Korištenje distribucije osvjetljenja za ostvaranje brzih i točnih metode za postojanost boja

Nikola Banić

26. rujna 2014.

Sadržaj

- Postojanost boja
- Ubrzavanje lokalnog podešavanja boja
- Distribucija najčešćih osvjetljenja
- Korištenje distribucije najčešćih osvjetljenja
- Zaključak

Osvjetljenje

Model formiranja slike

$$f_c(x)$$

- $f_c(x)$ – vrijednost na poziciji x za kanal $c \in \{R, G, B\}$

Model formiranja slike

$$f_c(x) = \int_{\omega} R(x, \lambda) \quad d\lambda$$

- $f_c(x)$ – vrijednost na poziciji x za kanal $c \in \{R, G, B\}$
- ω – vidljivi spektar
- $R(x, \lambda)$ – odsjaj površine na poziciji x za valnu duljinu λ

Model formiranja slike

$$f_c(x) = \int_{\omega} R(x, \lambda)\rho_c(\lambda)d\lambda$$

- $f_c(x)$ – vrijednost na poziciji x za kanal $c \in \{R, G, B\}$
- ω – vidljivi spektar
- $R(x, \lambda)$ – odsjaj površine na poziciji x za valnu duljinu λ
- $\rho_c(\lambda)$ – osjetljivost senzora kamere na valnu duljinu λ za kanal c

Model formiranja slike

$$f_c(x) = \int_\omega I(\lambda) R(x, \lambda) \rho_c(\lambda) d\lambda$$

- $f_c(x)$ – vrijednost na poziciji x za kanal $c \in \{R, G, B\}$
- ω – vidljivi spektar
- $R(x, \lambda)$ – odsjaj površine na poziciji x za valnu duljinu λ
- $\rho_c(\lambda)$ – osjetljivost senzora kamere na valnu duljinu λ za kanal c
- $I(\lambda)$ – spektralna razdioba izvora svjetlosti – pretpostavlja se uniformno osvjetljenje

Model formiranja slike

$$\mathbf{e} = \begin{pmatrix} e_R \\ e_G \\ e_B \end{pmatrix} = \int_\omega I(\lambda)\boldsymbol{\rho}(\lambda)d\lambda$$

- **e** – promatrani izvor svjetlosti – to nas zanima
- idealni slučaj – bijelo svjetlo: $e_R = e_G = e_B$
- matematički loše postavljen problem
- potrebne su dodatne pretpostavke

Model formiranja slike

- Za uspješnu kromatsku adaptaciju dovoljan je samo smjer od **e**
- Redukcija jedne dimenzije
- Može se koristiti kromatičnost

- $r = \frac{R}{R+G+B}, \quad g = \frac{G}{R+G+B}, \quad b = \frac{R}{R+G+B}$

- Budući da je $r + g + b = 1$, dovoljne su samo dvije komponente

Računalna postojanost boja

- Postojanost boja (*engl. color constancy, njem. Farbkonstanz*) postiže se uravnotežavanjem bijele boje (*engl. white balancing, njem. Weißabgleich*)
- Koraci u ostvarivanju su:

1. **Procjena osvjetljenja**
   - procjenjuje se vektor **e** – važan je samo smjer, ne i iznos
   - svaki algoritam za procjenu osvjetljenja uvodi svoje dodatne pretpostavke
   - najvažniji i najteži korak
2. **Kromatska adaptacija**
   - korištenje procijenjenog osvjetljenja za popravljanje izgleda slike
   - ako je procjena $\boldsymbol{e}=[e_R, e_G, e_B]^T$ i ako su kanali slike R, G i B, onda se kanali popravljene slike dobivaju kao αR, βG i γB pri čemu vrijedi $\alpha e_R = \beta e_G = \gamma e_B$
   - npr. $\alpha = e_G / e_R$, $\beta = 1$, $\gamma = e_G / e_B$

Automatska procjena osvjetljenja

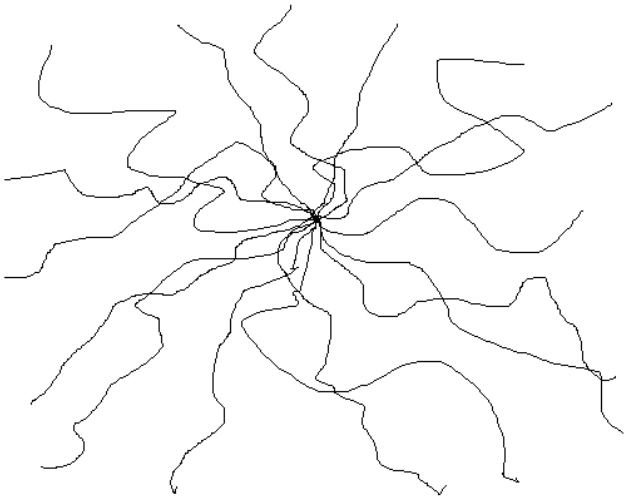
1. Statističke metode
   - brže i jednostavnije za implementaciju
   - koriste statistiku u pikselima

2. Metode zasnovane na učenju
   - koriste se različiti algoritmi za učenje različitih svojstava na temelju različitih značajki slike

- Otvoreno područje istraživanja

Retinex

- Provodi se za zadani kanal *I*
- Računa se svjetlina svakog piksela
- Kroz svaki piksel se provuku staze

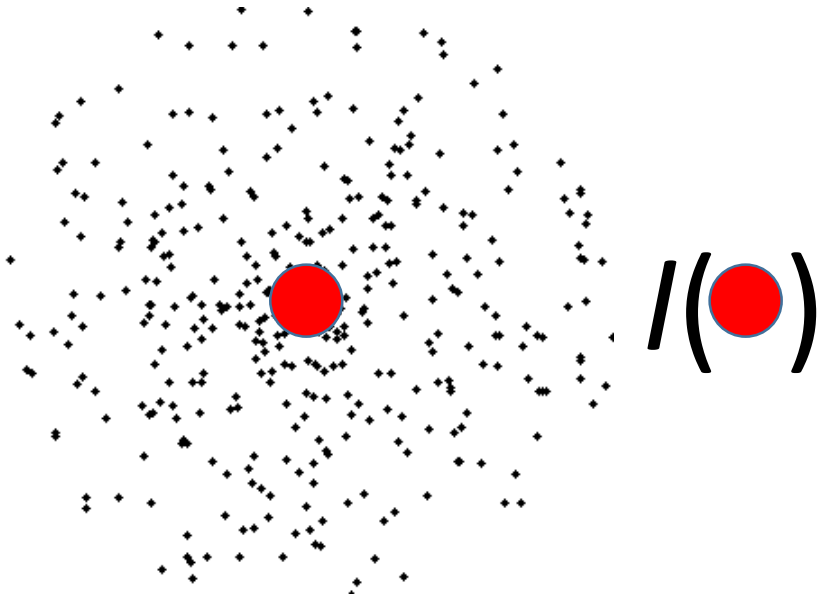


$$L(i) = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^{N} \frac{I(i)}{I(x_{H_k})}$$

Random Sprays Retinex

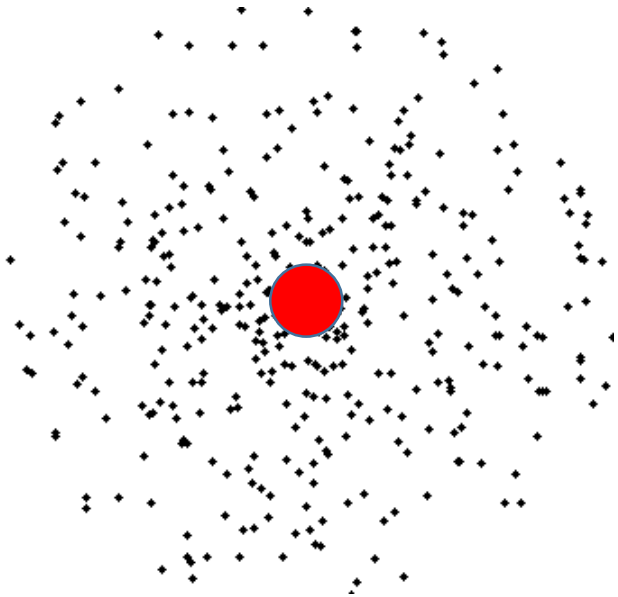
Random Sprays Retinex

Random Sprays Retinex



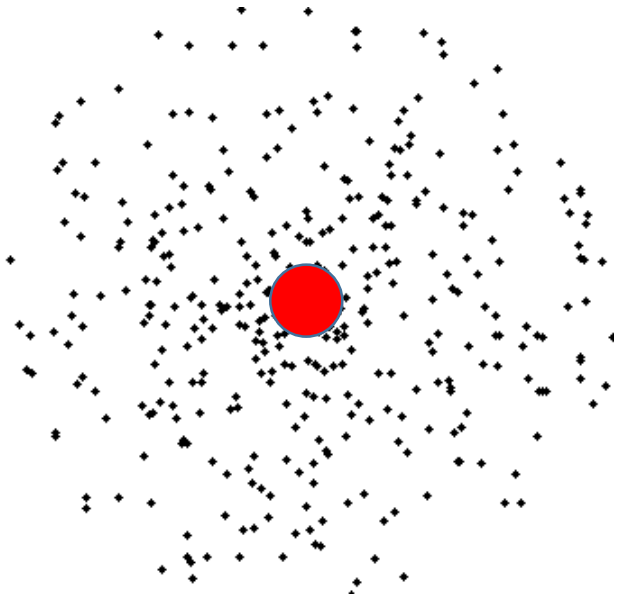
$I(\bullet)$

Random Sprays Retinex



$$I(\bullet) = \frac{I(\bullet)}{\max I(\cdot)}$$

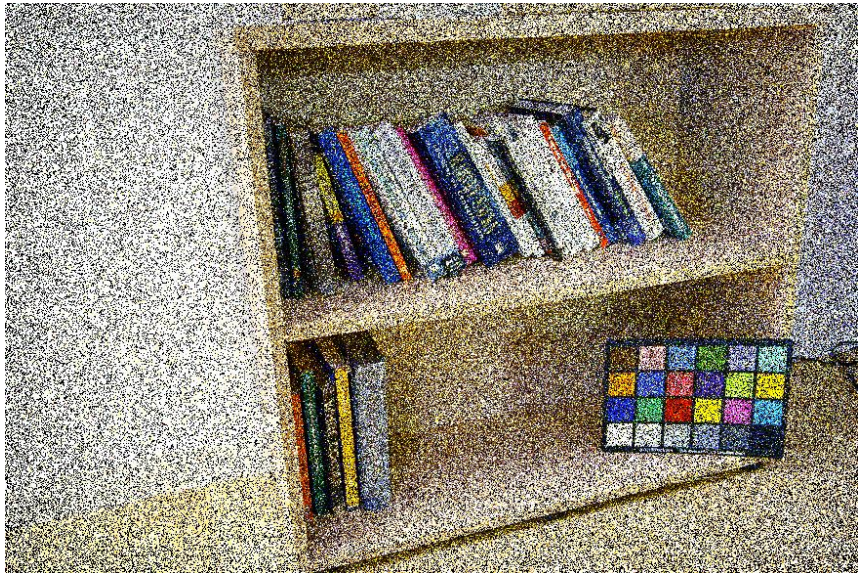
Random Sprays Retinex



$$I(\bullet) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^{N} \frac{I(\bullet)}{\max I(\cdot_i)}$$

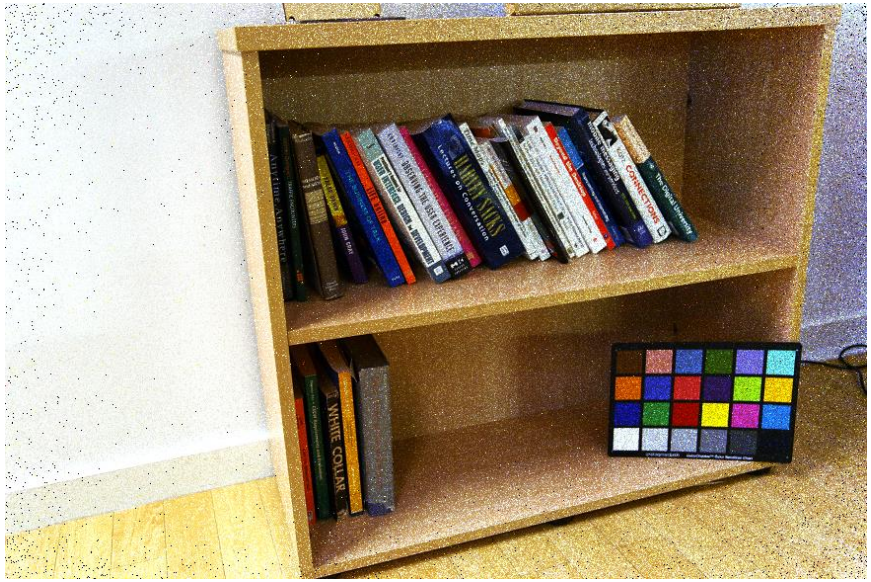
Random Sprays Retinex

originalna slika



RSR s parametrima N=1, n=4

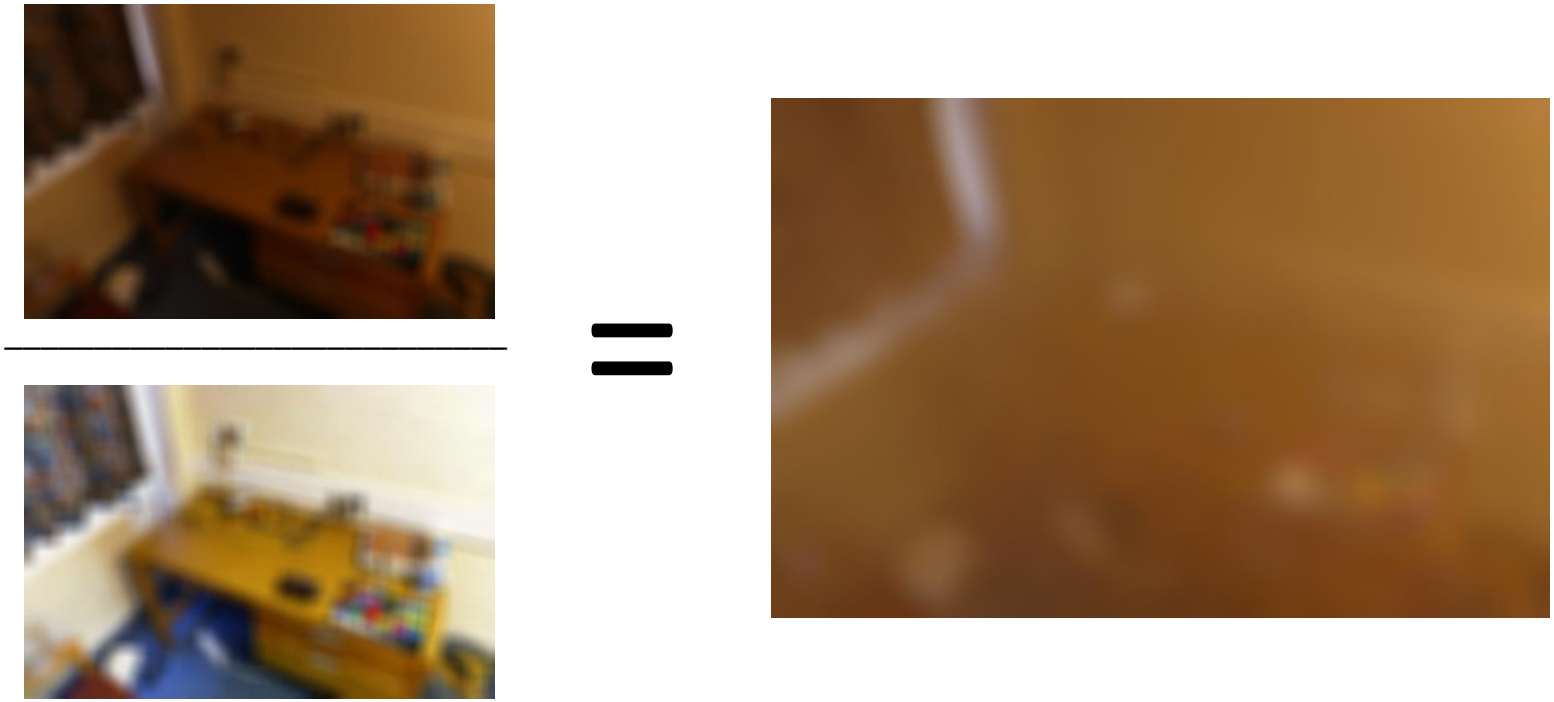
Random Sprays Retinex



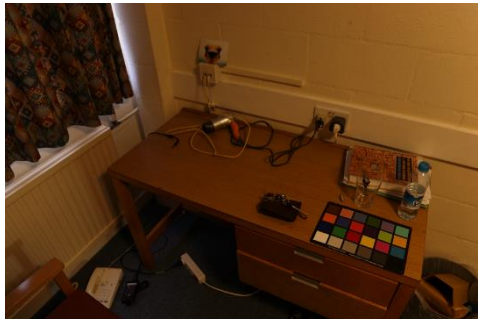
RSR s parametrima *N*=5, *n*=20

RSR s parametrima *N*=20, *n*=400

Light Random Sprays Retinex



Light Random Sprays Retinex



=

Light Random Sprays Retinex

$$C''_{c,k}(i) = \frac{(I_c * k)(i)}{(R_c * k)(i)}$$

Light Random Sprays Retinex

$$C''_{c,k}(i) = \frac{(I_c * k)(i)}{(R_c * k)(i)}$$

$$C^*_{c,k_1,k_2}(i) = (C''_{c,k_1} * k_2)(i)$$

Light Random Sprays Retinex

$$C''_{c,k}(i) = \frac{(I_c * k)(i)}{(R_c * k)(i)}$$

$$C^*_{c,k_1,k_2}(i) = (C''_{c,k_1} * k_2)(i)$$

$$O_c(i) = \frac{I_c(i)}{C^*_{c,k_1,k_2}(i)}$$

WC201
World Congress on
Medical Physics and
Biomedical Engineer
www.wc2012.org

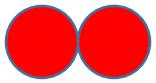
Light Random Sprays Retinex

- Složenost:
  - $O(nM)$
    - n – veličina spreja
    - M – broj piksela u slici (veličina slike)
- Nije prikladno za izvedbu u stvarnom vremenu
- Korištenjem interpolacije postiže se ubrzanje, ali pada i kvaliteta rezultata

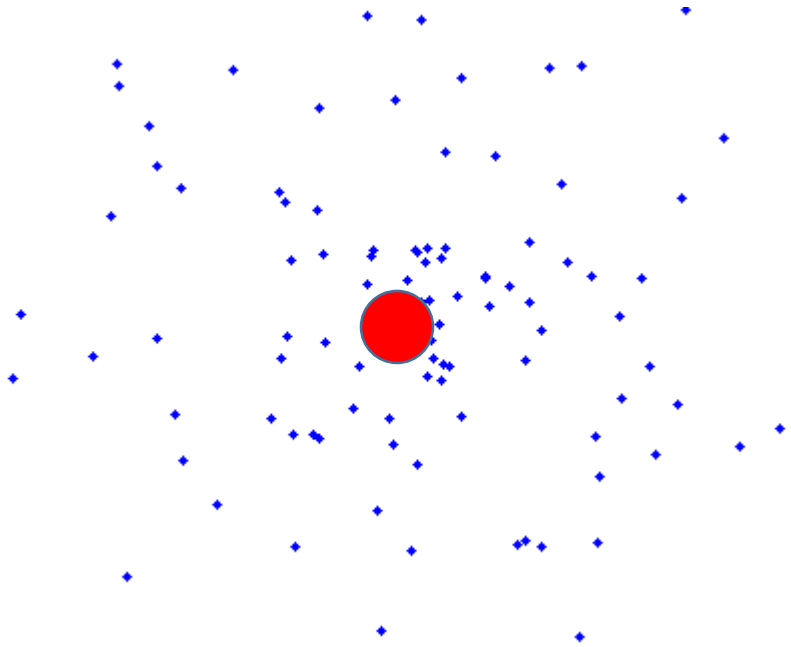
Ubrzanje

- Kritični dio: računanje maksimuma u spreju: *O(n)*
- Pokušati kombinirati operacije
- Što je zajedničko obradi pojedinih piksela?
- Na koji način se to može iskoristiti?

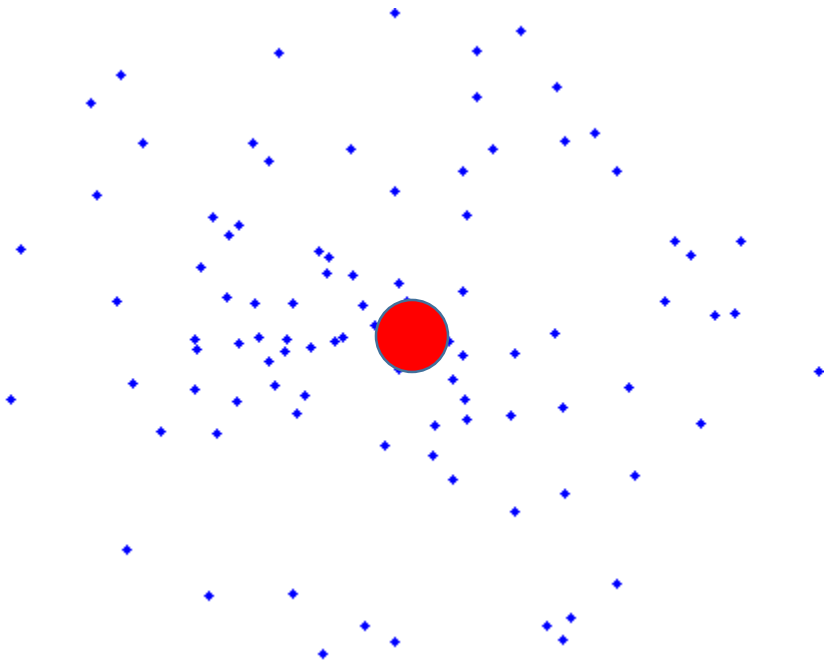
Zajedničko



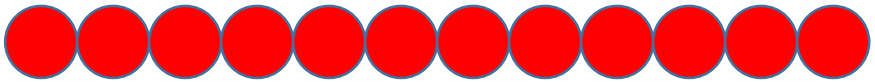
Zajedničko



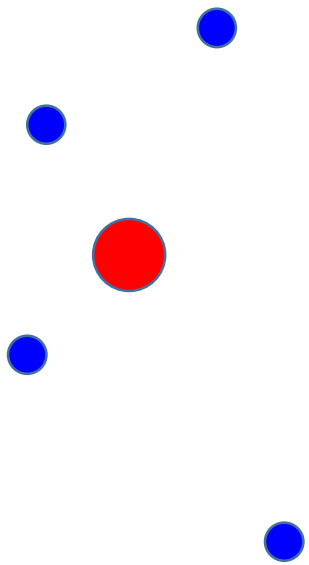
Zajedničko



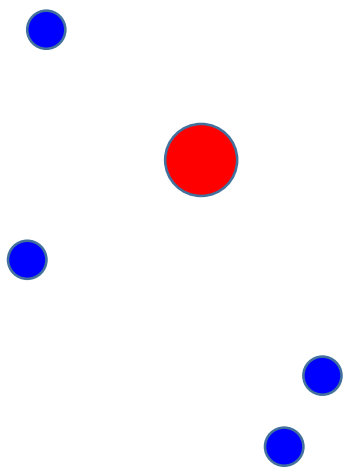
Zajedničko



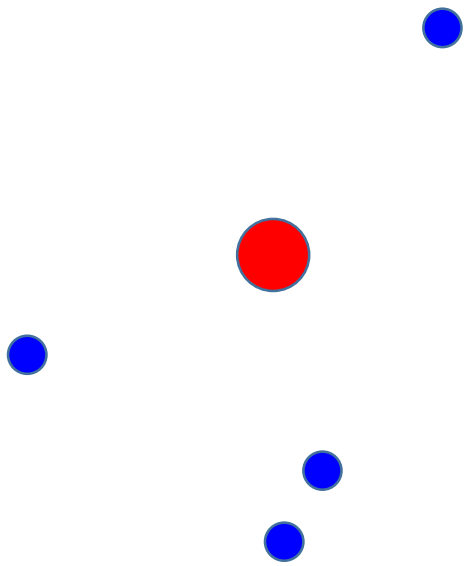
Zajedničko



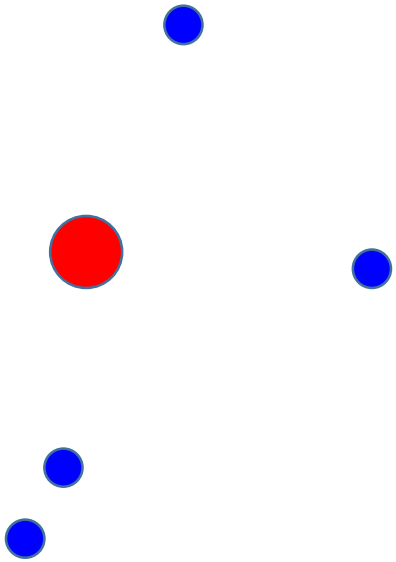
Zajedničko



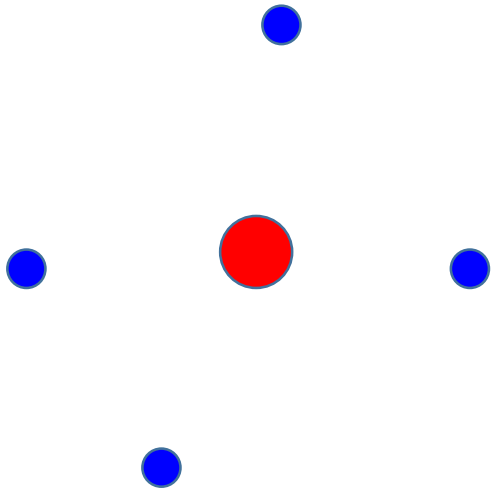
Zajedničko



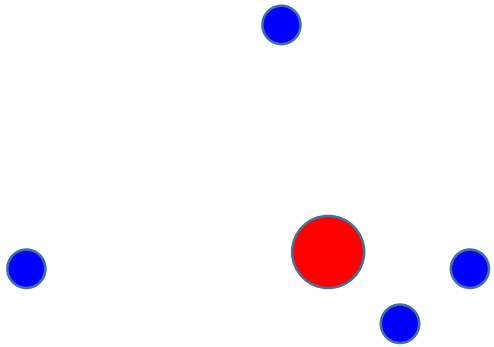
Zajedničko



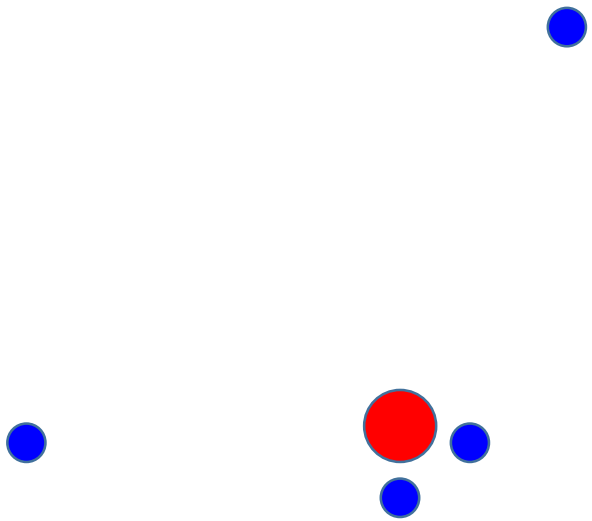
Zajedničko



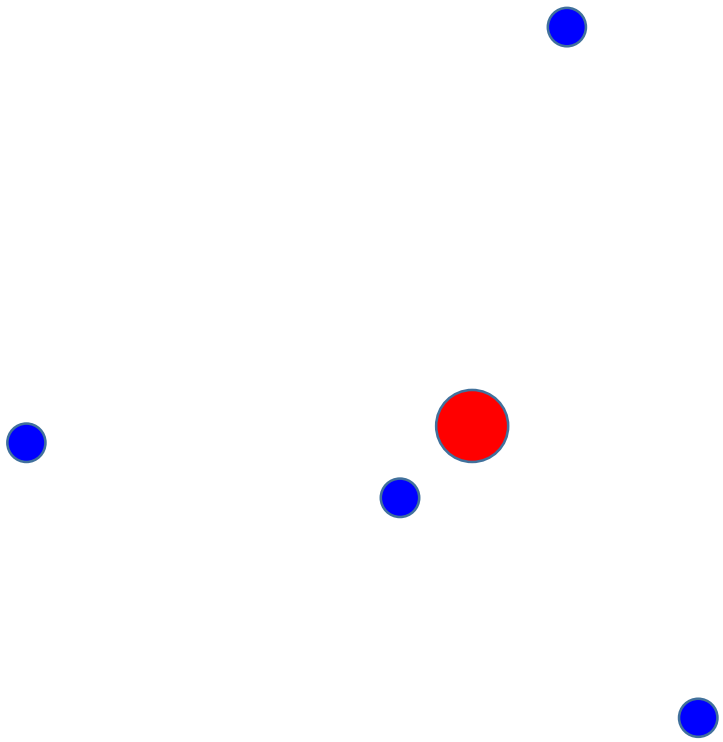
Zajedničko



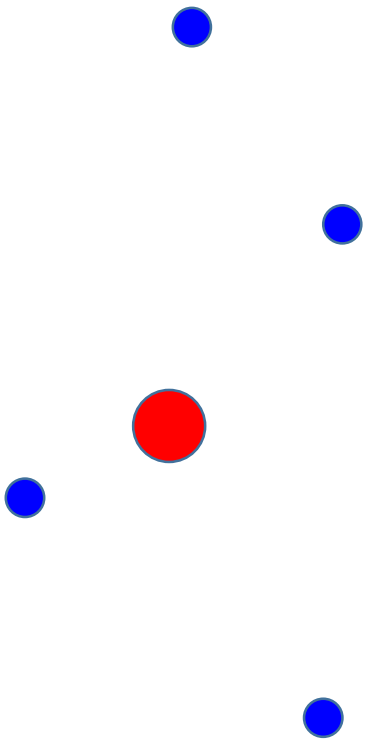
Zajedničko



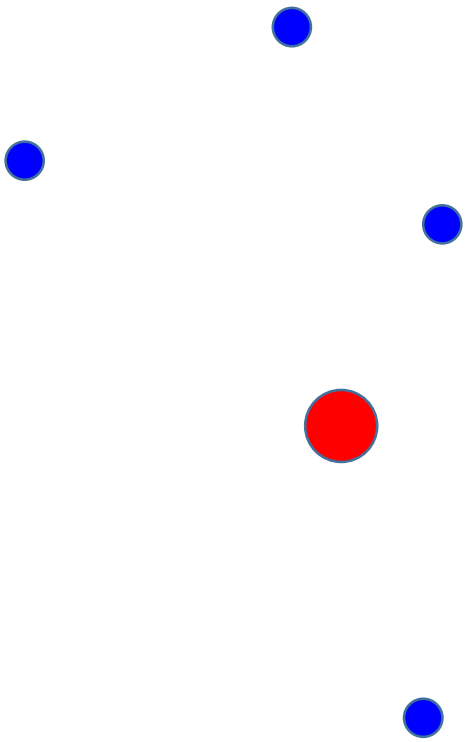
Zajedničko



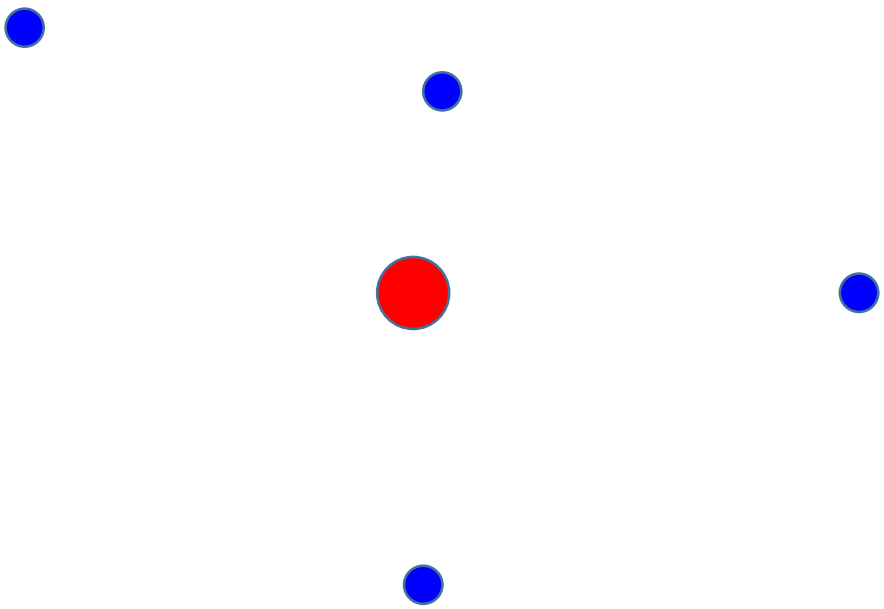
Zajedničko



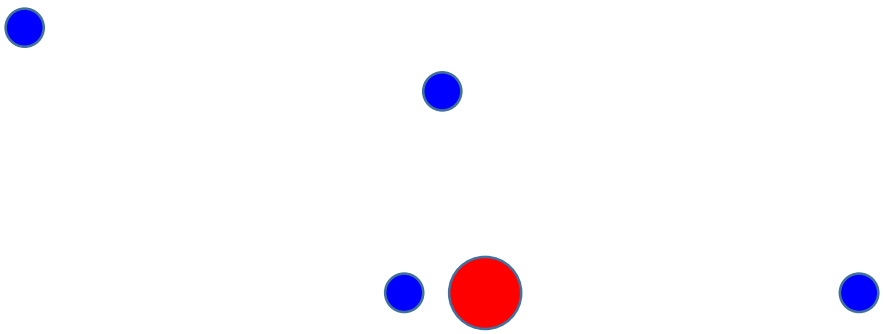
Zajedničko



Zajedničko



Zajedničko



Računanje maksimuma

- Za svaki sprej je potrebno izračunati maksimum
- Kod promjene spreja treba odrediti novi maksimum
- Dodavanje piksela **nije** problem – jedna usporedba
- Uklanjanje piksela **je** problem – *n* usporedbi

Računanje maksimuma

- Cilj je izbjeći preračunavanje maksimuma kod kojeg se pregledava cijeli sprej
- Ovaj problem moguće je riješiti pametnom organizacijom intenziteta piksela spreja
- Postoji nekoliko rješenja

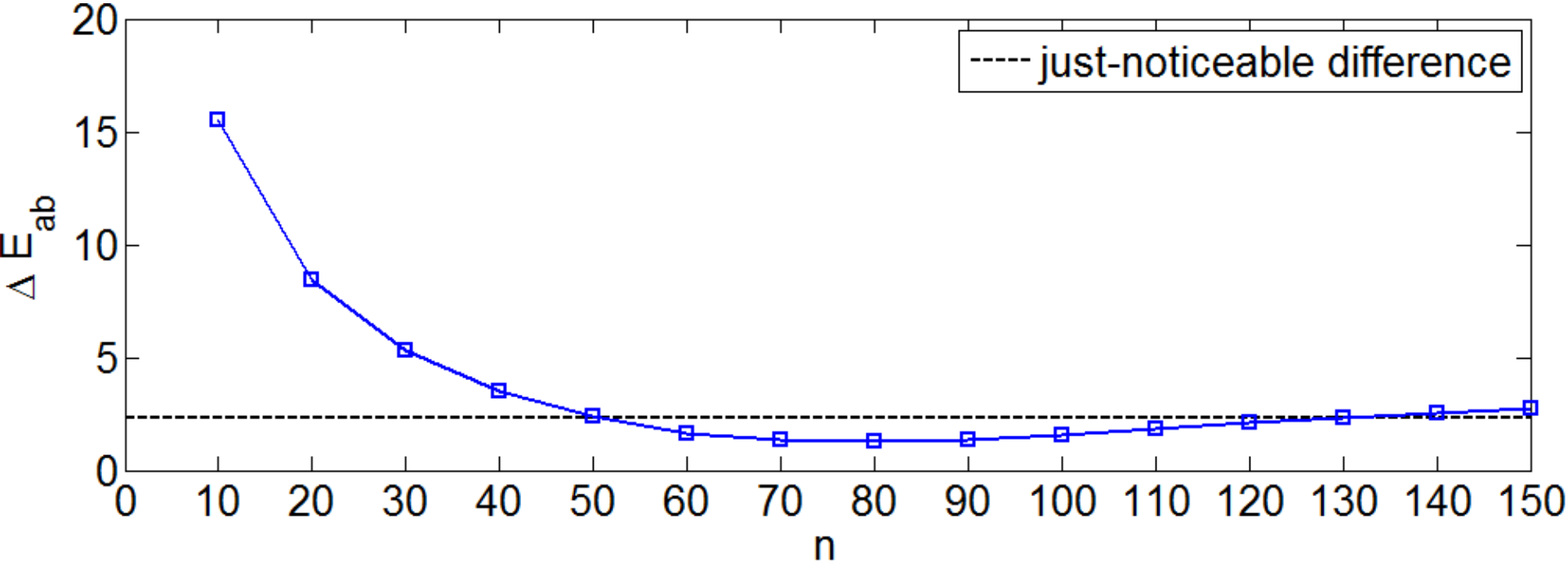
Računanje maksimuma

- Kartezijevo stablo
  - Struktura koja glumi red i omogućuje upit maksimuma
  - Umetanje nove vrijednosti: amortizirano *O(1)*
  - Uklanjanje najstarije vrijednosti: *O(1)*
  - Određivanje maksimuma: *O(1)*
- Dva stoga
  - Simulacija reda uz upit maksimuma
  - Umetanje nove vrijednosti: *O(1)*
  - Uklanjanje najstarije vrijednosti: amortizirano *O(1)*
  - Određivanje maksimuma: *O(1)*

Ubrzanje

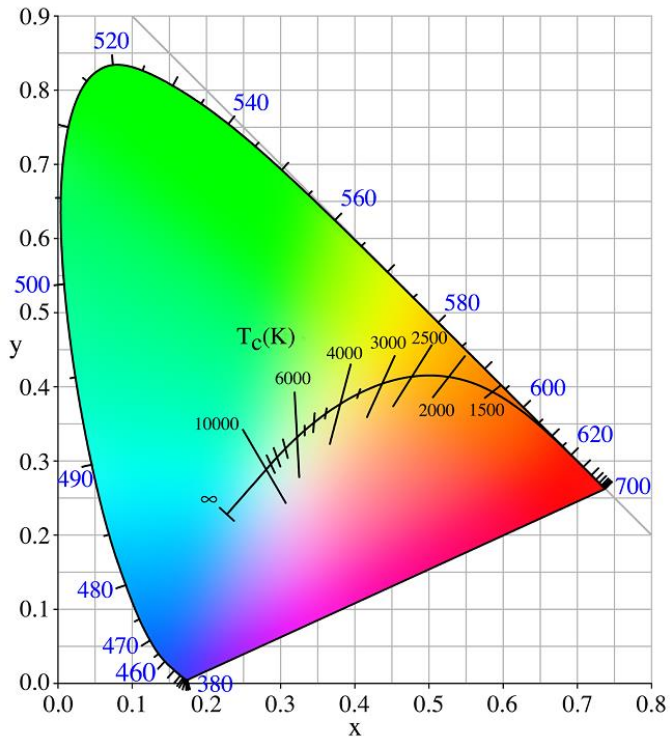
- Stara složenost:
  - $O(nM)$
- Nova složenost:
  - $O(n+M)$
- Novi algoritam:
  - Light Random Memory Sprays Retinex

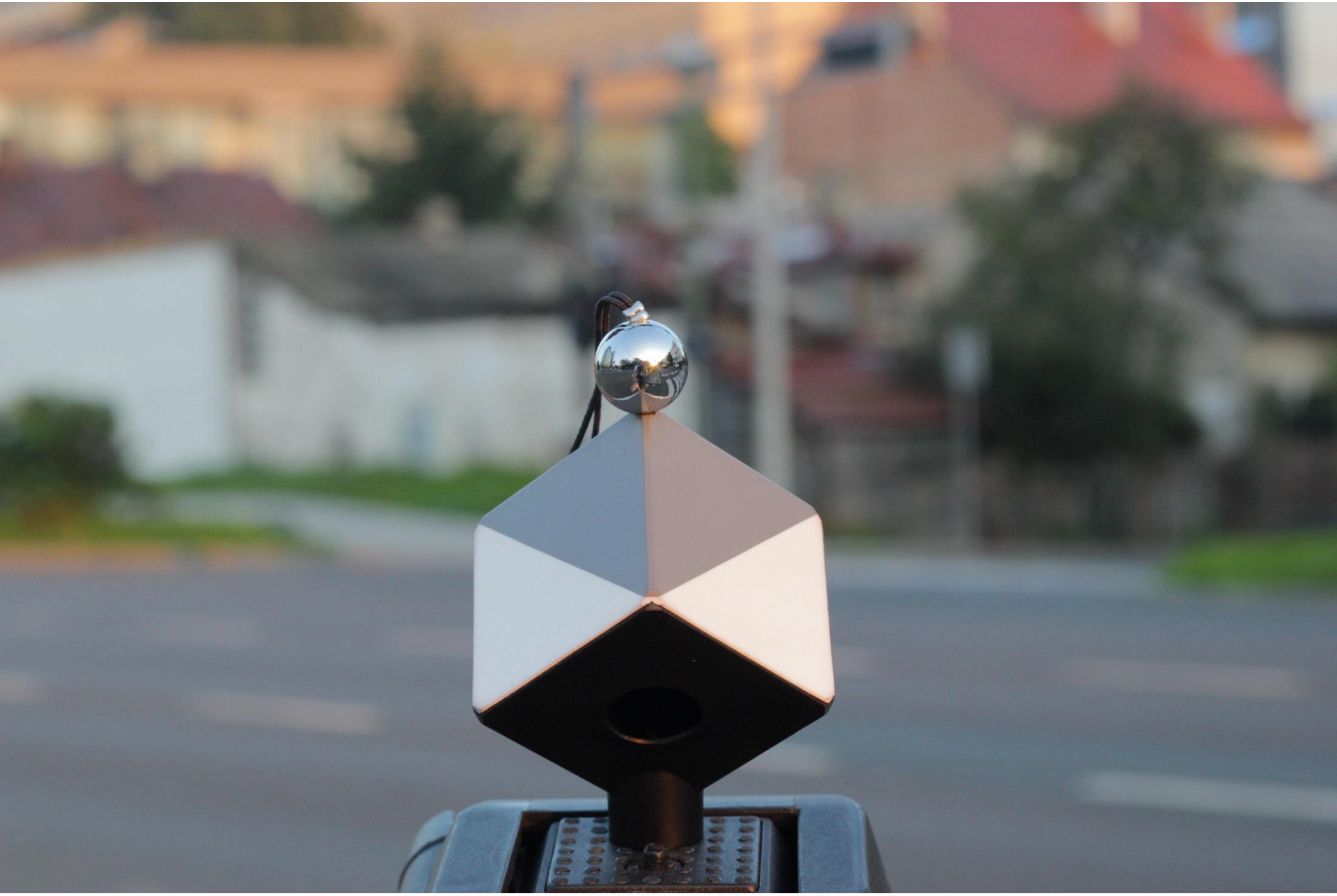
Utjecaj na rezultat



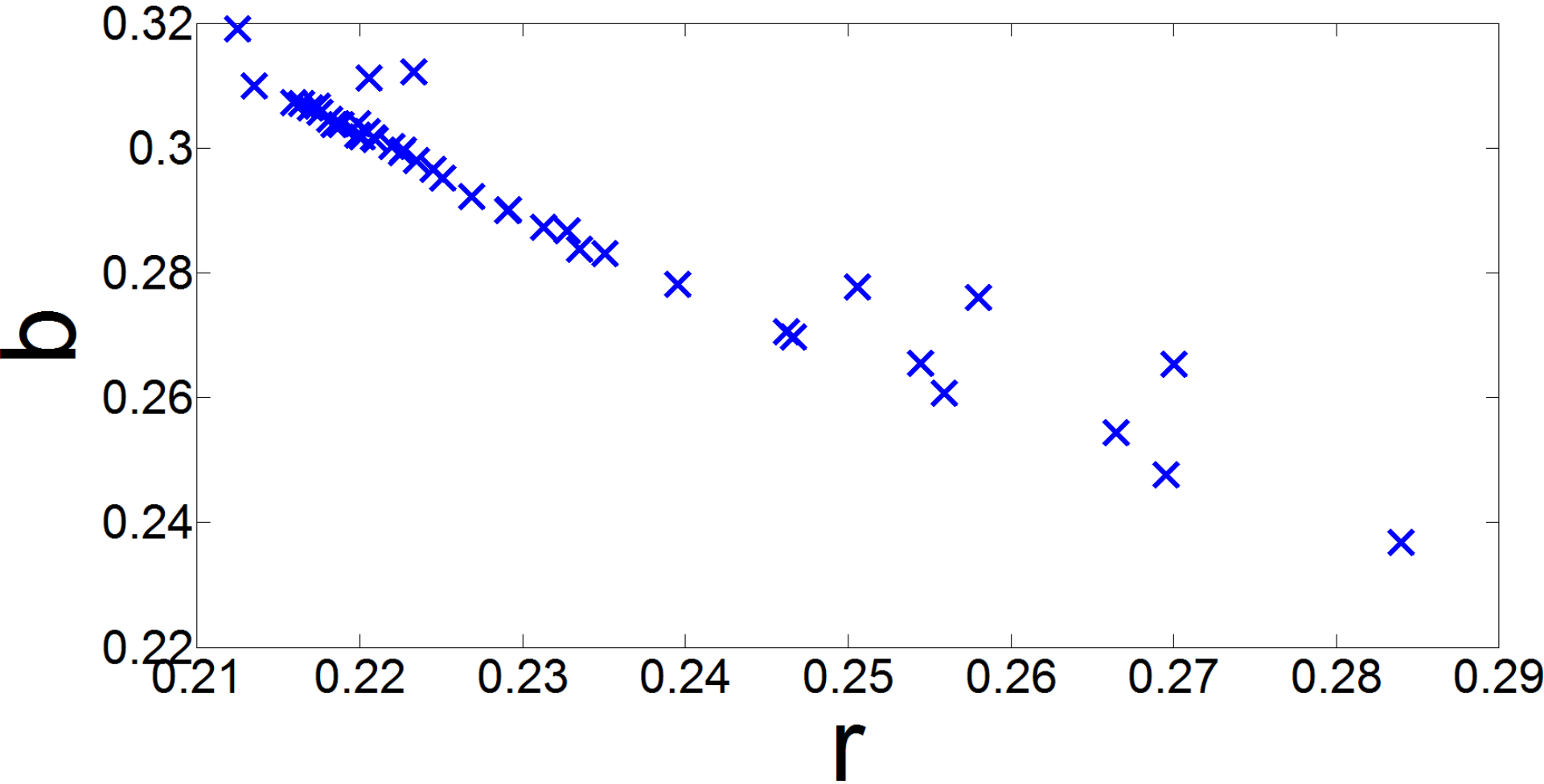
Osvjetljenje

- Većina osvjeteljenja se može modelirati zračenjem idealnog crnog tijela

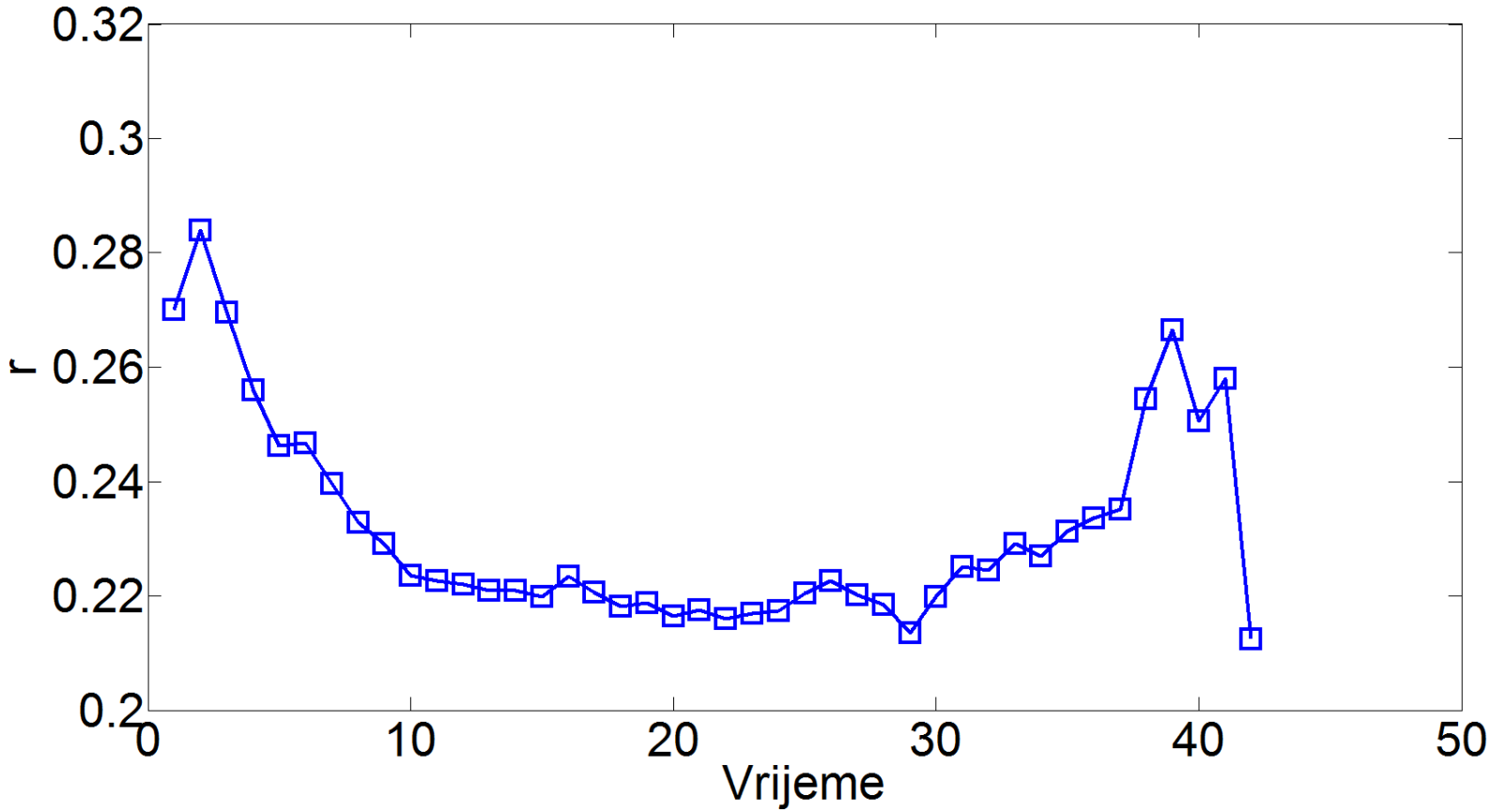




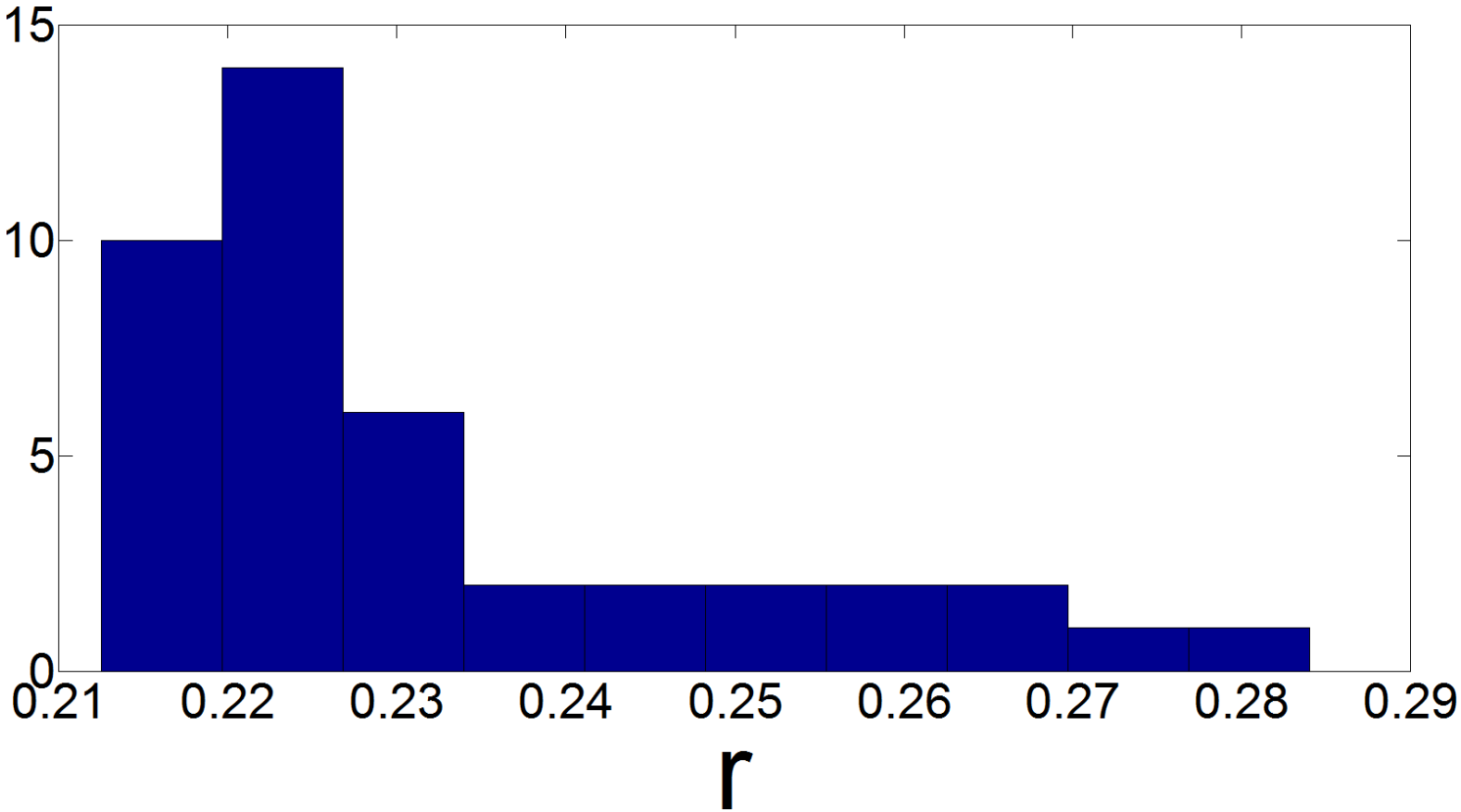
Osvjetljenje



Osvjetljenje



Osvjetljenje

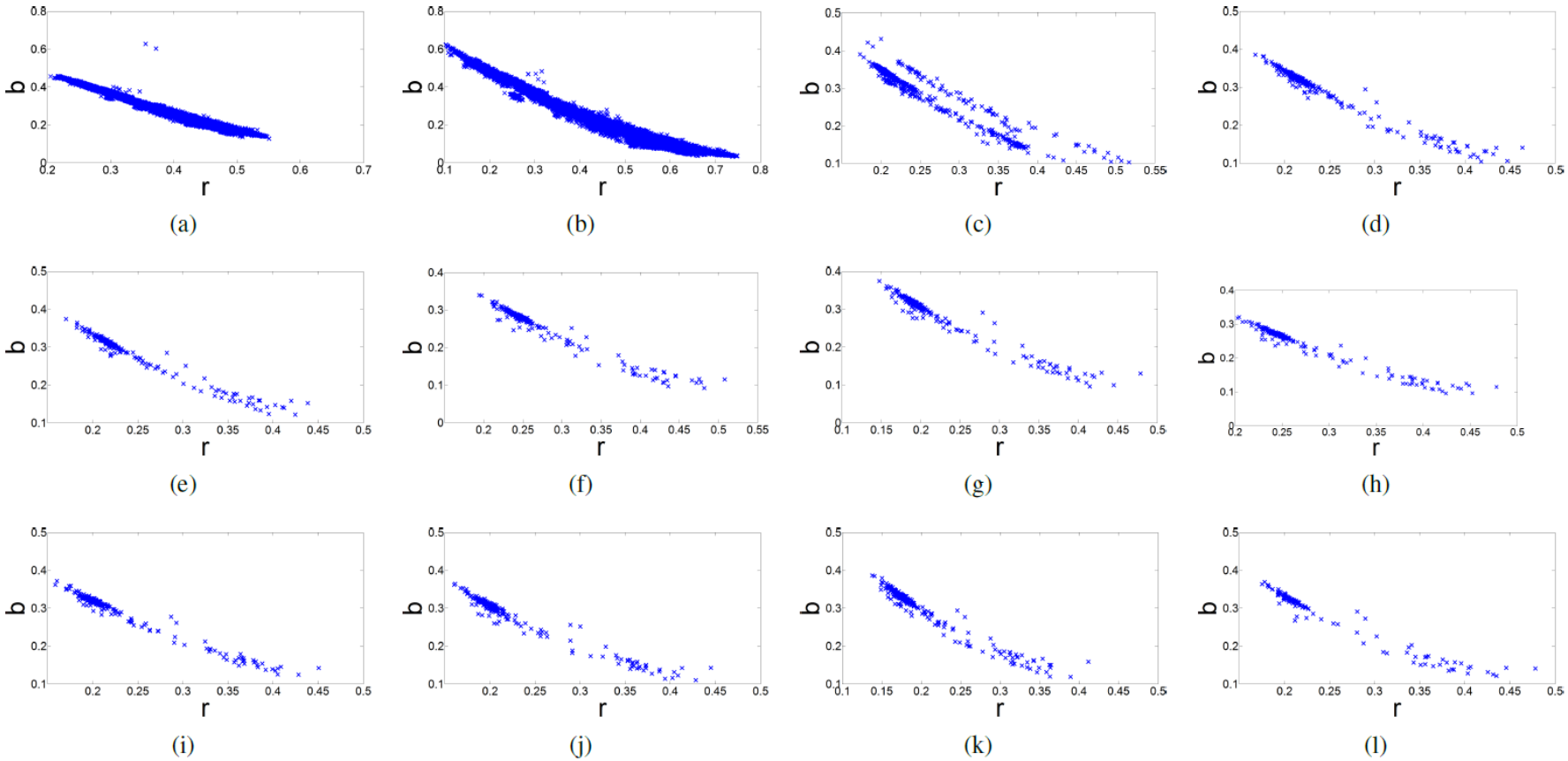


Greyball

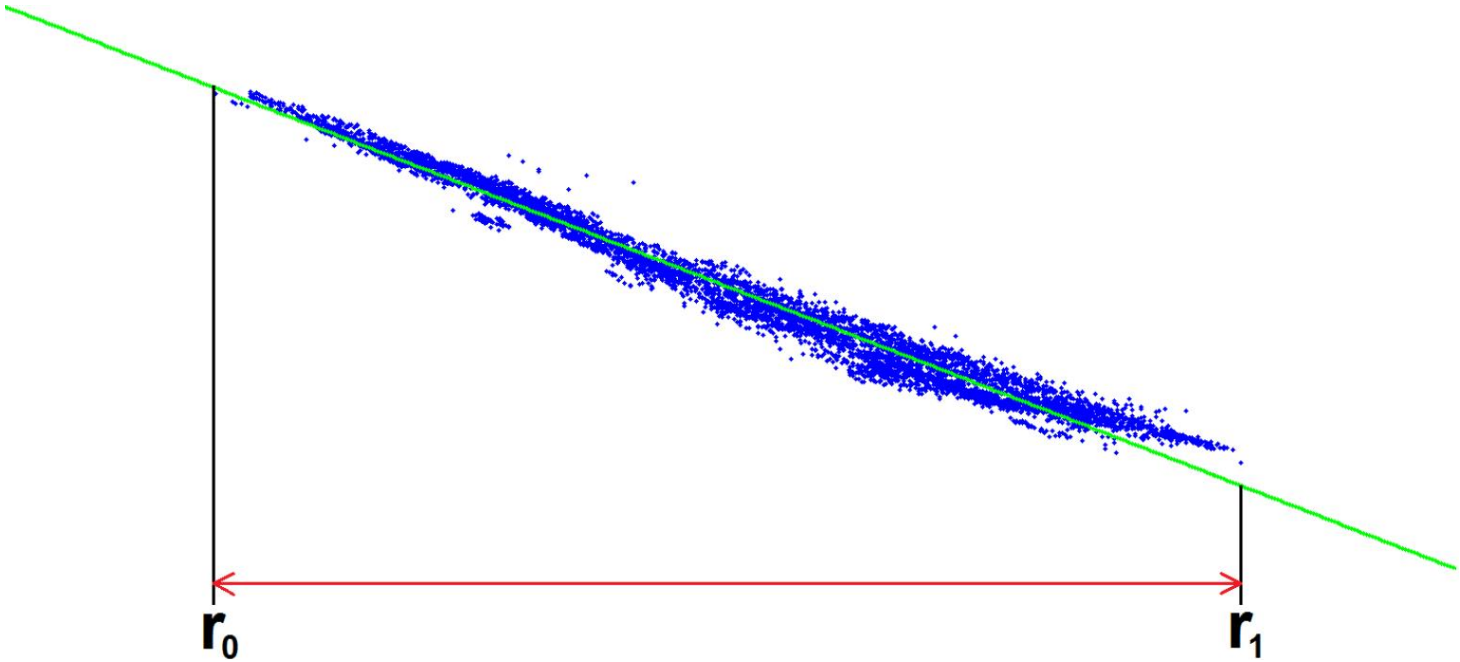
ColorChecker

NUS baze

Osvjetljenje



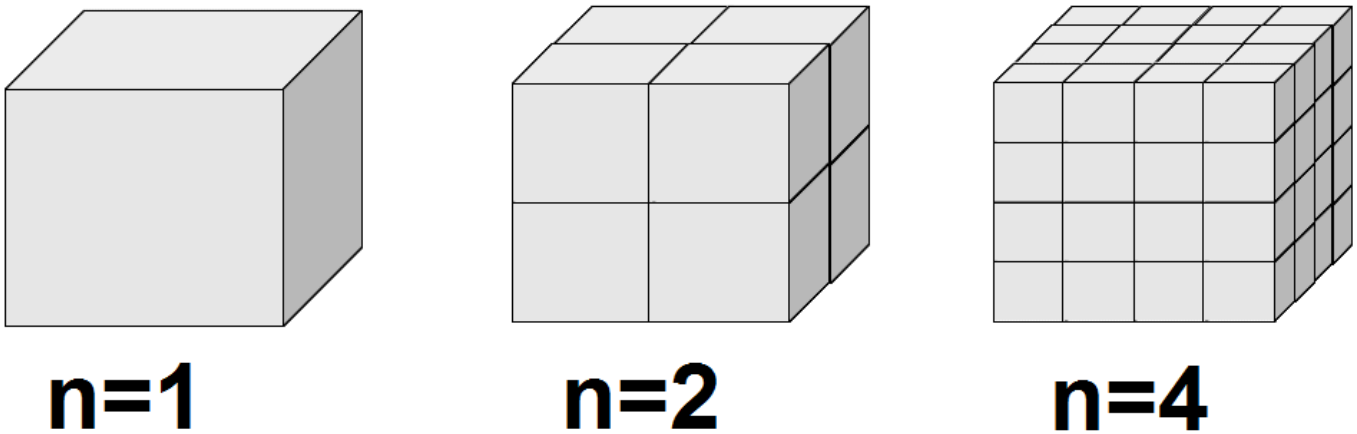
GreyBall – kromatičnosti svjetla



GreyBall – kromatičnost svjetla

$$x = \frac{r - r_0}{r_1 - r_0}$$

Distribucija boja



- Prostorne informacije ne donose ništa što ne bi donijela i raspodjela boja
- Sliku predstaviti histogramom boja
- Histogram se može dodatno sažeti (PCA)
- Hiperparametar: razlučivost histograma *n*
- Hiperparametar: broj glavnih komponenti *k*

Povezivanje

- Kako povezati distribuciju s vrijednosti *x*?
- Više je mogućnosti
- Odabrana mogućnost: linearna regresija
- Ostale testirane mogućnosti su se pokazale lošijima

Color Cat

- Rezolucija histograma: n
- Broj glavnih komponenti: k

- Histogram: $\mathbf{h} = (h_1, \ldots, h_{n^3})^T$
- PCA matrica: $\mathbf{M}$
- Koeficijenti linearne regresije: $\mathbf{c}$
- Parametri linije: a_1, a_0
- Granice crvene komponente: r_0, r_1

Color Cat

$$I = GetImage()$$
$$\mathbf{h} = I.CalculateHistogram(n)$$
$$\mathbf{h}' = \mathbf{M}\mathbf{h}$$
$$x = \mathbf{c}^T \mathbf{h}'$$
$$r = x(r_1 - r_0) + r_0$$
$$b = a_1 r + a_0$$
$$g = 1 - r - b$$
$$\mathbf{e} = (r, g, b)^T$$

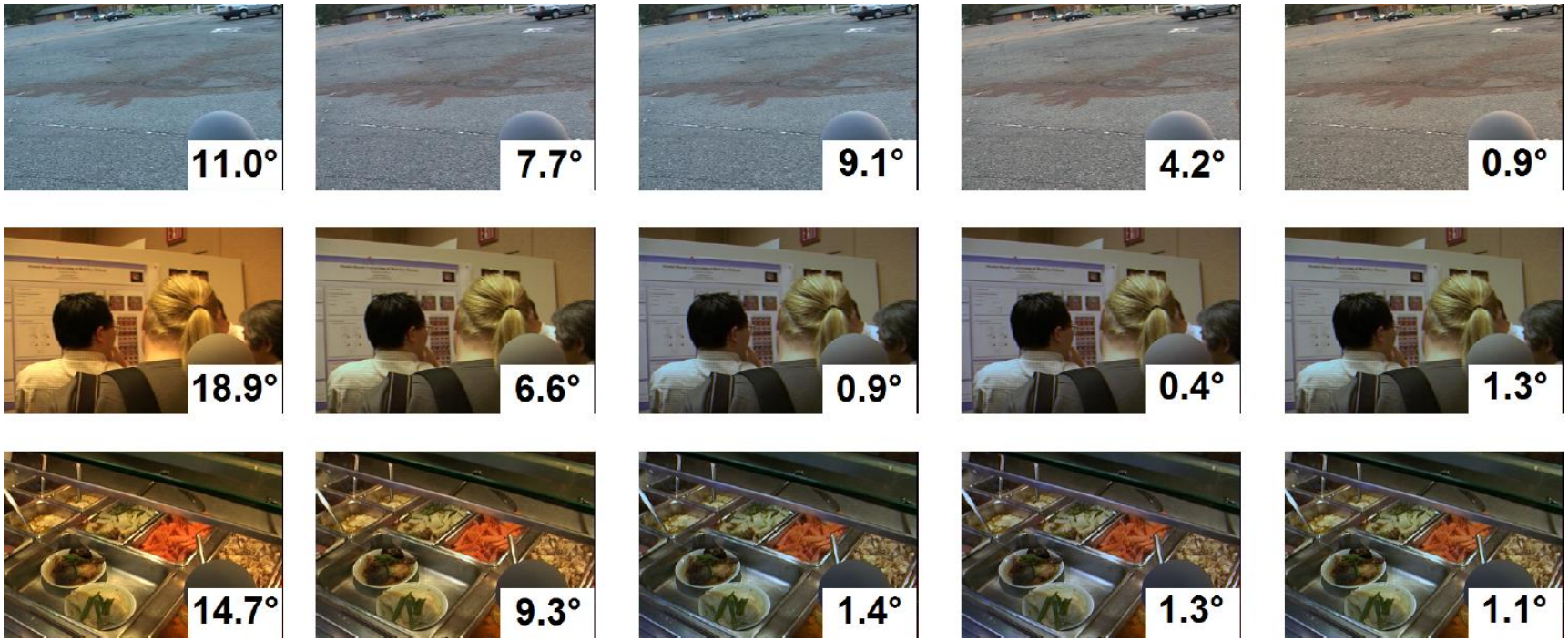
Rezultati

metoda	prosjek (°)	medijan (°)	trimean (°)	max (°)
ništa	8.3	6.7	7.3	36.8
Statističke metode				
GW	7.87	7.0	7.1	48.1
WP	6.80	5.30	5.77	38.71
SoG	6.14	5.33	5.51	41.22
general GW	6.14	5.33	5.51	41.22
GE1	5.88	4.65	5.11	41.22
GE2	6.10	4.85	5.28	41.70
Metode temeljene na učenju				
PG	7.07	5.81	6.12	41.94
EG	6.81	5.81	6.03	40.35
IG	6.93	5.80	6.05	41.88
NIS	5.19	3.93	4.31	44.49
EB	4.38	3.43	3.67	45.56
Color Cat	**4.22**	**3.17**	**3.46**	43.74

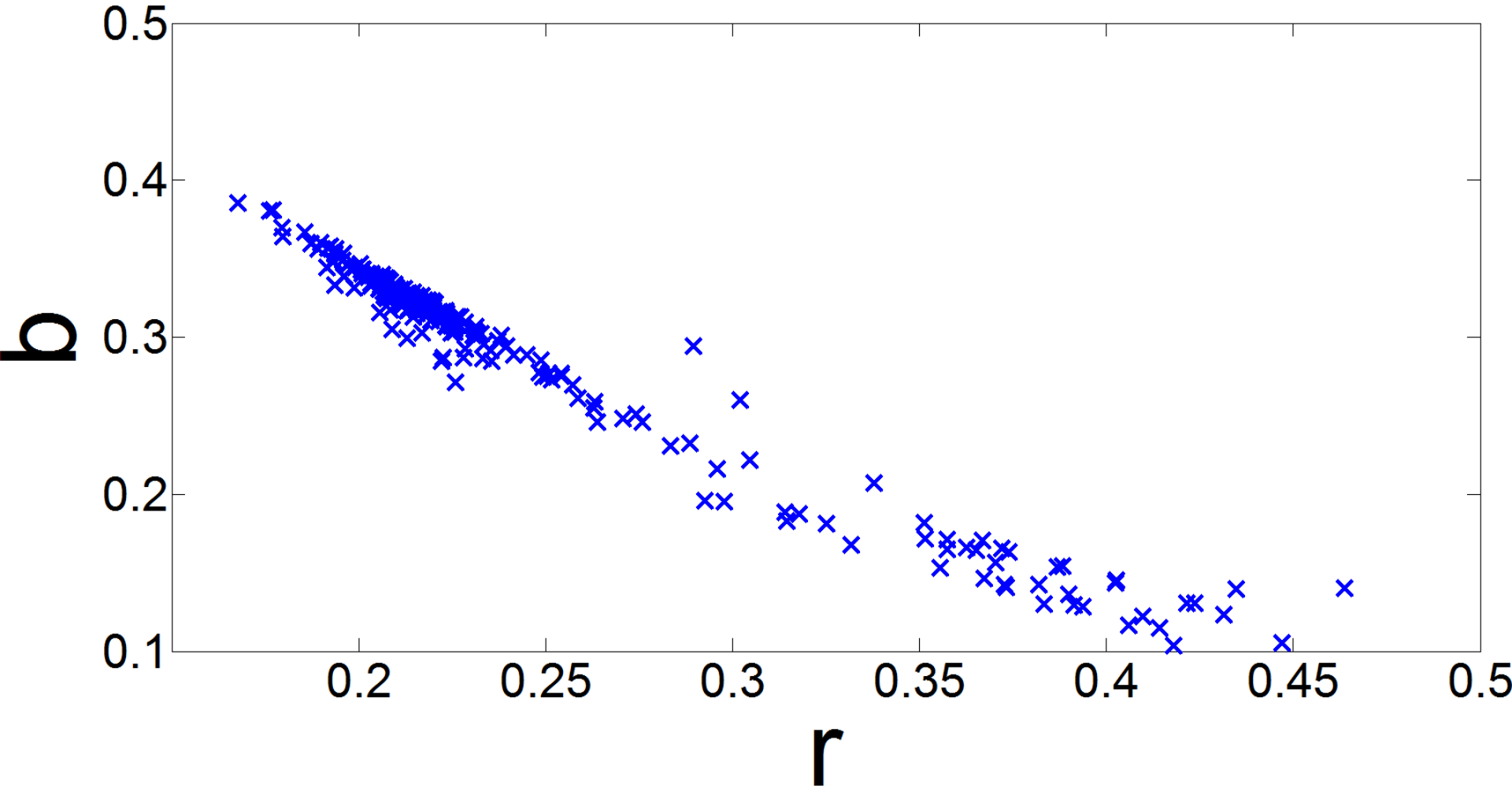
Rezultati

metoda	prosjek (°)	medijan (°)	trimean (°)	max (°)
ništa	15.62	14.00	14.56	42.26
Statističke metode				
GW	13.01	10.96	11.53	62.99
WP	12.68	10.50	11.25	46.54
SoG	11.55	9.70	10.23	58.15
general GW	11.55	9.70	10.23	58.15
GE1	10.58	8.84	9.18	58.40
GE2	10.68	9.02	9.40	56.05
Metode temeljene na učenju				
PG	11.79	8.88	9.97	49.01
EG	12.78	10.88	11.38	58.30
IG	11.81	8.93	10.00	47.49
HVLI	9.73	7.71	8.17	59.99
NIS	9.87	7.65	8.29	56.10
EB	**7.97**	**6.46**	**6.77**	53.59
Color Cat	8.73	7.07	7.43	52.42

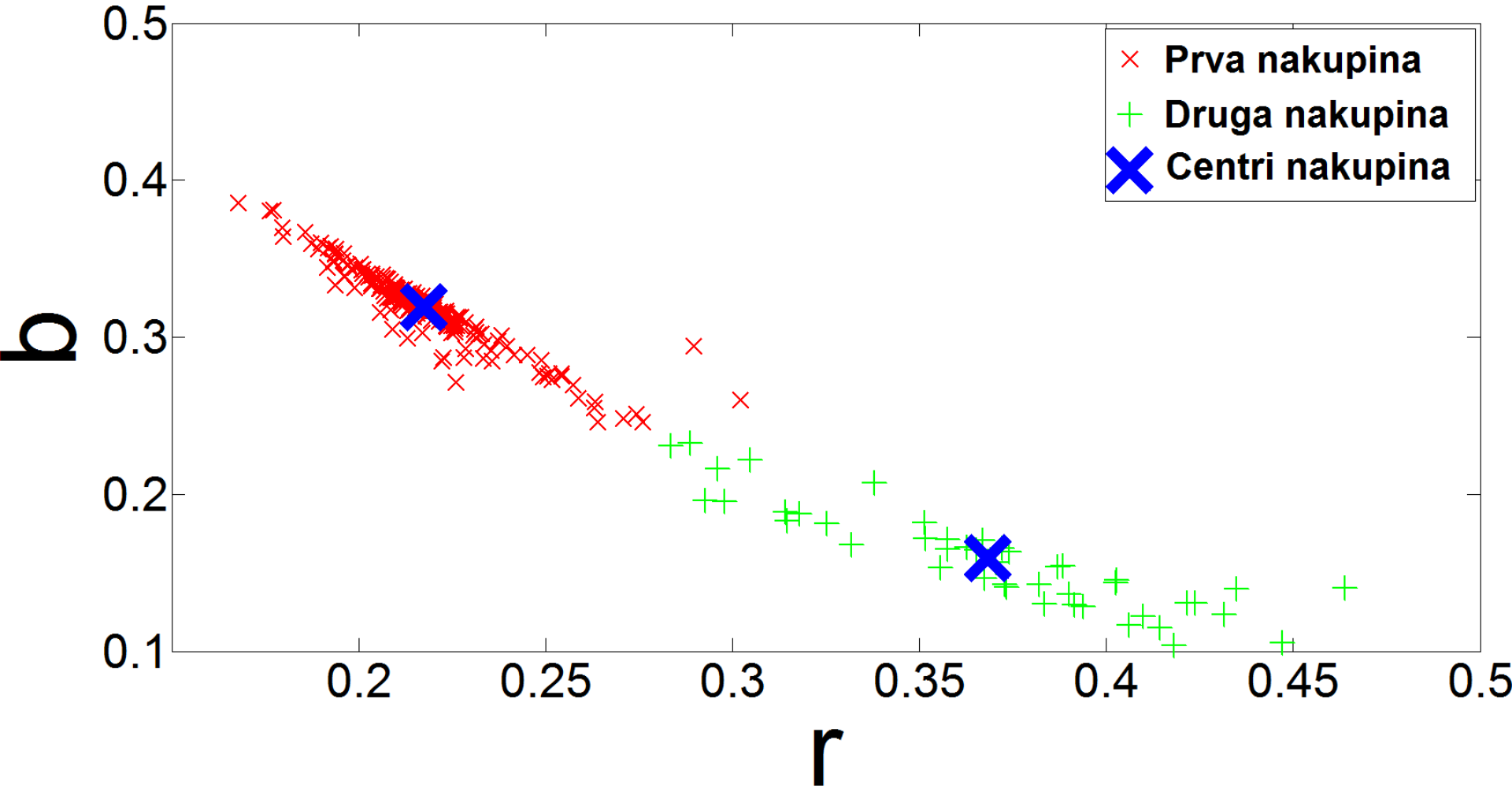
Rezultati



Drugi pristup



Drugi pristup



Drugi pristup

- Svaki centar predstavlja jedno osvjetljenje
- Odrediti najprikladniji centar za danu sliku
- Problem procjene osvjetljenja se svodi na klasifikaciju
- Što je više centara, to je veća maksimalna moguća točnost, ali je i problem klasifikacije teži

Idealna klasifikacija

Medijan kutne pogreške												
Baza	GB	linear GB	CC	Canon1	Canon2	Fuji	Nikon52	Oly	Pan	Sam	Sony	Nikon42
2 centra	3.20	6.26	4.53	1.60	1.76	1.75	1.92	1.39	1.59	1.68	1.47	2.01
3 centra	2.35	4.18	3.12	1.59	1.46	1.68	1.55	1.50	1.23	1.51	1.39	1.66
4 centra	1.83	3.40	2.82	1.40	1.23	1.24	1.24	1.11	1.12	1.20	1.13	1.41
5 centara	1.57	2.94	2.57	1.20	1.14	1.08	1.21	0.93	1.02	1.12	1.01	1.24
Srednja vrijednost kutne pogreške												
Baza	GB	linear GB	CC	Canon1	Canon2	Fuji	Nikon52	Oly	Pan	Sam	Sony	Nikon42
2 centra	3.95	7.28	5.46	2.60	2.54	2.67	2.78	2.33	2.38	2.50	2.41	2.77
3 centra	2.97	5.16	3.73	2.09	1.91	2.09	2.13	1.80	1.83	1.99	1.88	2.35
4 centra	2.21	3.95	3.34	1.84	1.67	1.76	1.85	1.57	1.57	1.64	1.60	2.08
5 centara	1.95	3.43	2.84	1.54	1.48	1.57	1.71	1.38	1.42	1.49	1.43	1.72

Postojeći pristup

- Ideja je već patentirana
- US 20140241620 A1
- Illumination Estimation Using Natural Scene Statistics
- Nema eksperimentalne analize

Postojeći pristup

- U patentu se kao značajke koriste histogrami kromatičnosti

- Ulogu klasifikatora ima multivarijatni Gaussov klasifikator

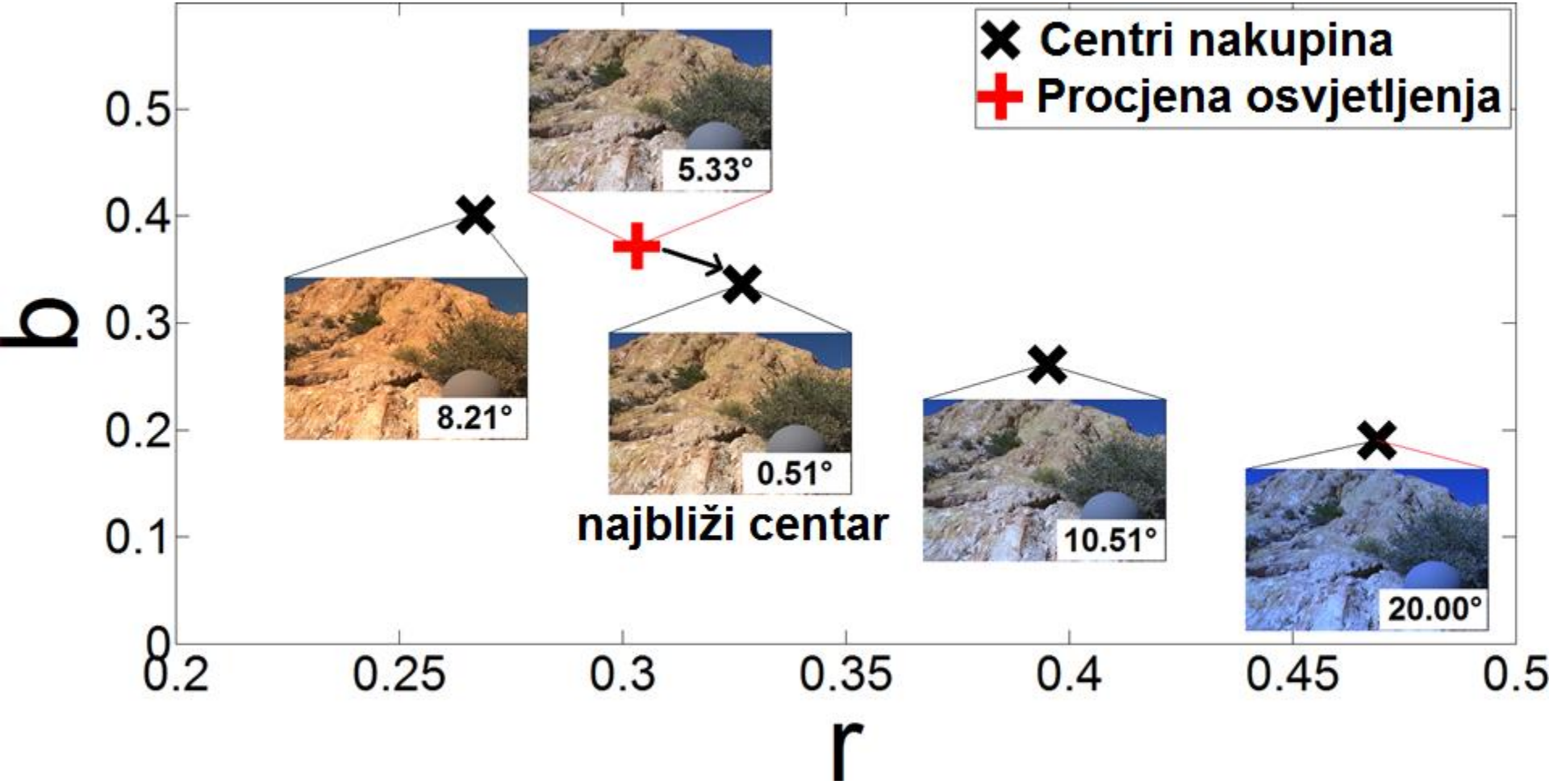
Promjena pristupa

- Korištenje histograma boja
- Ulogu klasifikatora preuzima AdaBoost (CE)
- Dodatan pokušaj: k-NN (CA)
- Mnogo manja potreba za sažimanjem histograma

Alternativni pristup

- Korištenje izračunatih centara za navođenje postojećih metoda
- Nema više potrebe za histogramima
- Jednostavna nadogradnja na gotovo bilo koju metodu
- Color Dog (CD)

Alternativni pristup



Rezultati

	Statističke metode							Metode temeljene na učenju						
Metoda	CR	CD	GW	WP	GGW	GE1	GE2	CA	$CD_{WP,GW}$	CE	IG	BL	ML	GP
Baza	Srednja kutna pogreška (°)													
Canon1	3.09	**2.93**	5.16	7.99	3.16	3.45	3.47	3.63	3.13	3.40	6.37	3.58	3.58	3.21
Canon2	2.81	2.81	3.89	10.96	3.24	3.22	3.21	3.86	2.83	3.10	14.46	3.29	2.80	**2.67**
Fuji	**2.94**	3.15	4.16	10.20	3.42	3.13	3.12	4.13	3.36	3.54	6.80	3.98	3.12	2.99
Nikon1	3.06	**2.90**	4.38	11.64	3.26	3.37	3.47	4.43	3.19	3.36	9.67	3.97	3.22	3.15
Oly	**2.65**	2.76	3.44	9.78	3.08	3.02	2.84	3.70	2.57	2.81	6.21	3.75	2.92	2.86
Pan	2.89	2.96	3.82	13.41	3.12	2.99	2.99	3.66	2.84	**2.75**	5.28	3.41	2.93	2.85
Sam	2.94	**2.91**	3.90	11.97	3.22	3.09	3.18	4.23	2.92	2.94	6.80	3.98	3.11	2.94
Sony	**2.88**	2.93	4.59	9.91	3.20	3.35	3.36	3.86	2.83	3.29	5.32	3.50	3.24	3.06
Nikon2	**3.57**	3.81	4.60	12.75	4.04	3.94	3.95	4.23	3.37	4.37	11.27	4.91	3.80	3.59
Baza	Medijan kutne pogreške (°)													
Canon1	2.08	2.01	4.15	6.19	2.35	2.48	2.44	**1.69**	1.72	1.96	4.72	2.80	2.80	2.67
Canon2	1.86	1.89	2.88	12.44	2.28	2.07	2.29	1.93	1.85	**1.77**	14.72	2.35	2.32	2.03
Fuji	1.84	2.15	3.30	10.59	2.60	1.99	2.00	1.80	1.81	**1.73**	5.90	3.20	2.70	2.45
Nikon1	1.91	2.08	3.39	11.67	2.31	2.22	2.19	1.81	1.94	**1.68**	9.24	3.10	2.43	2.26
Oly	1.79	1.87	2.58	9.50	2.15	2.11	2.18	**1.48**	1.46	1.58	4.11	2.81	2.24	2.21
Pan	1.70	2.02	3.06	18.00	2.23	2.16	2.04	1.62	1.69	**1.39**	4.23	2.41	2.28	2.22
Sam	1.88	2.03	3.00	12.99	2.57	2.23	2.32	1.85	1.89	**1.74**	6.37	3.00	2.51	2.29
Sony	2.10	2.33	3.46	7.44	2.56	2.58	2.70	1.90	1.77	**1.69**	3.81	2.36	2.70	2.58
Nikon2	2.42	2.72	3.44	15.32	2.92	2.99	2.95	**1.93**	2.12	2.12	11.32	3.53	2.99	2.89
Baza	Trimean kutne pogreške (°)													
Canon1	2.56	2.22	4.46	6.98	2.50	2.74	2.70	2.09	**2.08**	2.23	5.13	2.97	2.97	2.79
Canon2	2.17	2.12	3.07	11.40	2.41	2.36	2.37	2.25	2.07	**2.01**	14.80	2.40	2.37	2.18
Fuji	2.13	2.41	3.40	10.25	2.72	2.26	2.27	2.16	2.20	**2.08**	6.19	3.33	2.69	2.55
Nikon	2.23	2.19	3.59	11.53	2.49	2.52	2.58	2.34	2.14	**2.01**	9.35	3.36	2.59	2.49
Oly	2.01	2.05	2.73	9.54	2.35	2.26	2.20	1.90	**1.72**	1.79	4.63	3.00	2.34	2.28
Pan	2.12	2.31	3.15	14.98	2.45	2.25	2.26	1.99	1.87	**1.71**	4.49	2.58	2.44	2.37
Sam	2.18	2.22	3.15	12.45	2.66	2.32	2.41	2.30	2.05	**2.00**	6.40	3.27	2.63	2.44
Sony	2.26	2.42	3.81	8.78	2.68	2.76	2.80	2.23	**2.03**	2.08	4.13	2.57	2.82	2.74
Nikon	2.67	3.10	3.69	13.80	3.22	3.21	3.38	2.43	**2.38**	2.54	11.30	4.00	3.11	2.96
Baza	Maksimalna kutna pogreška (°)													
Canon1	15.77	16.20	22.37	39.12	16.72	17.69	**15.73**	29.04	23.02	24.20	28.96	13.54	13.54	16.62
Canon2	**14.67**	17.33	15.93	22.76	18.38	17.86	17.68	25.96	15.22	23.66	22.59	15.60	15.43	15.54
Fuji	21.39	21.16	21.06	25.10	20.83	22.79	24.44	26.80	22.74	26.21	19.68	18.32	18.75	**15.07**
Nikon	16.35	**15.50**	20.61	53.08	15.54	23.57	24.33	28.54	18.09	21.03	33.73	17.85	17.65	16.63
Oly	18.26	23.28	16.46	25.11	22.20	20.57	19.58	26.53	18.67	18.67	34.03	22.22	15.14	**14.21**
Pan	19.58	16.59	16.74	23.89	17.61	21.15	20.03	25.68	21.83	17.52	24.75	19.51	15.29	**14.54**
Sam	15.70	15.52	17.32	23.99	**12.41**	20.90	20.85	25.37	19.13	18.24	18.35	18.12	15.76	14.04
Sony	14.77	**12.39**	17.84	39.78	17.89	15.04	15.78	22.00	16.42	23.84	50.42	18.05	15.63	14.78
Nikon	**14.29**	17.20	18.35	22.91	18.24	19.00	20.94	25.30	18.40	28.85	22.70	21.12	17.70	16.96

Rezultati

metoda	prosjek (°)	medijan (°)	trimean (°)	max (°)
ništa	8.3	6.7	7.3	36.8
Statističke metode				
GW	7.9	7.0	7.1	48.1
WP	6.8	5.3	5.8	38.7
SoG	6.1	5.3	5.5	41.2
general GW	6.1	5.3	5.5	41.2
GE1	5.9	4.7	5.1	41.2
GE2	6.1	4.9	5.3	41.7
BP	5.6	4.6	5.3	41.7
Metode temeljene na učenju				
PG	7.1	5.8	6.1	41.9
EG	6.8	5.8	6.0	40.3
IG	6.9	5.8	6.1	41.9
NIS	5.2	3.9	4.3	44.5
EB	**4.4**	3.4	**3.7**	45.6
CA	6.2	4.8	5.1	44.5.7
CD_{EB}	4.7	**3.1**	**3.7**	46.2
CE	5.4	3.6	4.1	48.7

Rezultati

metoda	prosjek (°)	medijan (°)	trimean (°)	max (°)
ništa	15.6	14.0	14.6	42.3
Statističke metode				
GW	13.0	11.0	11.5	63.0
WP	12.7	10.5	11.3	46.5
SoG	11.6	9.7	10.2	58.1
general GW	11.6	9.7	10.2	58.1
GE1	10.6	8.8	9.2	58.4
GE2	10.7	9.0	9.4	56.0
Metode temeljene na učenju				
PG	11.8	8.9	10.0	49.0
EG	12.8	10.9	11.4	58.3
IG	11.8	8.9	10.0	47.5
HVLI	9.7	7.7	8.3	60.0
NIS	9.9	7.7	8.3	56.1
EB	**8.0**	6.5	6.8	53.6
CA	11.3	7.5	8.7	59.6
CD_{EB}	8.5	**5.6**	**6.7**	53.3
CE	9.8	5.9	7.4	54.7

Zaključak

- Postojanost boja je zahtjevan i loše postavljem problem
- Korištenje distribucije može uvelike povećati točnost procjene osvjetljenja
- Vrijedi proučiti na koje se još načine distribucija osvjetljenja može iskoristiti za bolju procjenu osvjetljenja

That's all Folks!