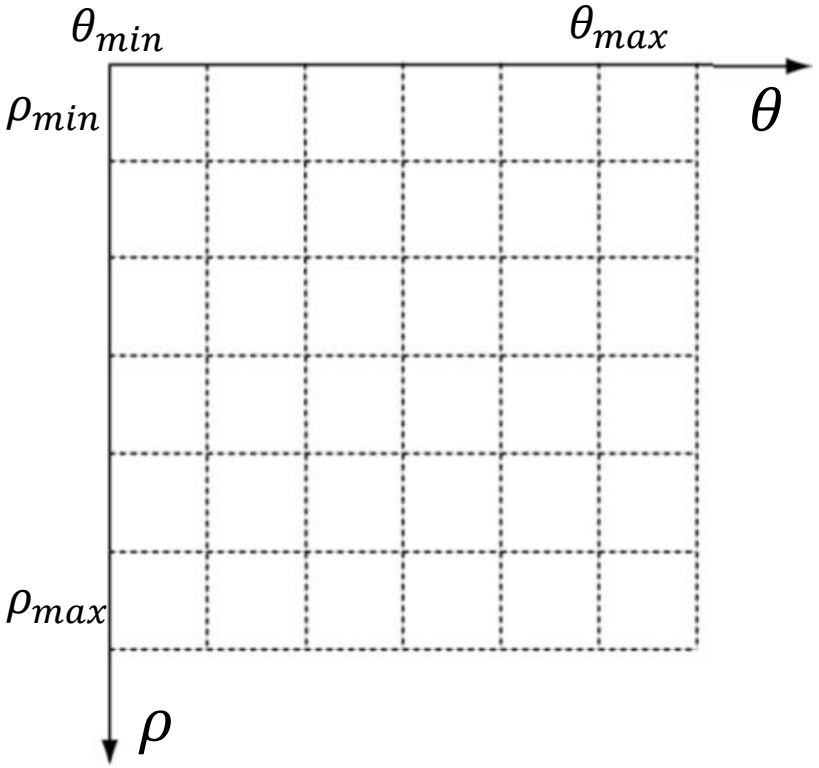
1. Detekcija ivica
2. Mapriranje piskela sa ivica na *Hough* prostor i snimanje u akumulator (*accumulator*)
3. Interpretacija akumulatora (pronalaženje beskonačnih linija)
4. Konverzija beskonačnih linija u konačne



(a) Original (b) Edges (c) Infinite Lines (d) Finite Lines

2. Akumulator

- Hough prostor je beskonačan – podelićemo ga u konačne segmente (ćelije)
  - Ovako diskretizovan prostor često zovemo *accumulator cells*



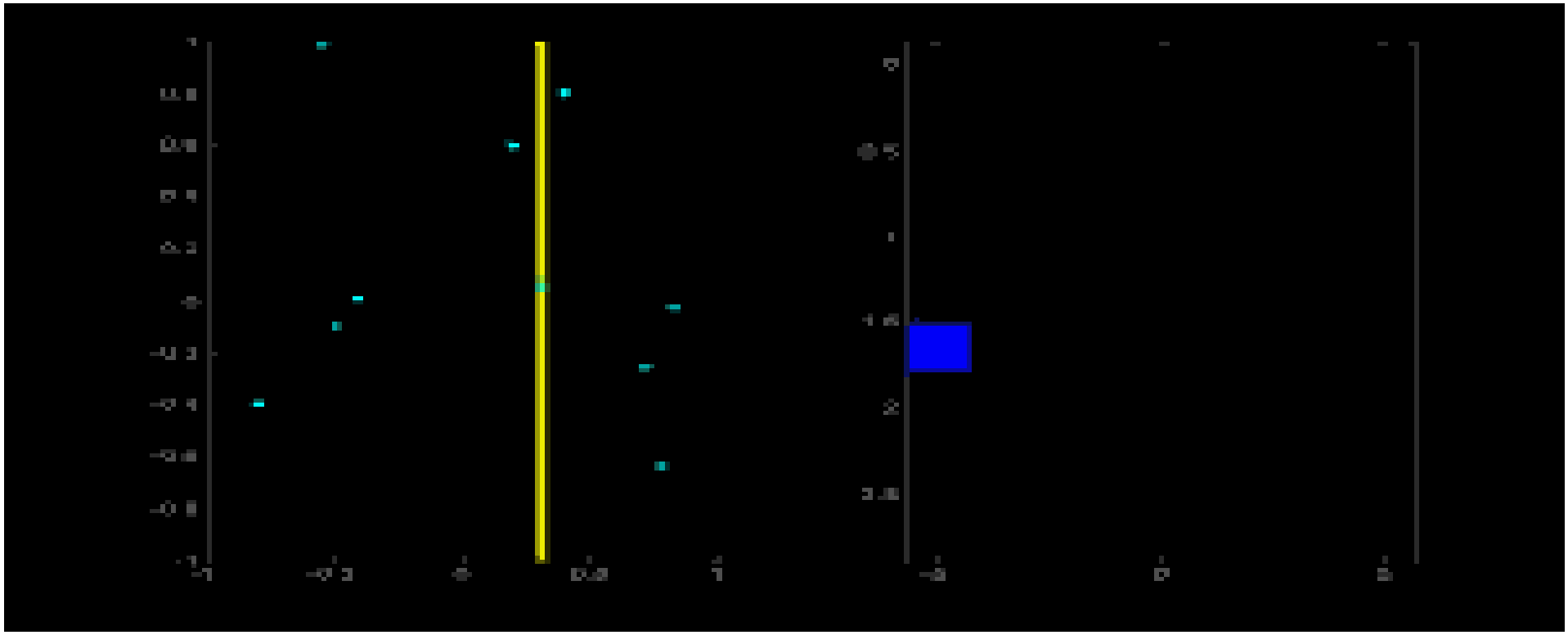
Hough accumulator cells

- U slučaju detekcije linije, akumulator je 2D niz koji čuva vrednosti oba parametra (ρ i θ)
  - U opštem slučaju, dimenzionalnost zavisi od broja nepoznatih parametara
- Vrednost svake ćelije će se uvećati za svaku liniju u *Hough* prostoru koja preseca tu ćeliju

2. Akumulator

- Za svaki piksel sa vrednošću 1 u binarnoj slici
  - Za svaki ugao θ_j iz *diskretnog* niza $[\theta_{min}, \theta_{max}]$ pronaći $\rho_j = x \cdot \cos\theta_j + y \cdot \sin\theta_j$
  - Zaokružiti ρ_j na najbližu ga u najbližu vrednost iz *diskretnog* niza $[\rho_{min}, \rho_{max}]$
  - Uvećati vrednost odgovarajuće ćelije $A(\theta_j, \rho_j)$

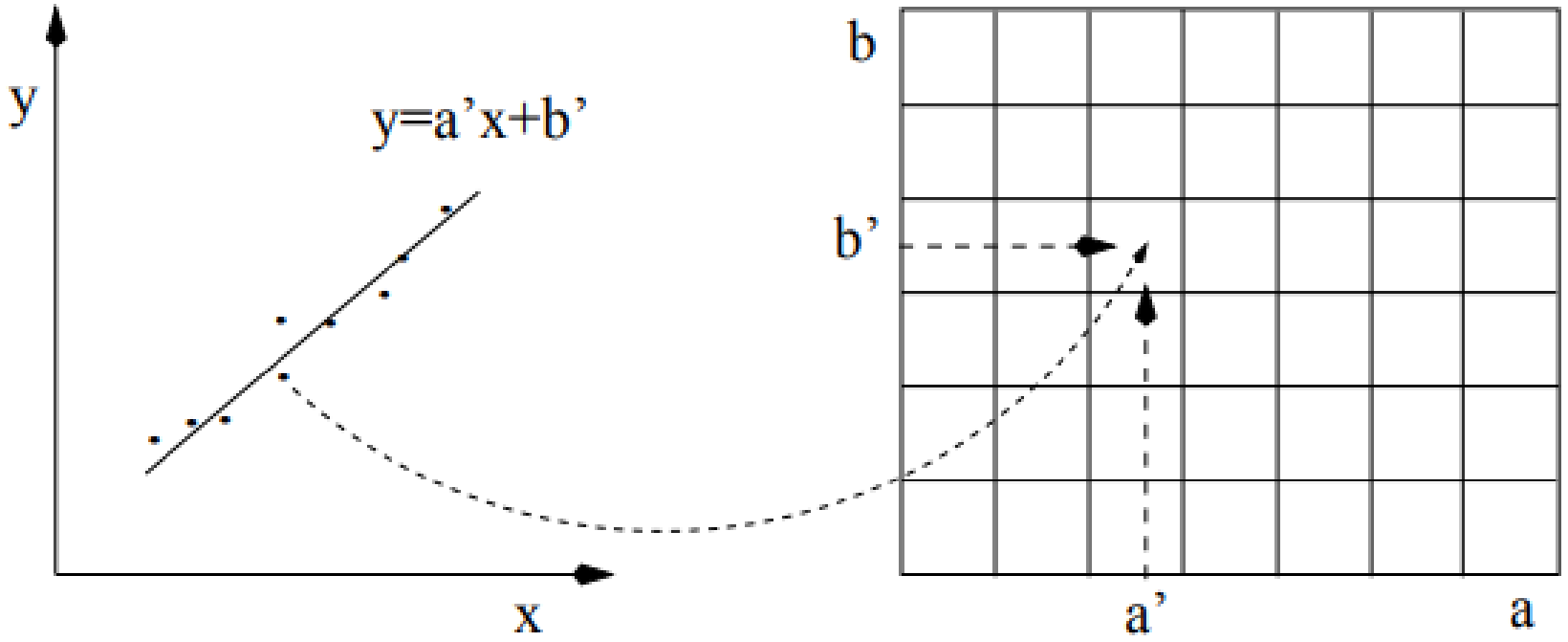
2. Akumulator



http://homepages.inf.ed.ac.uk/amos/hough.html

2. Akumulator – diskretizacija

- „Finija“ diskretizacija:
  - Može tačnije da proceni parametre linije
  - Povećava zahtevano vreme i memoriju
  - U slučaju šuma, „grublja“ diskretizacija je bolja



2. Akumulator – diskretizacija

- $\theta \in [-90°, +90°]$
  - Horizontalne linije: $\theta = 0°, \rho \geq 0$
  - Vertikalne linije: $\theta = 90°, \rho \geq 0$

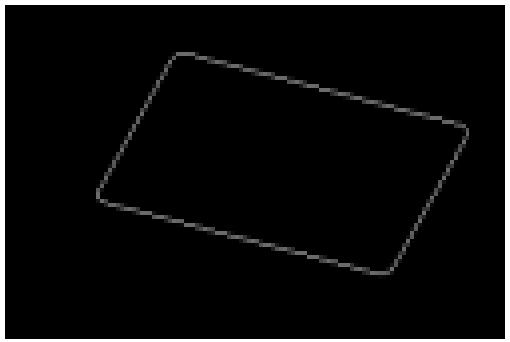
- $\rho \in \left[-N\sqrt{2}, N\sqrt{2}\right]$ za dimenzije slike $N \times N$
  - Maksimalno rastojanje od koordinatnog početka je dijagonala slike

- Dimenizije akumulatora zavise od tačnosti koju želite, npr.
  - ako želite tačnost uglova od $1°$, treba vam 180 kolona
  - ako želite preciznost od jednog piksela, broj redova jednak je dužini dijagonale slike

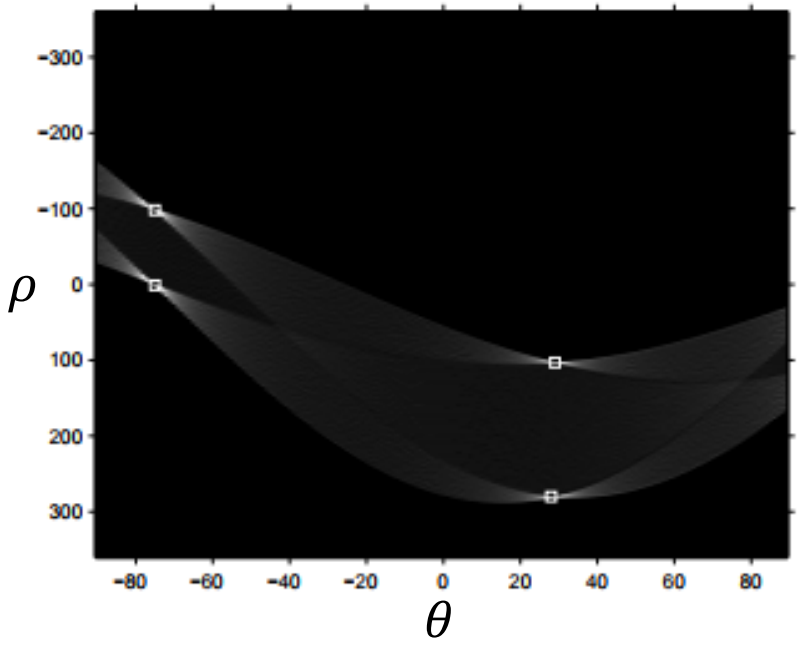
3. Interpretacija akumulatora

- Nakon procedure, $A(i,j) = p$ znači da p tačaka iz (x,y) prostora leži na liniji $\rho_i = x \cdot \cos\theta_j + y \cdot \sin\theta_j$

- Ćelije koje imaju najveći broj „glasova“ se smatraju da reprezentuju odgovarajuće linije u (x,y) prostoru
  - Pronalazimo $A(i,j)$ kandidate sa vrednošću većom od nekog praga
  - Npr. prag može biti 50% od najveće vrednosti iz akumulatora

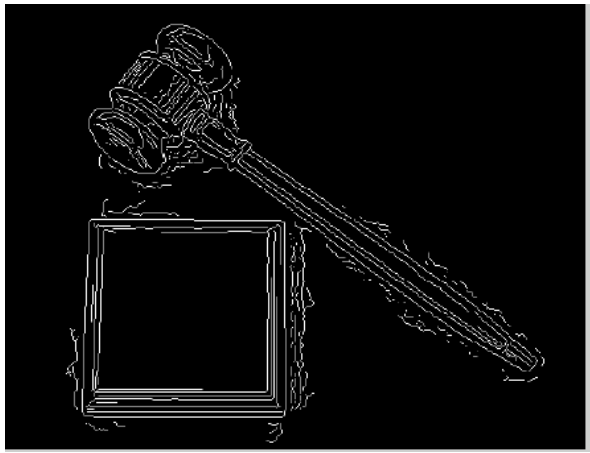
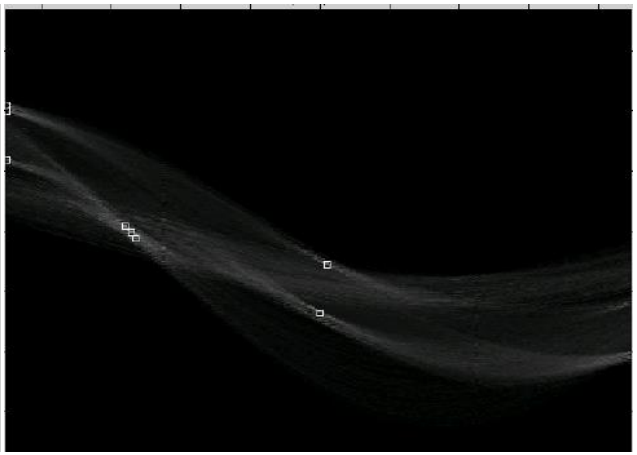


(b) Edges

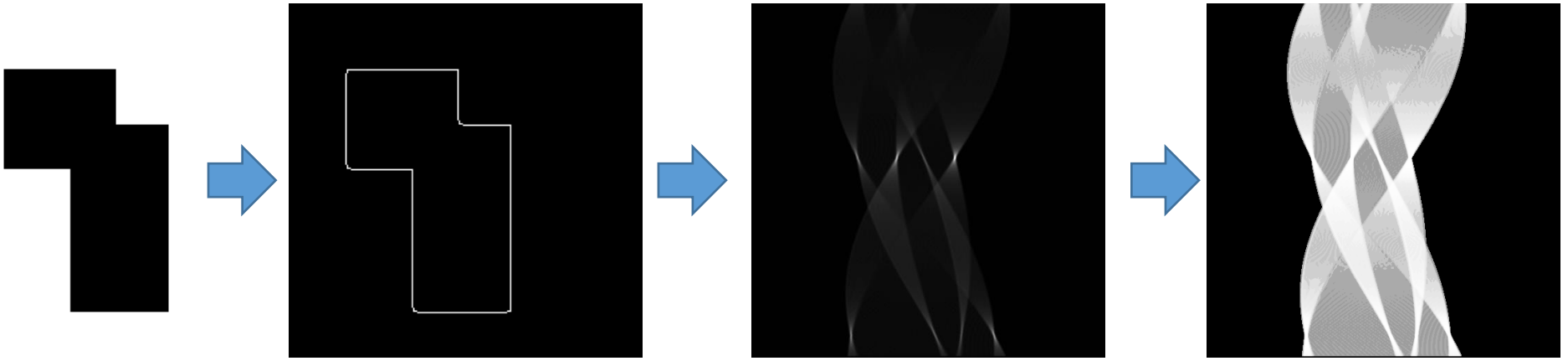


3. Interpretacija akumulatora

- Pristup sa pragom je nekada dovoljan, ali nije savršen
  - Nekoliko ćelija u akumulatoru koje se nalaze u okolini ćelije koja predstavlja stvarnu liniju mogu imati veliku vrednost
  - Zbog toga pristup sa pragom ima tendenciju da detektuje nekoliko (skoro identičnih) linija za svaku stvarnu liniju
  - Ovo bi se moglo ispraviti definicijom *suppression neighborhood* – dve linije moraju biti značajno različite pre nego što ih obe vratimo kao rezultat

Napomena



- *Histogram equilizing* nam može pomoći da vidimo šablone tamo gde imamo piksele niskog intenziteta

4. Konverzija beskonačnih linija u konačne

- *Hough* transformacija vraća parametre ρ i θ i nikakve informacije o dužini linije – sve detektovane linije su beskonačne

- Za linije konačne dužine potrebna je dodatna analiza
  - Za ovo postoji nekoliko algoritama
  - Jedan pristup: čuvamo koordinate svih tačaka u akumulatoru i na osnovu njih limitiramo linije. Mana: mnogo memorije
  - Drugi pristup: vršimo pretragu duž beskonačnih linija na binarnoj slici (sa konturama). Varijanta ovog pristupa je *Probabilistic Hough Transform*

Progressive Probabilistic Hough Transform (PPHT)

- *Hough transform* nije brz algoritam za pronalaženje konačnih linija
  - Dodatno usporeno činjenicom da je analiza za pronalaženje konačnih linija odvojena od samog algoritma

- *PPHT* je način da se ubrza *Hough* transform i simultano detektuju konačne linije

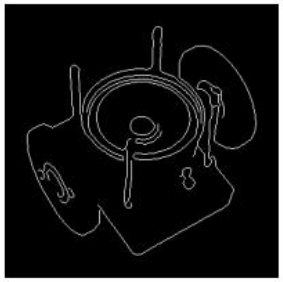
- Ideja:
  - Transformisati slučajno odabrane tačke sa binarne slike
  - Kada određena ćelija akumulatora pređe izvestan broj glasova, binarna slika se pretražuje duž te linije da se vidi da li je jedna ili više konačnih linija prisutno
  - Ako jeste, svi pikseli te linije se uklanjaju sa binarne slike
  - Ceo algoritam: http://web.ipac.caltech.edu/staff/fmasci/home/astro_refs/HoughTrans_lines_09.pdf

Progressive Probabilistic Hough Transform (PPHT)

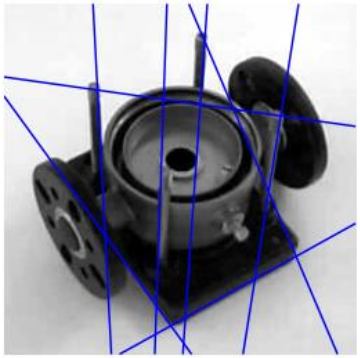
- Nedostaci:
  - Više pokretanja algoritma može da vrati različite rezultate – ovo se može desiti ukoliko mnogo linija deli piksele
  - Ako se dve linije presecaju, prva detektovana linija uklanja zajedničke piksele stvarajući prazninu u drugoj liniji
  - Ako se mnogo linija ukršta, mnogi pikseli mogu nedostajati u poslednjoj liniji i njeni glasovi u akumulatoru mogu da ne dostignu prag potreban za detekciju

Primer realne primene *Hough transform*

(a) Original

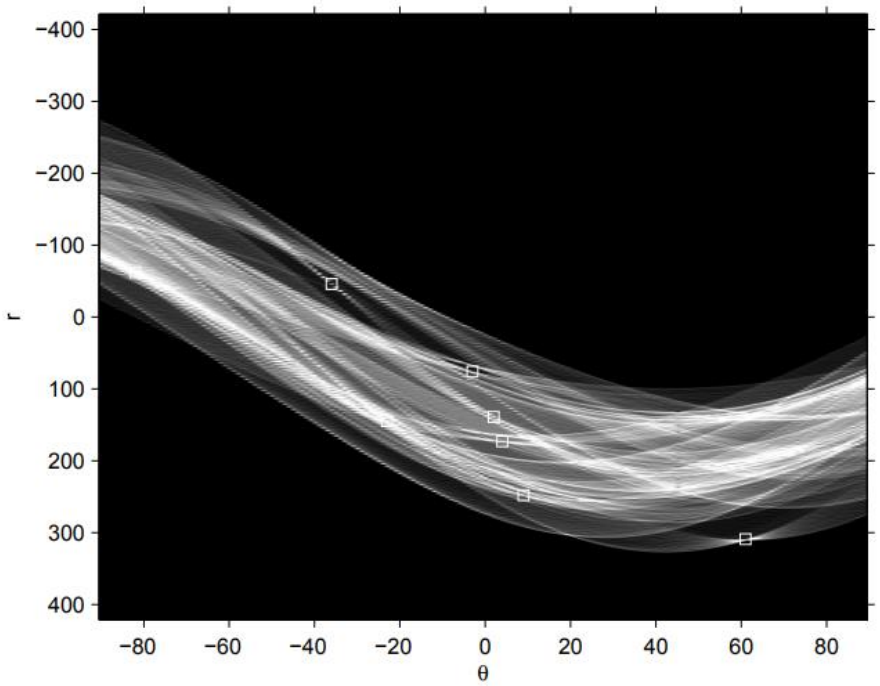


(b) Edges



(c) Infinite Lines

(d) Finite Lines

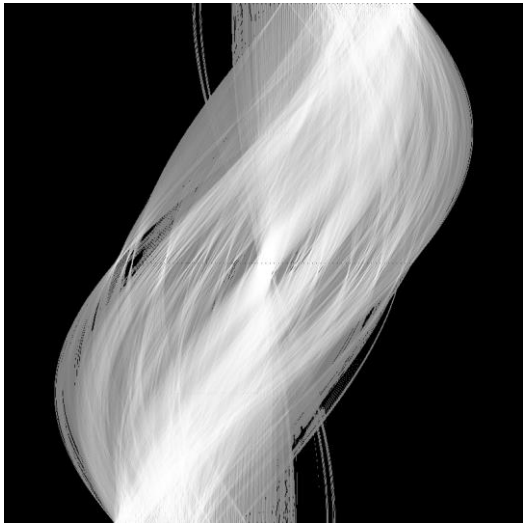


- Detektovano je 8 ravnih linija od kojih su 6 stvarne
- Algoritam je „prevaren“ zbog elipsi na konturama
- Nije moguće neposredno izbeći lažne detekcije a da se očuva većina stvarnih

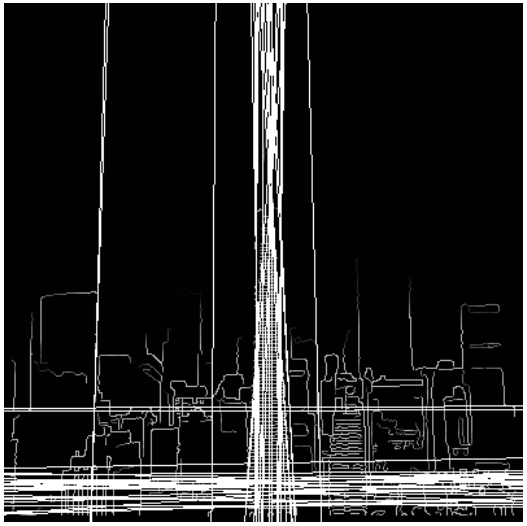
http://web.ipac.caltech.edu/staff/fmasci/home/astro_refs/HoughTrans_lines_09.pdf

Primer realne primene *Hough transform*

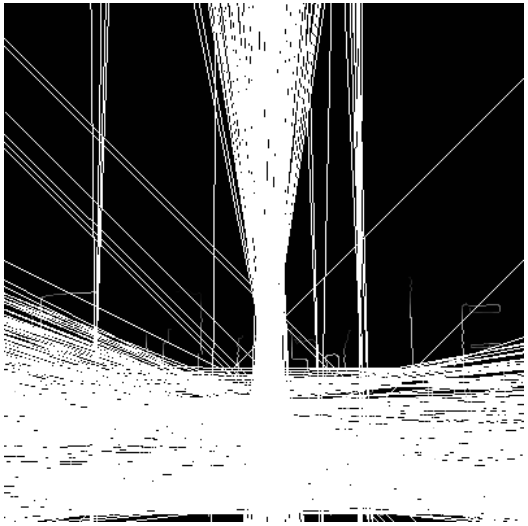
(Canny)



(Histogram equalized)



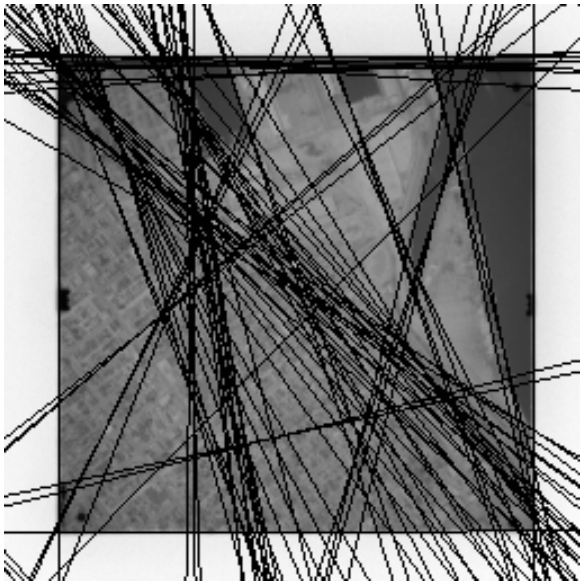
prag=70%



prag=50%

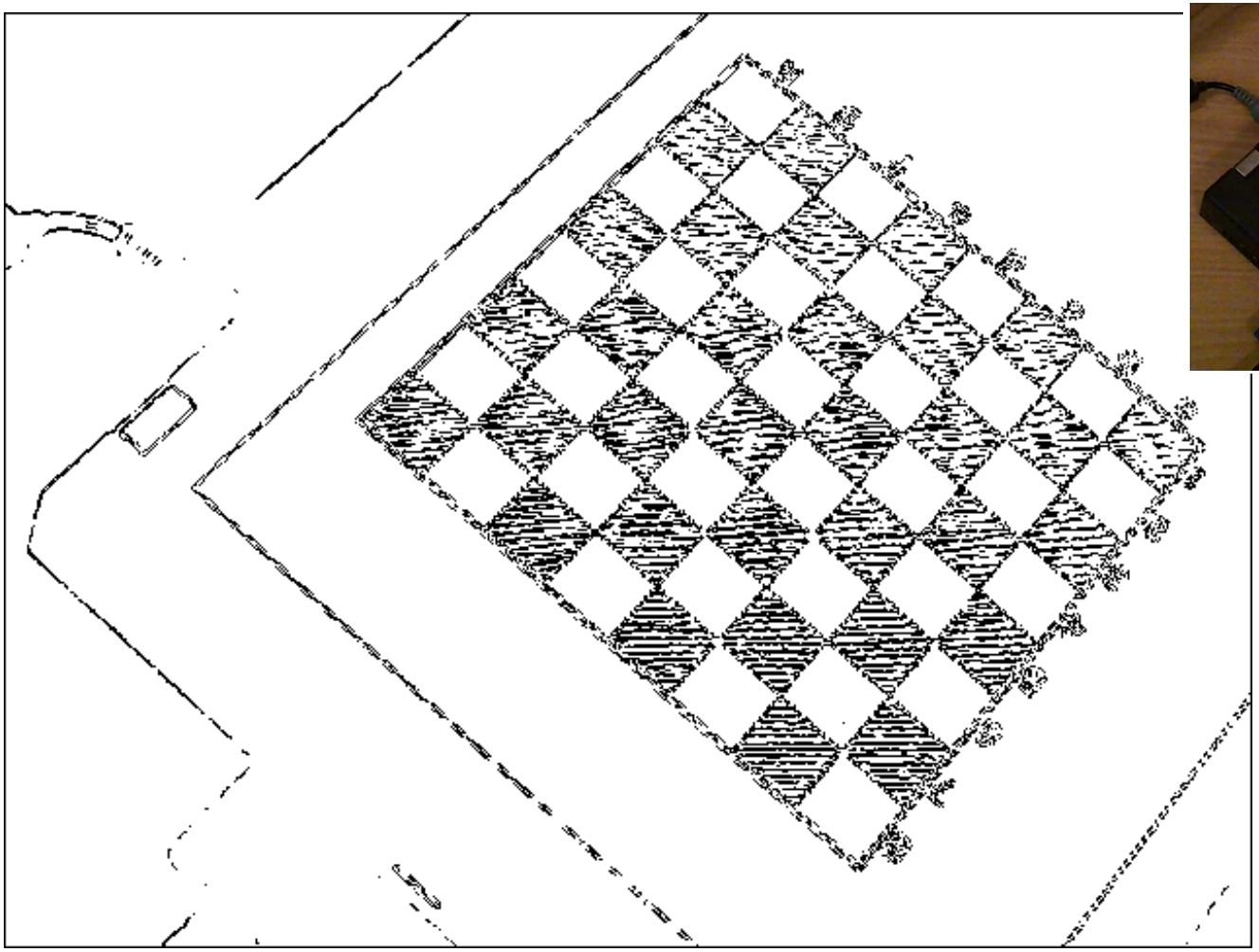
Primer realne primene *Hough transform*

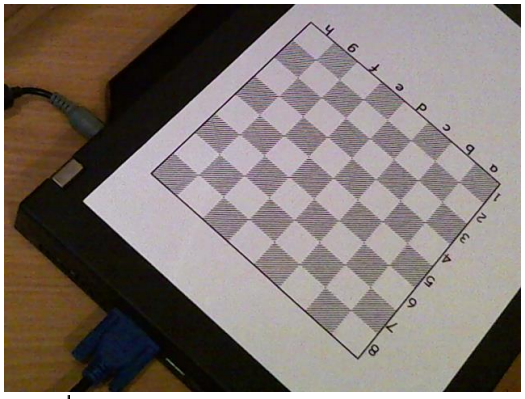
(Canny)



- Pronađeno je nešto informacija o ulicama
- Možda bi pomoglo da pojačamo kontrast originalne slike

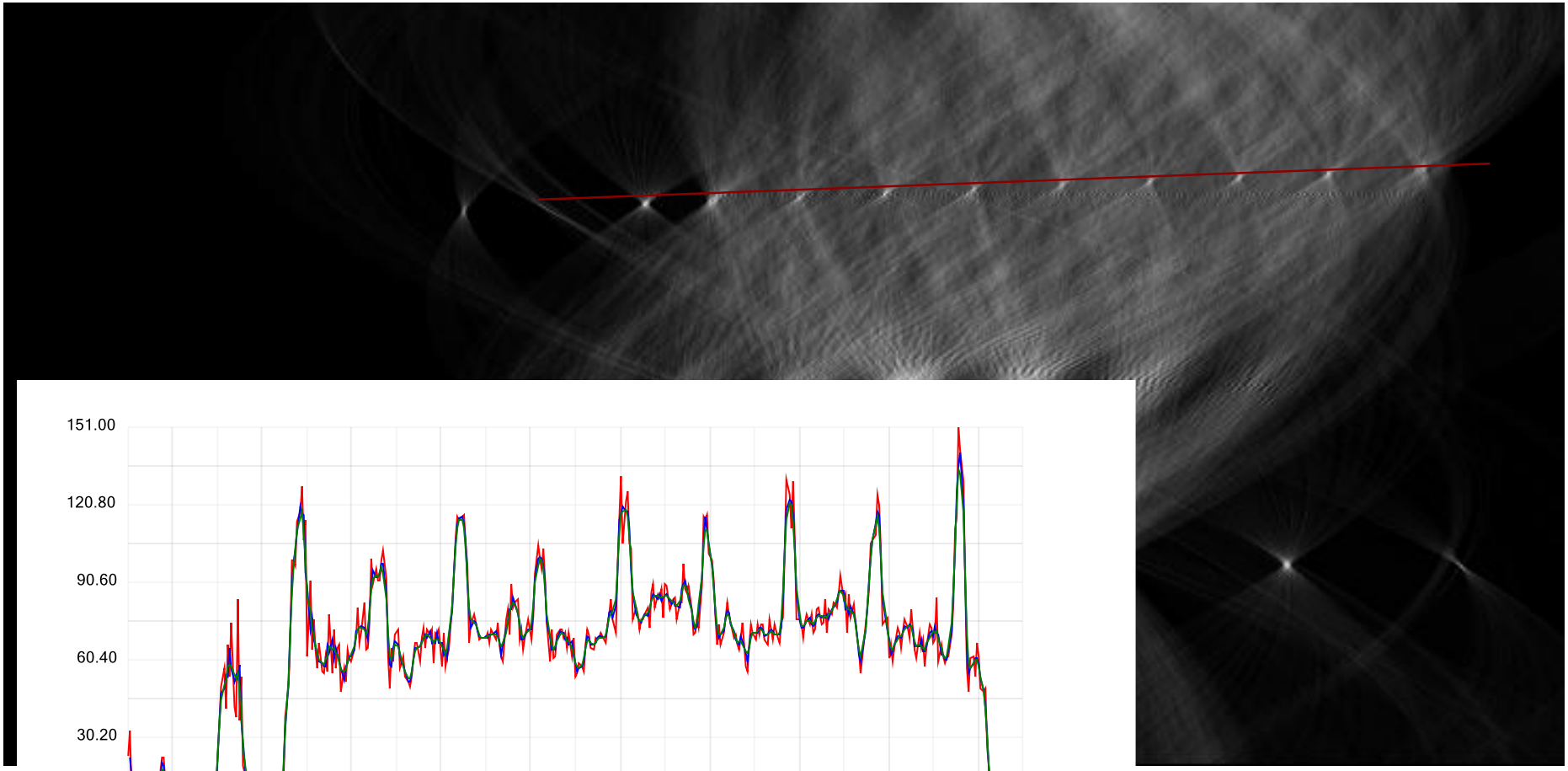
Primer realne primene *Hough transform*



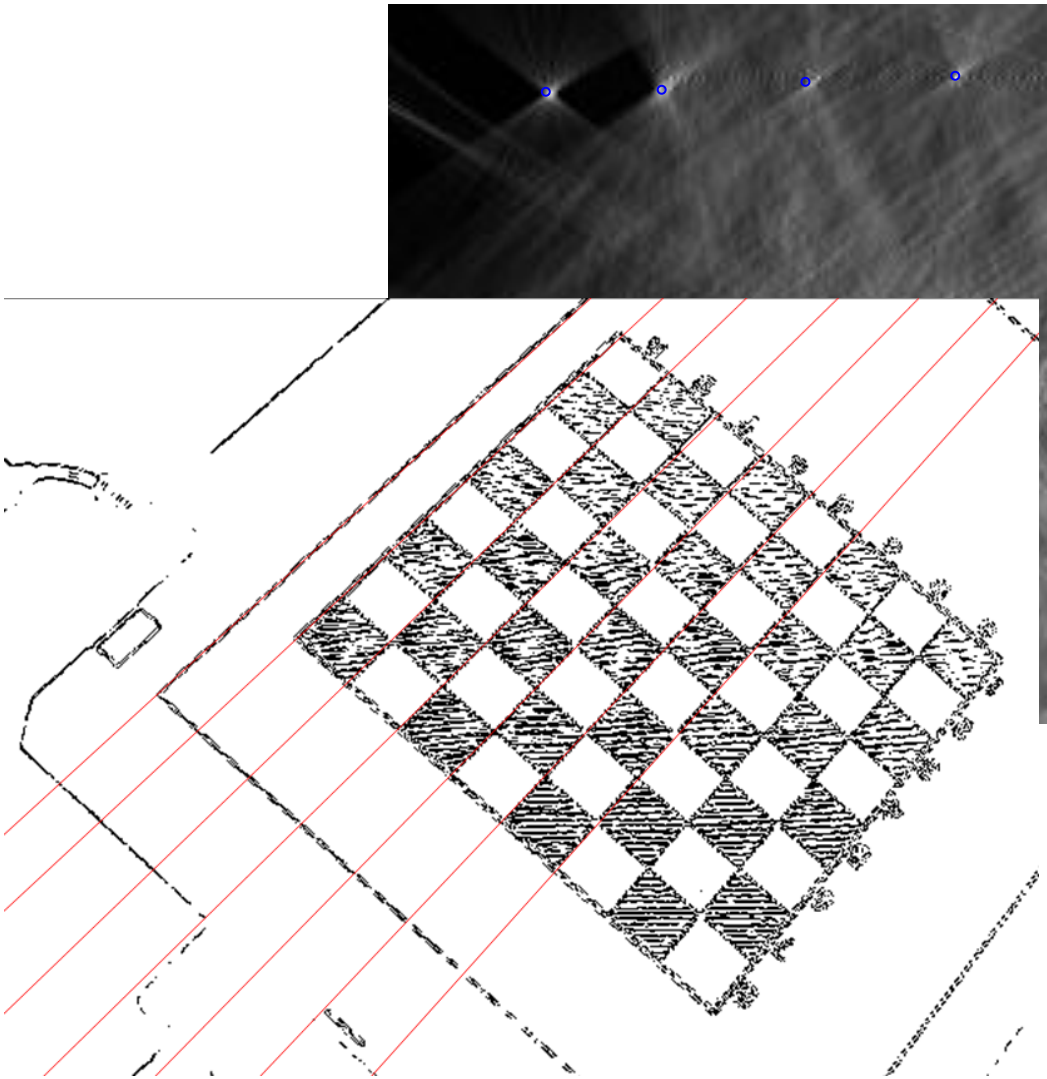


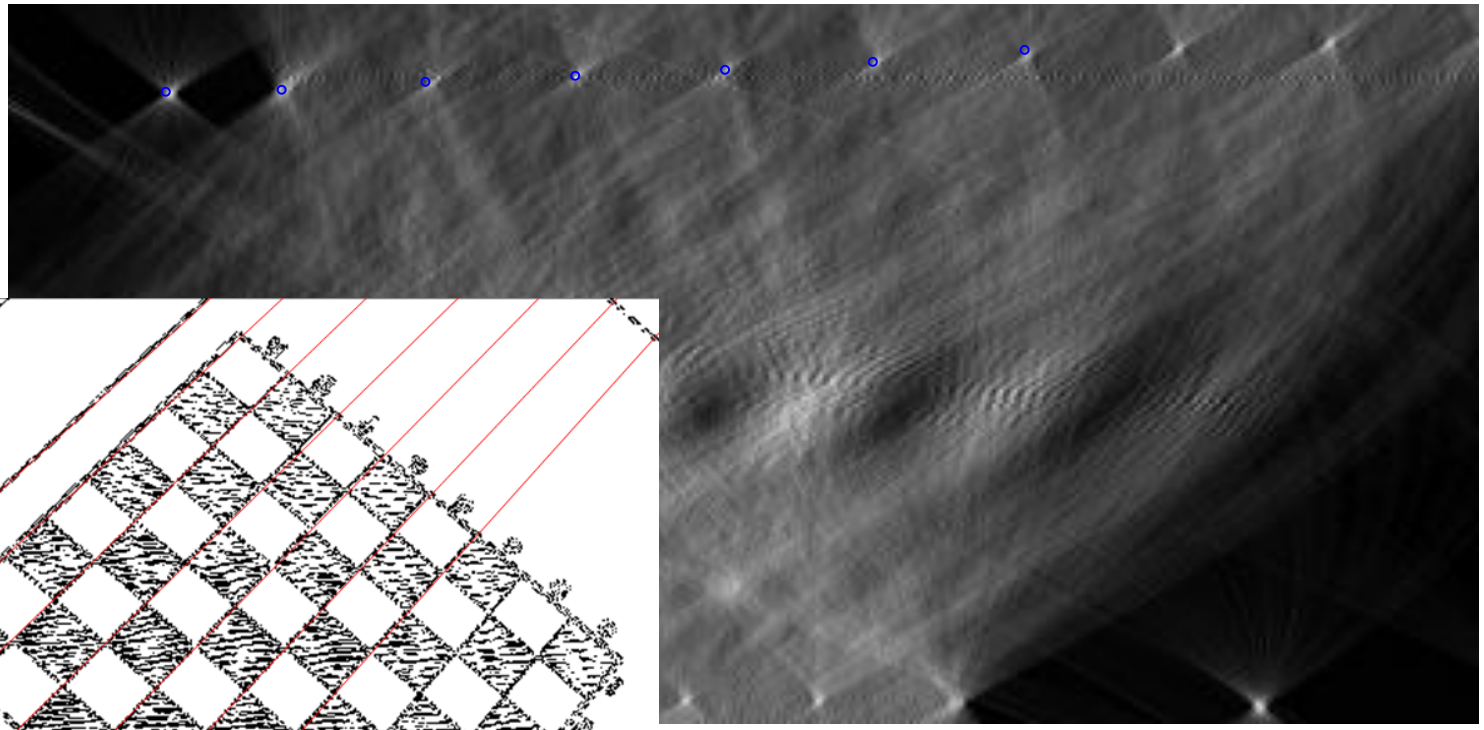
Slika šahovske table nakon izdvajanja ivica i segmentacije.

Primer realne primene *Hough transform*

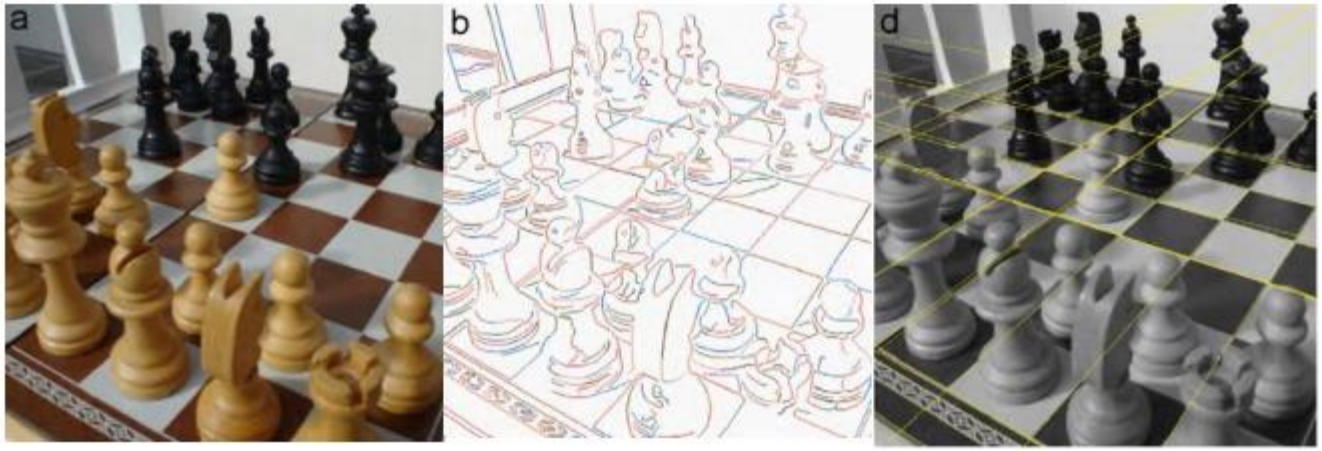


Primer realne primene *Hough transform*

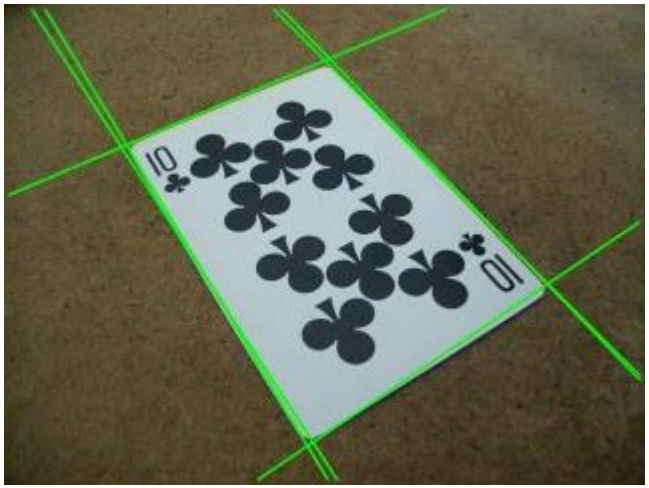


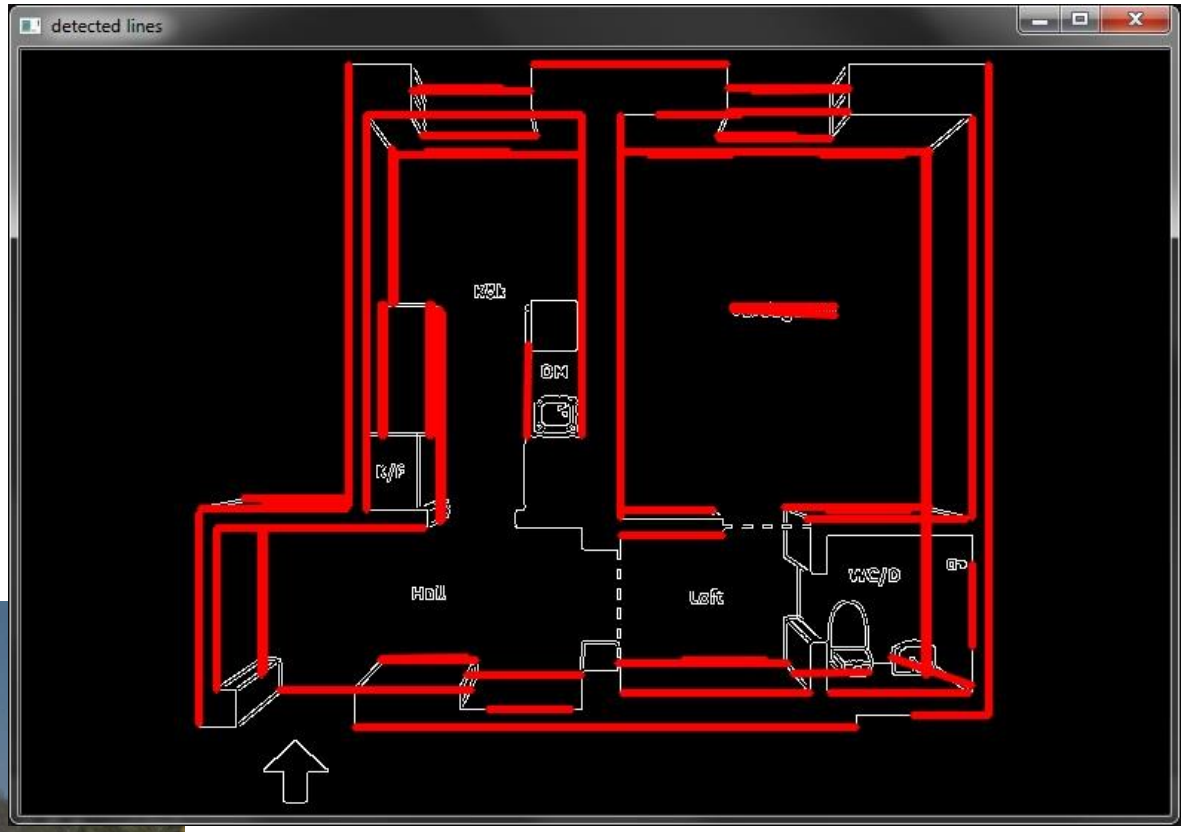


Primer realne primene *Hough transform*



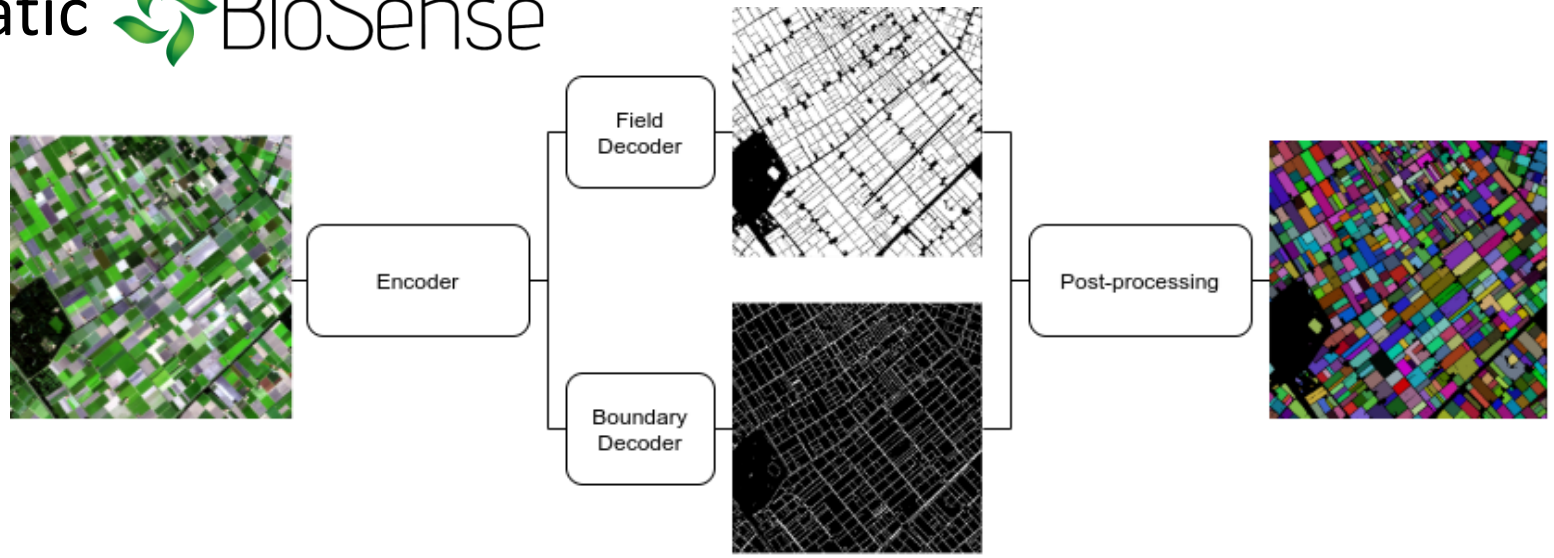
Primer realne primene *Hough transform*





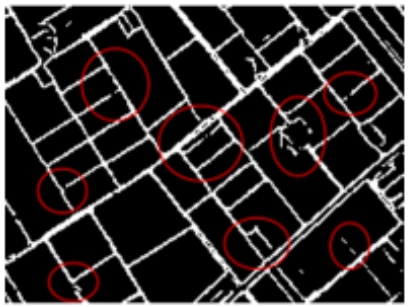
Primer realne primene *Hough transform*

Đorđe Batić

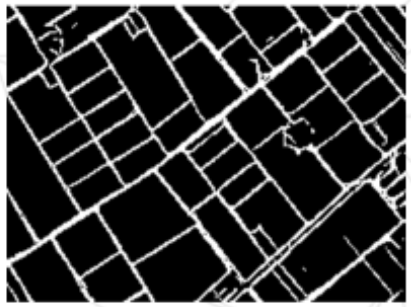


Methodology - Post-processing

Detect and fill in partially completed lines



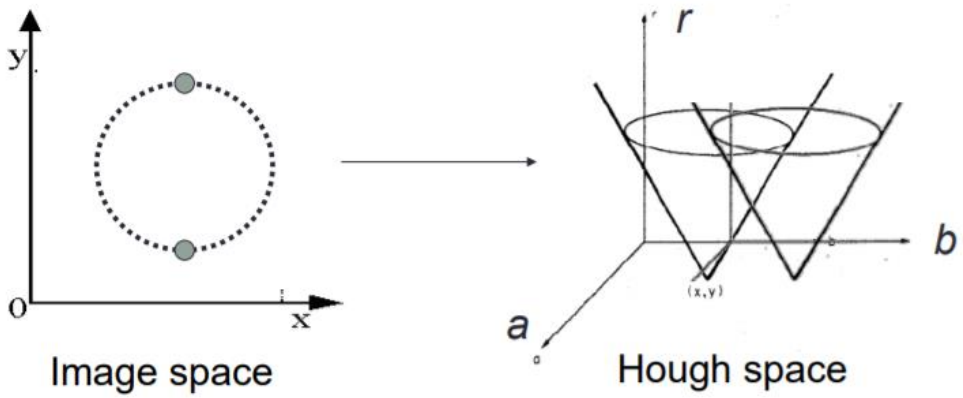
Before post-processing



After post-processing

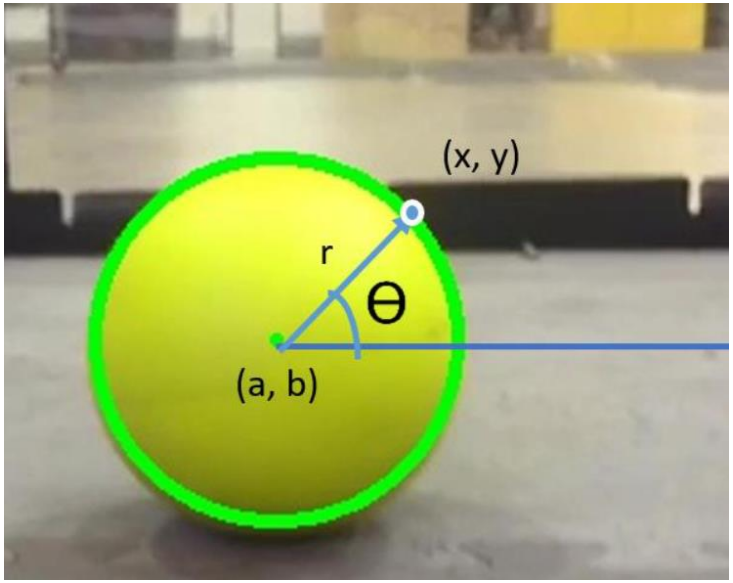
Proširenje *Hough transform* – krugovi

- Jednačina kruga: $(x-a)^2+(y-b)^2=r^2$
- Dakle, imamo tri parametra: (a,b) i r – proširićemo akumulator da bude 3D niz
  - Inicijalizovati sve $A[a,b,r]=0$
  - Za svaki piksel (x,y) binarne slike:
    - Za svako (a,b):
      - $r=\sqrt{((x-a)^2+(y-b)^2)}$
      - $A[a,b,r]=A[a,b,r]+1$



Proširenje *Hough transform* – krugovi

- Ovo proširenje je veoma jednostavno za razumevanje i implementaciju, ali i neefikasno
- Krug bismo mogli predstaviti sledećim jednačinama:



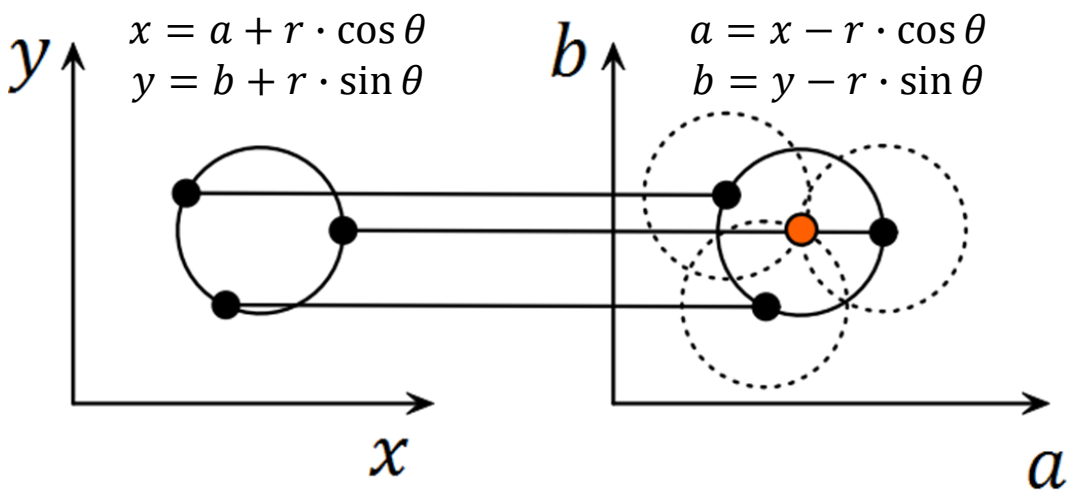
$$x = a + r \cdot \cos\theta$$
$$y = b + r \cdot \sin\theta$$

Ako bi r bilo poznato, mogli bismo izračunati a i b:

$$a = x - r \cdot \cos\theta$$
$$b = y - r \cdot \sin\theta$$

- Svaka tačka u (x, y) postoru bi se preslikavala na kružnicu u (a, b) prostoru, a *Hough* prostor bi bio 2D

Proširenje *Hough transform* – krugovi



Originalni prostor

- označena su tri piksela na kružnici koju detektujemo

Hough prostor (za fiksno r)

- Svaka tačka se preslikava na kružnicu
- Kružnice predstavljaju centre svih kružnica prečnika r koji bi mogli da sadrže piksel originalnog prostora

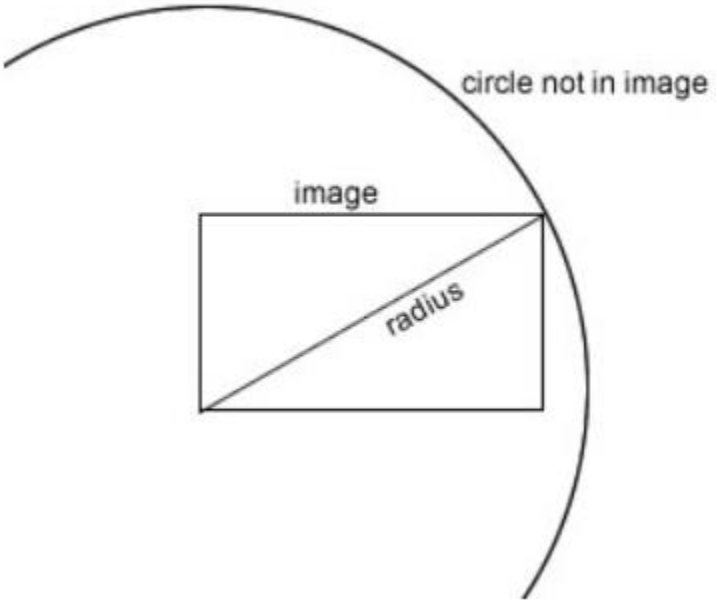
Dakle, ako tražimo krugove fiksnog radijusa *r*, akumulator ostaje 2D

Proširenje *Hough transform* – krugovi

- Učitamo sliku
- Detektujemo ivice i generišemo binarnu sliku
- Za svaki piksel ivice, generišemo kružnicu u *Hough* prostoru
- U preseku kružnica se nalaze detektovani centri kružnice

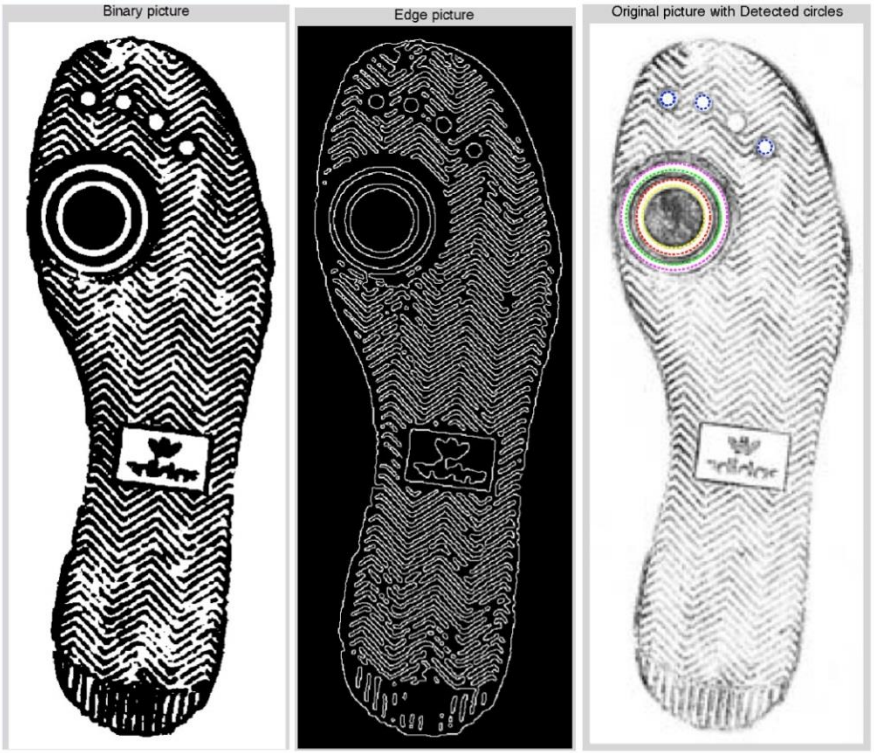
Ali šta kada r nije poznat?

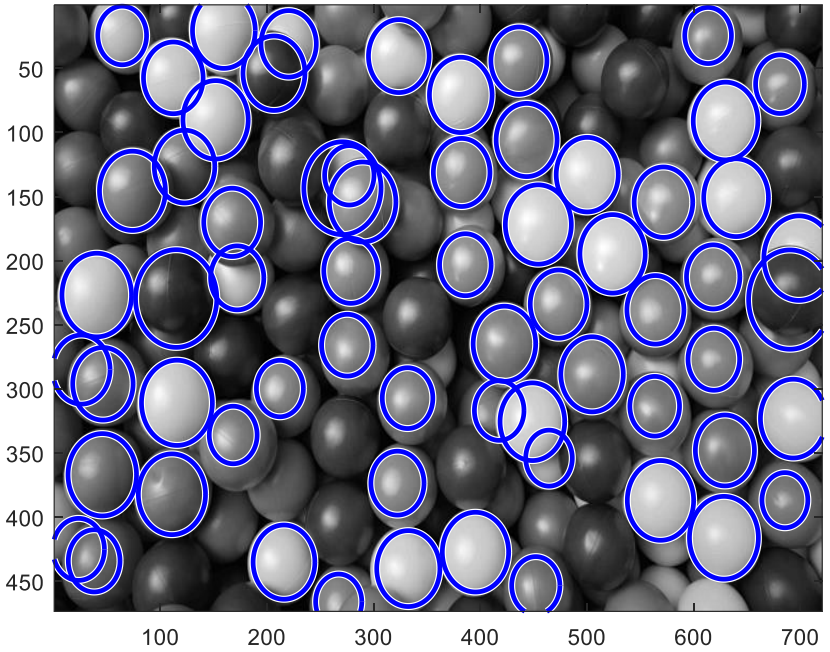
- Pogađamo: probamo isti algoritam za $r = 1, r = 2, \ldots, r = |\text{diagonala\_slike}|$



- Dakle, kontrolisano menjamo r u nekom rasponu pa je problem sa 3D sveden na 2.5D

Proširenje *Hough transform* – krugovi

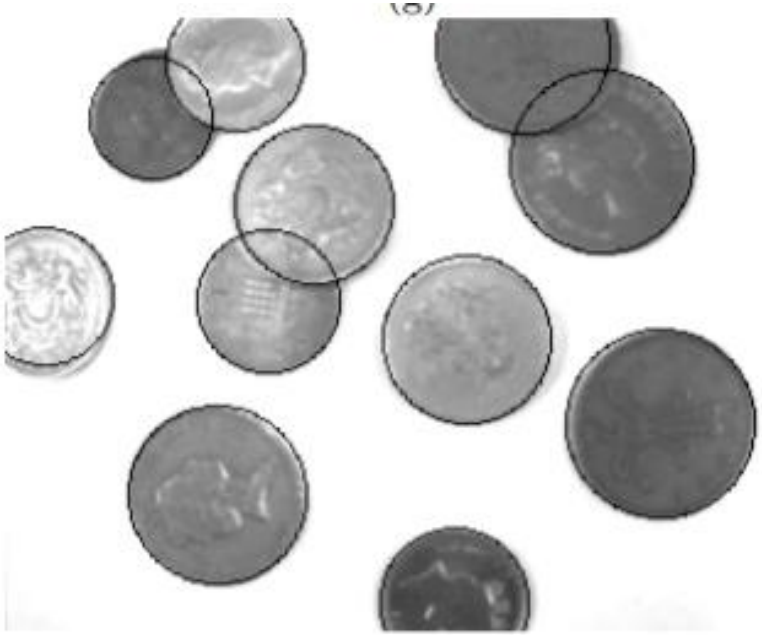




Proširenje *Hough transform* – krugovi

Detektovanje dužica (iris)

Hough prostor



Radi i ako nije vidljiva cela kružnica

Proširenje *Hough transform*

- „Klasičan“ *Hough transform* može da se koristi i za detekciju krugova, elipsi,...

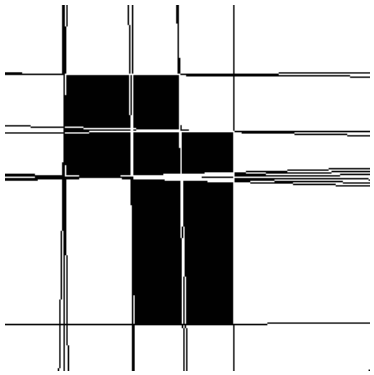
Analytic Form	Parameters	Equation
Line	ρ, θ	$x\cos\theta+y\sin\theta=\rho$
Circle	x_0, y_0, ρ	$(x-x_o)^2+(y-y_0)^2=r^2$
Parabola	x_0, y_0, ρ, θ	$(y-y_0)^2=4\rho(x-x_o)$
Ellipse	x_0, y_0, a, b, θ	$(x-x_o)^2/a^2+(y-y_0)^2/b^2=1$

- U opštem slučaju, možemo detektovati bilo koju krivu koju možemo opisati analitički u formi:

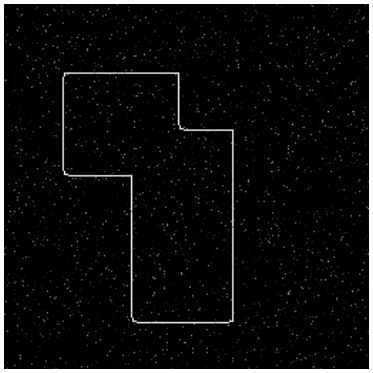
$$g(v, C),$$

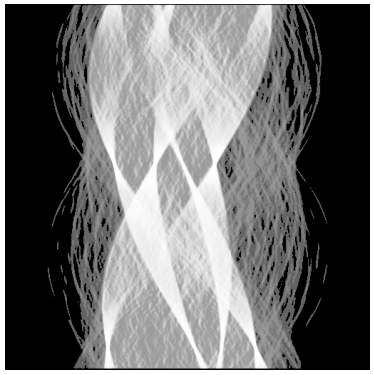
gde je v vektor koordinata, a C parametri

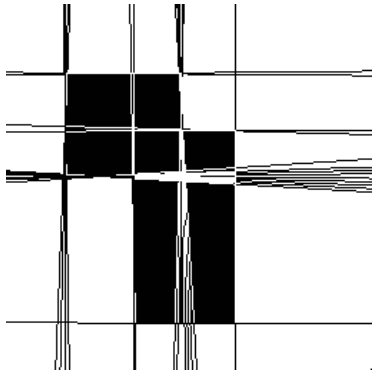
Šum



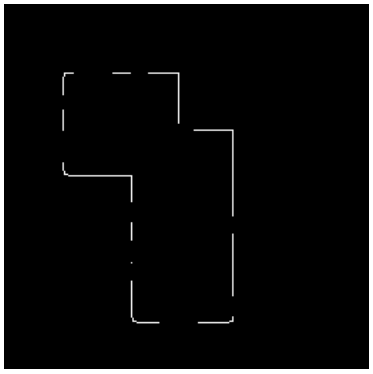
- Nije perfektno...
- Možda bi se moglo pobojšati rafiniranjem diskretizacije

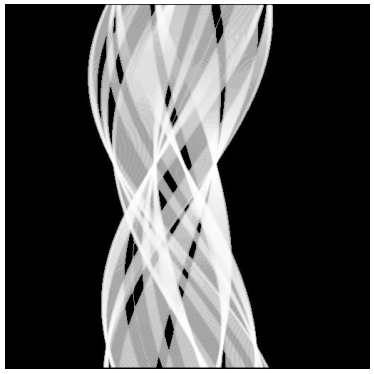


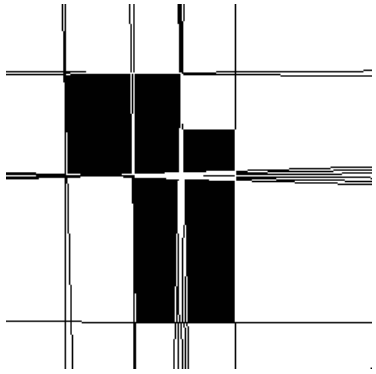




(rezultat je preklopljen sa originalnim)

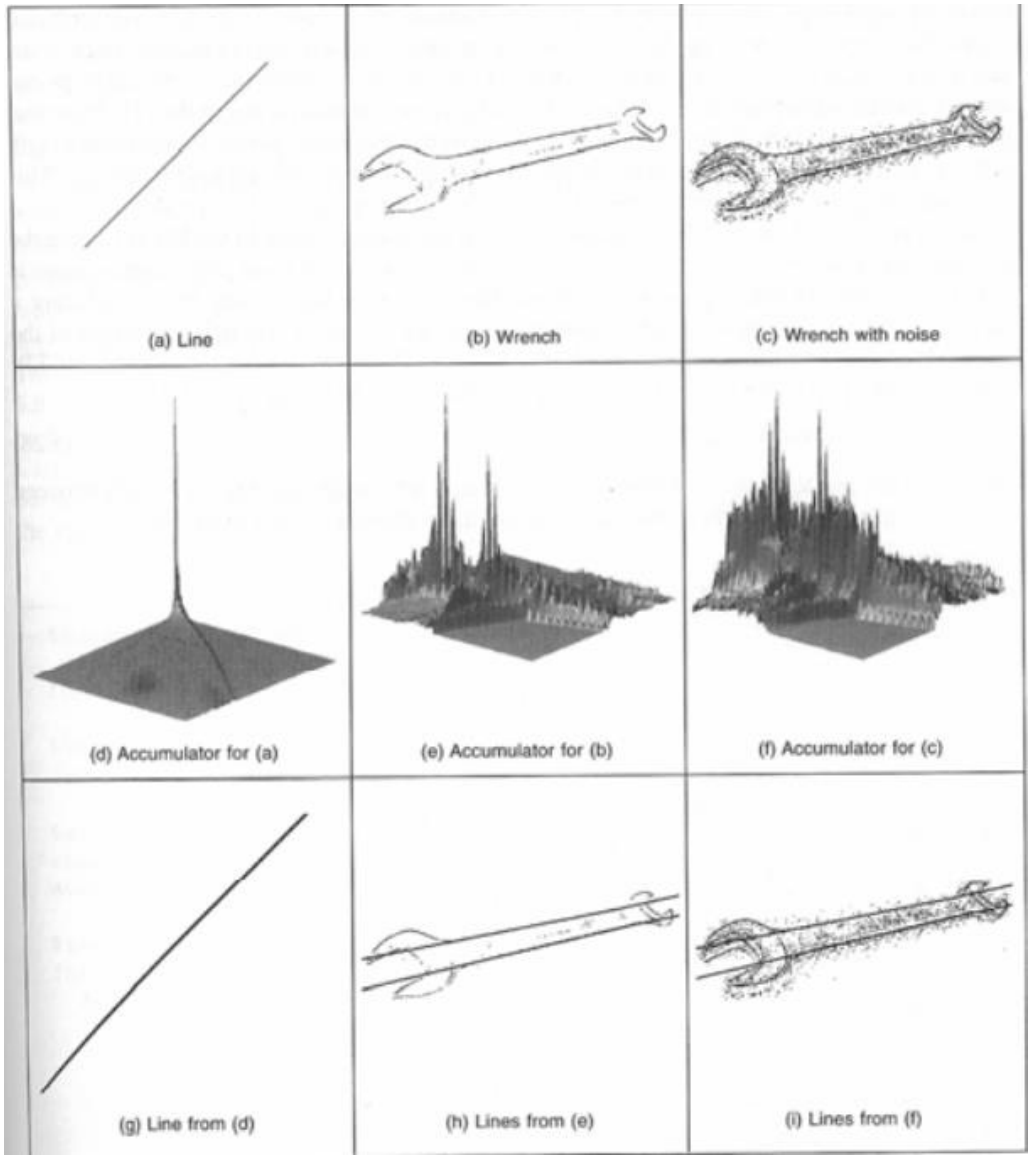






Samo 7 linija je pronađeno, ali su sve relevantne

Šum



Binarna slika (ivice)

Vizuelizacija akumulatora
(visina odgovara broju piksela koji su glasali za liniju)

Šum jeste uticao na akumulator, ali i dalje najveći vrhovi odgovaraju glavnim linijama

Nakon primene praga

Prednosti *Hough transform*

- I pored ograničenja domena, „klasičan“ *Hough transform* je primenljiv u mnogim aplikacijama
  - Npr. mnogi anatomski delovi ispitivani u medicinskim slikama imaju ivice koje mogu da se izraze kao krive

- Glavne prednosti *Hough transform:*
  - Konceptualno jednostavan i lak za implementaciju
  - Tolerancija rupa (*gaps*) u ivicama
  - Tolerancija na šum
  - Može da se adaptira za moge oblike (ne samo linije)

Mane *Hough transform*

- Mane:
  - Što više parametara ima kriva, treba nam veća dimenzija akumulatora – *Hough* je zato praktičan samo za jednostavne krive
    - Imajte na umu da treba ispitati svaku moguću kombinaciju vrednosti parametara
  - Traži samo jedan tip objekata

- Moguće je detektovati i proizvoljne oblike (gde ne postoje jednostavan analitički opis): *Generalized Hough Transform*
  - Ovo je takođe veoma računarski zahtevno

LSD: Line Segment Detector

- Pronalazi koherentne linije i krive na slici, umesto da se oslanja na lokalne detektora ivica (gradijent)

- http://www.ipol.im/pub/art/2012/gjmr-lsd/
  - Video: možemo videti da su dobijene krive koherentne, ne menjaju se naglo sa promenom frejmova

Von Gioi, R.G., Jakubowicz, J., Morel, J.M. and Randall, G., 2012. LSD: a line segment detector. *Image Processing On Line*, *2*, pp.35-55.

LSD: Line Segment Detector

- http://demo.ipol.im/demo/gjmr_line_segment_detector/