



UNIVERZITET U SARAJEVU  
ELEKTROTEHNIČKI FAKULTET SARAJEVO  
ODSJEK ZA RAČUNARSTVO I INFORMATIKU



# Algoritmi za detekciju kože: algoritmi bazirani na prostorima boja i algoritmi bazirani na naivnom Bayesovom klasifikatoru

Seminarski rad iz predmeta  
Prepoznavanje oblika i obrada slike

**Autor:**  
Hanna Bojadžić

Sarajevo, januar 2019. godine

# **Algoritmi za detekciju kože: algoritmi bazirani na prostorima boja i algoritmi bazirani na naivnom Bayesovom klasifikatoru**

**Hanna Bojadžić**

## **Sažetak**

Boja kože pokazala se kao koristan i robustan alat za detekciju lica, lokalizaciju i praćenje. Filtriranje sadržaja te kompresija videa također imaju koristi od automatske detekcije kože na slikama. Predložene su mnoge tehnike za modeliranje kože tokom prošlih godina. U ovom radu napravljena je analiza nekoliko tehnika za detekciju kože bazirana na prostorima boja. Odrađena je i konkretna implementacija za pixel baziranu detekciju kože. Napravljena je analiza RGB, YCrCb i HSV prostora boja te naivnog Bayes-ovog algoritma. Pokazano je da klasifikacija na kožu i ne-kožu uveliko ne ovisi od odabira prostora boja.

## **Algorithms for skin detection: algorithms based on color spaces and algorithms based on naive Bayes**

**Hanna Bojadžić**

## **Abstract**

Skin color has proven to be a useful and robust cue for face detection, localization and tracking. Image content filtering and video compression can also benefit from automatic detection of skin in images. Numerous techniques for skin color modelling and recognition have been proposed during several past years. In this work couple of techniques for skin detection based on color spaces are analyzed. It shows implementation for pixel based skin detection. At the end, RGB, YCrCb and HSV color spaces and naive Bayes are analyzed. It is showed that the separability of the skin and no skin classes is independent of the color space chosen.

# Sadržaj

<b>1 Uvod</b>	<b>3</b>
1.1 Ciljevi . . . . .	3
1.2 Struktura rada . . . . .	3
<b>2 Problem detekcije kože</b>	<b>4</b>
2.1 Naivni Bayes klasifikator . . . . .	4
2.2 Tehnike detekcije bazirane na bojama . . . . .	5
2.2.1 RGB . . . . .	5
2.2.2 HSI, HSV, HSL . . . . .	6
2.2.3 YCrCb . . . . .	6
<b>3 Implementacija</b>	<b>7</b>
3.1 Tehnike detekcije bazirane na bojama . . . . .	7
3.2 Naivni Bayes klasifikator . . . . .	9
<b>4 Rezultati</b>	<b>11</b>
4.1 Usporedba implementiranih metoda . . . . .	11
4.2 Analiza rezultata . . . . .	12
<b>5 Zaključak</b>	<b>14</b>
<b>Literatura</b>	<b>15</b>

# Slike

3.1	Originalna slika prije detekcije - RGB . . . . .	7
3.2	Maska detekcije - RGB . . . . .	7
3.3	Detekcija kože - RGB . . . . .	7
3.4	Originalna slika prije detekcije - HSV . . . . .	8
3.5	Maska detekcije - HSV . . . . .	8
3.6	Detekcija kože - HSV . . . . .	8
3.7	Originalna slika prije detekcije - YCrCb . . . . .	8
3.8	Maska detekcije - YCrCb . . . . .	8
3.9	Detekcija kože - YCrCb . . . . .	8
3.10	Originalna slika prije detekcije - HSV i YCrCb . . . . .	9
3.11	Maska detekcije - HSV i YCrCb . . . . .	9
3.12	Detekcija kože - HSV i YCrCb . . . . .	9
3.13	Originalna slika - Bayes . . . . .	10
3.14	Rezultat detekcije - Bayes . . . . .	10
4.1	Originalna slika za testiranje 1 . . . . .	11
4.2	Detekcija kože za RGB prostor boja 1 . . . . .	11
4.3	Detekcija kože za HSV prostor boja 1 . . . . .	11
4.4	Detekcija kože za YCrCb prostor boja 1 . . . . .	11
4.5	Detekcija kože za YCrCb i HSV prostor boja 1 . . . . .	11
4.6	Detekcija kože Bayes-ovim naivnim algoritmom 1 . . . . .	11
4.7	Originalna slika za testiranje 2 . . . . .	12
4.8	Detekcija kože za RGB prostor boja 2 . . . . .	12
4.9	Detekcija kože za HSV prostor boja 2 . . . . .	12
4.10	Detekcija kože za YCrCb prostor boja 2 . . . . .	12
4.11	Detekcija kože za YCrCb i HSV prostor boja 2 . . . . .	12
4.12	Detekcija kože Bayes-ovim naivnim algoritmom 2 . . . . .	12
4.13	ROC(Reciever Operating Characteristic) krive[20] . . . . .	13

# Uvod

## 1.1 Ciljevi

Detekcija lica te praćenje lica je postalo značajno polje istraživanja posljednjih par desetljeća. Među metodama detekcije lica baziranim na ekstrakciji osobina, veliku popularnost su do bile one bazirane na koži. Detektori bazirani na bojama omogućavaju brzo procesiranje i veliku robusnost.

Cilj ovog rada je prikazati značaj prostora boja za detekciju kože te analiza odabira optimalnog prostora boja i metoda za detekciju. Analiza se vrši na osnovu poznatih podataka iz literature te rezultata konkretne implementacije izvršene u okviru rada. Također, odradena je analiza upotrebe naivnog Bayes-ovog klasifikatora za detekciju kože.

## 1.2 Struktura rada

U prvom dijelu objašnjene su teorijske osnove prostora boja te Bayes-ovog naivnog klasifikatora. Date su osnovne formule te objašnjena važnost navedenih metoda za detekciju kože.

U drugom dijelu opisana je implementacija uključujući programski jezik, korištene biblioteke te princip rada. Također prikazani su rezultati implementacije za svaku implementiranu metodu, različite prostore boja te naivni Bayes-ov algoritam.

Nakon toga napravljena je analiza rezultata dobijena implementacijom te globalna analiza uključujući rezultate iz literature.

U zadnjem poglavlju izložen je konačni zaključak baziran na svemu predstavljenom u prethodnim poglavljima.

# Problem detekcije kože

Detekcija kože ima različite primjene, uključujući detekciju lica, praćenje dijelova tijela i analizu gestikulacije rukama, te blokiranje sumnjivog sadržaja.

Detekcija lica te praćenje lica je postalo značajno polje istraživanja posljednjih par desetljeća. Predložene su mnoge heurističke strategije, te strategije bazirane na prepoznavanju oblika. Među metodama detekcije lica baziranim na ekstrakciji osobina, veliku popularnost su do bile one bazirane na koži. Boje omogućavaju brzo procesiranje i veliku robusnost. Također, eksperimenti pokazuju da ljudska koža ima karakterističnu boju koju ljudi lako prepoznaju, te je ideja modeliranja na bazi boje kože ideja koja ima smisla.[1]

U ovom radu razmotrene su pixel-bazirane metode detekcije kože, koje svaki pixel klasificiraju kao pixel kože ili ne, neovisno od susjeda. Nasuprot tome, metode bazirane na regionima[3] [2] uzimaju u obzir prostornu raspodjelu pixela u fazi detekcije čime se pokušavaju popraviti performanse.

Neka je  $I$  slika, a  $p$  pixel slike  $I$  i  $x_p$  vektor vrijednosti pixela  $p$  u prostoru boja  $C$ . Funkcija  $D(x_p)$  naziva se detektor boje kože u  $C$  ako:

$$D(x_p) = \begin{cases} 1 & \text{ako je } x_p \text{ koža} \\ 0 & \text{ako } x_p \text{ nije koža} \end{cases}$$

## 2.1 Naivni Bayes klasifikator

U mašinskom učenju, naivni Bayes-ovi klasifikatori su familija jednostavnih klasifikatora zasnovanih na vjerovatnoći koji se oslanjaju na primjenu Bayes-ovog teorema sa strogim pretpostavkama ovisnosti među osobinama.

Treniranje sa najvećom vjerovatnosti može se dobiti u linearном vremenu, nasuprot eksistenzivnom iterativnom aproksimacijom koja se koristi u mnogim drugim klasifikatorima.

Naivni Bayes je jednostavna tehnika za izgradnju klasifikatora: modela koji pridružuju labelu klase instanci problema, prezentirane kao vektori vrijednosti osobina. Ne postoji jedinstven algoritam za treniranje ovakvih klasifikatora, već familija algoritama bazirana na zajedničkom principu: svi naivni Bayes-ovi klasifikatori prepostavljaju da je vrijednost odredene osobine neovisna od vrijednosti ostalih osobina. Bayesovi naivni klasifikatori posmatraju svaku osobinu zasebno bez obzira da li postoje neke veze između tih osobina.

Bayes-ov naivni klasifikator koristi Bayes-ov teorem za uslovnu vjerovatnoću.

$$p(C_k | \mathbf{x}) = \frac{p(C_k) p(\mathbf{x} | C_k)}{p(\mathbf{x})}$$

Naivni Bayes-ov klasifikator kombinira naivni Bayes-ov probabilistički model sa pravilom odlučivanja. Jedno od češćih pravila je odabir hipoteze koja je najvjerojatnija, koja se naziva *maximum a posteriori* ili MAP pravilo odlučivanja. Tako da je odgovarajući klasifikator funkcija koja pridružuje labelu klase za neko  $k$ [15]:

$$\hat{y} = \underset{k \in \{1, \dots, K\}}{\operatorname{argmax}} p(C_k) \prod_{i=1}^n p(x_i | C_k).$$

## 2.2 Tehnike detekcije bazirane na bojama

Pri gradnji sistema koji koristi boju kao osobinu, obično se susreću neki glavni problemi. Najprije, koji prostor boja izabrati, te kako bi tačno trebalo modelirati distribuciju boje kože. Ambijentna svjetlost je bitan faktor koji utiče na boju kože, a različite kamere produciraju različite boje čak i za iste osobe pod istim osvjetljenjem. Predloženi su različiti prostori boja za detekciju boje kože.

YCrCb je prostor boja široko rasprostranjen jer pixeli kože formiraju kompaktni klasifer u Cr-Cb ravni. Pošto se YCrCb koristi u kodiranju videa ovaj prostor boja koristi se za primjenu detekcije kože gdje je video sekvenca kompresovana [10][11].

HSV prostor boja predložen je jer je povezan sa ljudskom percepcijom boja[12][13], dok su dvije komponente RGB prostora boja R i G predložene za minimiziranje ovisnosti o svjetlosti[14].

### 2.2.1 RGB

RGB prostor boja je bilo koji aditivni prostor boja baziran na RGB modelu[7]. Definiran je tri boje crvena, plava i zelena koje predstavljaju primarne aditive od kojih se mogu dobiti sve ostale boje definisane trouglom koji definiraju primarne boje[9].

RGB je pogodan model prostora boja za računarsku grafiku jer ljudski vizuelni sistem radi na sličan način, iako ne identičan.

Peer klasificira pixel kao kožu ukoliko vrijedi sljedeće:  $R > 95$  i  $G > 40$  i  $B > 20$  i  $\max\{R, G, B\} - \min\{R, G, B\} > 15$  i  $|R-G| > 15$  i  $R > G$  i  $R > B$ [4].

Jednostavnost ovog metoda privukla je i još uvek privlači mnoge. Očigledna prednost ove metode je jednostavnost pravila detekcije kože koja dovodi do izgradnje jako brzog klasifikatora.

## 2.2.2 HSI, HSV, HSL

HSL (hue, saturation, lightness) i HSV (hue, saturation, value) su alternativne reprezentacije RGB prostora boja, dizajnirane u 1970-im radi približavanja načinu kako ljudska percepcija percipira atributte boja. U ovim modelima, boje svake nijanse su raspoređene u kružni presjek u opsegu od crne na dnu do bijele na vrhu. HSV reprezentacija modelira način na koji se farbe miješaju zajedno, pri čemu dimenzija saturacije, tj. zasićenja, označava različite nijanse jarko obojene farbe, dok dimenzija vrijednosti predstavlja mješavinu tih farbi sa različitim nivoima crne ili bijele farbe.

Poynton daje sljedeće formule za računanje vrijednosti H, S i V iz R, G i B [8].

$$\begin{aligned} H &= \arccos \frac{\frac{1}{2}((R-G)+(R-B))}{\sqrt{((R-G)^2+(R-B)(G-B))}} \\ S &= 1 - 3 \frac{\min(R, G, B)}{R+G+B} \\ V &= \frac{1}{3}(R+G+B) \end{aligned}$$

## 2.2.3 YCrCb

YCrCb je familija prostora boja koju najčešće koriste evropski televizijski studiji za kompresiju slika[1]. Y je komponenta *luma* (predstavlja osvjetljenje) a Cb i Cr su plava-razlika i crvena-razlika komponenti nijansi.

Intuitivnost prostora boja te eksplisitna razlika između *luminance* (osvjetljenje) i *chrominance* (nijanse) osobina učinili su ove prostore boja izuzetno popularne u segmentaciji boje kože[5] [6].

Vrijednosti komponenti se mogu dobiti na sljedeći način iz RGB:

$$Y = 0.299R + 0.587G + 0.114B$$

$$C_r = R - Y$$

$$C_b = B - Y$$

# Implementacija

Kod korišten za testiranje prethodnih metoda pisan je u pythonu a u nastavku su prikazane osnovne ideje implementacije te rezultati implementacije. Sve implementirane metode su pixel bazirane, tj. klasificiraju svaki pixel posebno kao koža ili ne-koža.

## 3.1 Tehnike detekcije bazirane na bojama

Za implementaciju detekcije kože bazirane na prostorima boja iskorištena je python biblioteka openCV. Korištene su funkcije za pretvaranje slike iz jednog prostora boja u drugi, te funkcije za kreiranje maske ovisno od ranga komponenti za određeni prostor boja. Svaka od detekcija je bazirana na pixelima, tj. svaki pixel kategorise kao pixel kože ili kao pixel koji nije koža.

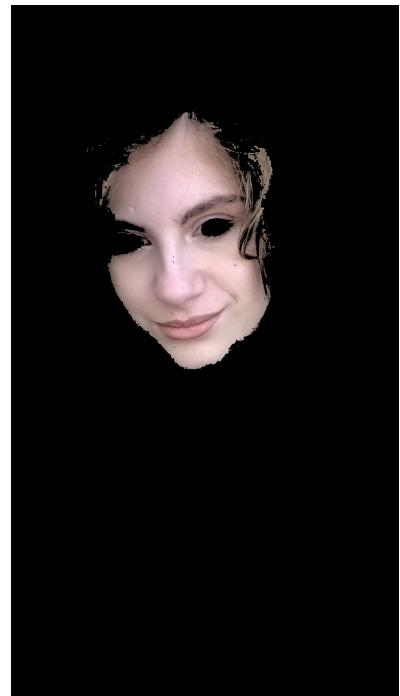
Za RGB prostor boja iskorištena je klasifikacija predstavljena u prethodnom poglavlju u kojoj Peer klasificira pixel kao kožu ukoliko vrijedi sljedeće:  $R > 95$  i  $G > 40$  i  $B > 20$  i  $\max\{R, G, B\} - \min\{R, G, B\} > 15$  i  $|R-G| > 15$  i  $R > G$  i  $R > B$ [4].



Slika 3.1: Originalna slika prije detekcije - RGB



Slika 3.2: Maska detekcije - RGB



Slika 3.3: Detekcija kože - RGB

Za HSV prostor iskorištena je sljedeća klasifikacija. Pixel je koža ukoliko vrijedi:  $H > 0$  i  $H < 17$  i  $S > 15$  i  $S < 170$  i  $V > 0$  i  $V < 255$ .



Slika 3.4: Originalna slika prije detekcije - HSV



Slika 3.5: Maska detekcije - HSV



Slika 3.6: Detekcija kože - HSV

Za YCrCb prostor iskorištena je sljedeća klasifikacija. Pixel je koža ukoliko vrijedi:  $Y > 0$  i  $Y < 255$  i  $Cb > 135$  i  $Cb < 180$  i  $Cr > 85$  i  $Cr < 135$ .



Slika 3.7: Originalna slika prije detekcije - YCrCb



Slika 3.8: Maska detekcije - YCrCb



Slika 3.9: Detekcija kože - YCrCb

Nakon toga testirana je detekcija zasnovana na presjeku klasifikacije na bazi prostora boja HSV i YCrCb.



Slika 3.10: Originalna slika prije detekcije - HSV i YCrCb



Slika 3.11: Maska detekcije - HSV i YCrCb



Slika 3.12: Detekcija kože - HSV i YCrCb

## 3.2 Naivni Bayes klasifikator

Detekcija kože zasnovana na naivnom bayesovom klasifikatoru je pixel bazirana, što znači da za svaki pixel posebo određuje da li je koža ili nije. Detekcija testirana u ovom radu implementirana je u jeziku python po pseudokodu prikazanom ispod.

- <sup>1</sup> Procitaj sve slike sa odgovarajućim maskama
- <sup>2</sup> Za svaku RGB kombinaciju :
- <sup>3</sup> izracunati koliko puta se kombinacija pojavljuje kao pixel kože
- <sup>4</sup> Racunati vjerovatnocu za svaki pixel :
- <sup>5</sup>  $P = (\text{num\_skin}) / (\text{num\_skin} + \text{num\_non\_skin})$
- <sup>6</sup> Odabratи sliku za testiranje
- <sup>7</sup> Procitati sve pixele slike
- <sup>8</sup> Ako je vjerovatnoca rgb kombinacije veca od granice :
- <sup>9</sup> pixel je koza

*num\_skin* i *num\_non\_skin* predstavljaju respektivno broj pojavljivanja pixela (tj. određene RGB kombinacije) kao kože ili kao ne kože. Za granicu je uzeto 0.555555.

Odvojeni su dijelovi za treniranje i testiranje. Treniranje se vrši nad postojećim datasetom od 87 slika ljudi i njihovih maski. Za testiranje se pozivaju proizvoljne slike smještene u testni folder. Ispod je prikazana demonstracija detekcije kože.



Slika 3.13: Originalna slika - Bayes



Slika 3.14: Rezultat detekcije - Bayes

# Rezultati

## 4.1 Usporedba implementiranih metoda

Ispod je prikazana demonstracija detekcije kože, najprije je prikazan testni primjer sa više ljudi na slici, a onda primjer sa tamnjom bojom kože.



Slika 4.1: Originalna slika za testiranje 1



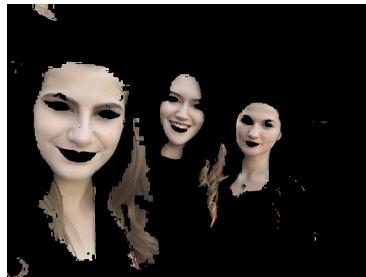
Slika 4.2: Detekcija kože za RGB prostor boja 1



Slika 4.3: Detekcija kože za HSV prostor boja 1



Slika 4.4: Detekcija kože za YCrCb prostor boja 1



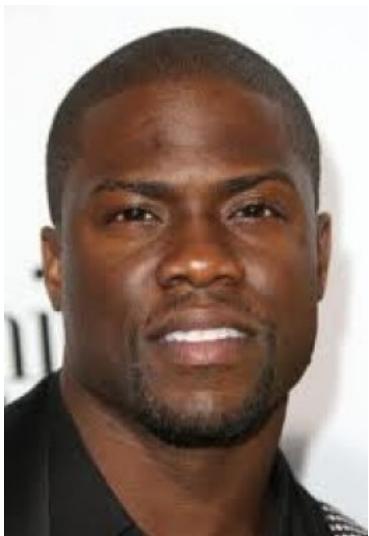
Slika 4.5: Detekcija kože za YCrCb i HSV prostor boja 1



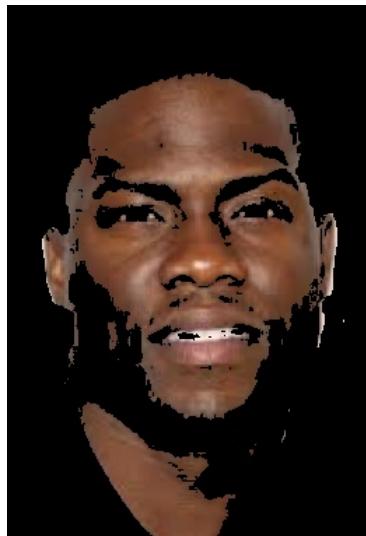
Slika 4.6: Detekcija kože Bayes-ovim naivnim algoritmom 1

Za ovaj primjer najbolje rezultate daje presjek YCrCb i HSV prostora boja, dok najgori rezultat daje Bayesov naivni algoritam. Pošto su na slici ljudi svijetlog tena, testiranje smo obavili i na osobi tamnog tena. Za razliku od ovog primjera, gdje za RGB prostor boja kao kožu detektuje crvenu majicu, za primjer testiran u dijelu implementacije RGB prostor boja daje najbolje rezultate.

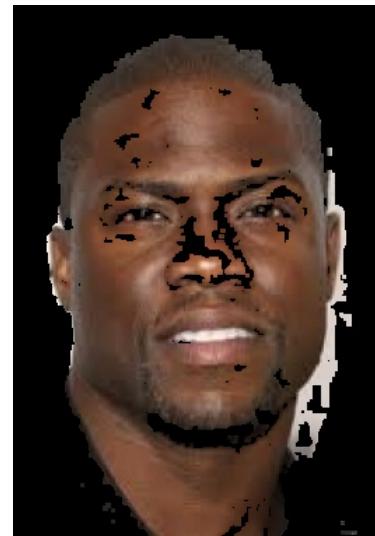
Nakon ovoga, testiran je primjer za osobu tamnog tena. Za ovaj primjer RGB prostor boja daje dobre rezultate u smislu da detektuje većinu prostora koji je koža dobro a daje najbolje rezultate za *false pozitive* (lažno pozitivne) pixele kože. YCrCb i presjek YCrCb i HSV daju bolje rezultate u smislu *true pozitive* (tačno pozitivne) pixele ali daje nešto



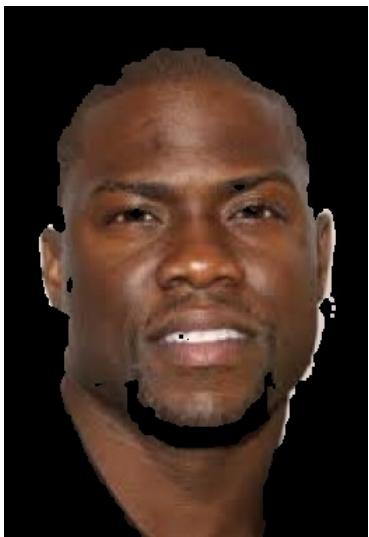
Slika 4.7: Originalna slika za testiranje 2



Slika 4.8: Detekcija kože za RGB prostor boja 2



Slika 4.9: Detekcija kože za HSV prostor boja 2



Slika 4.10: Detekcija kože za YCrCb prostor boja 2



Slika 4.11: Detekcija kože za YCrCb i HSV prostor boja 2



Slika 4.12: Detekcija kože Bayes-ovim naivnim algoritmom 2

lošije rezultate za *false positive* (lažno pozitivne) pixele, tj. više pixela koji nisu koža detektuju kao kožu u odnosu na RGB prostor boja.

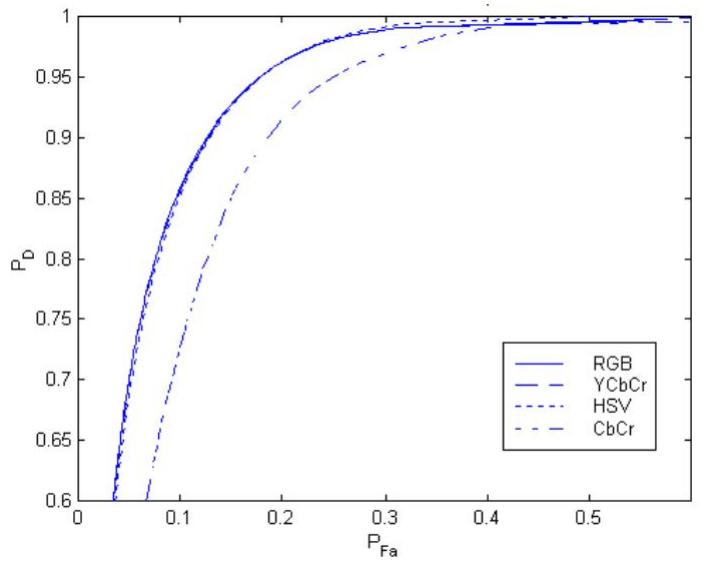
## 4.2 Analiza rezultata

Istraživanja pokazuju da je Bayesov naivni klasifikator daje među najboljim rezultatima. Tako, u jednom istraživanju problema detekcije kože upotrebatom najpoznatijih klasifikatora, Bayesov, te njegov potomak, model maksimalne entropije daju najbolje rezultate[16]. Sva testiranja provedena su nad Compaq bazom[17]. Bayes daje čak 90-93.4% *true positive* (tačno pozitivno) te 14-19.8% *false positive* (netačno pozitivno) performanse[1].

Na prvi pogled, izbor prostora boja čini se od suštinske važnosti za detekciju kože. Postavlja se bitno pitanje: koji prostor boja je najbolji za detekciju kože, tj. postoji li optimalan prostor boje za detekciju kože. Eksperiment proveden u ovom radu ukazuje da RGB prostor boja daje nešto bolje rezultate u odnosu na druge prostore boja koje su testirane, no razlika je neznatna. Većina radova detekcije kože ne daju jasno opravdanje za izbor prostora boja, vjerovatno jer je moguće dobiti zadovoljavajuće rezultate za limitirane dataset-ove sa bilo kojim prostorom boja.

U skorije vrijeme, pojavili su se mnogi radovi koji sumnjuju u značaj uticaja prostora boja na konačne rezultate detekcije[19][20]. U radu Shin, 2002. zaključuju da je razlika između pixela kože i ne kože najveća u RGB prostoru, te da smanjenje komponente osvetljena pogoršava razliku[19].

Na slici ispod prikazane su ROC (Reciever Operating Characteristic) krive za različite detektore kože. Može se primjetiti da su ROC krive koje odgovaraju tro-dimenzionalnim prostorima boja praktično jednake[20].



Slika 4.13: ROC(Reciever Operating Characteristic) krive[20]

Ovo su potvrdili i eksperimentalni rezultati provedeni u ovom radu. Generalno, sve ukazuje na to da uticaj prostora boja na performanse ovisi od konkretnog dataset-a, te podešavanja parametara, a ne o samom prostoru boja. Također, različite metode modeliranja daju različite rezultate za različite prostore boja, tako da evaluacija prostora boja u smislu koje je dobar ili nije u globalnom slučaju nema smisla.

Sve u svemu, glavni izazov detekcije kože je nalaženje najboljeg prostora boja te najbolji odabir pravila odlučivanja. Nedavno je predložen metod mašinskog učenja za nalaženje pogodnog prostora boja te jednostavna pravila učenja koja rješava ovaj problem[18].

# Zaključak

Istraživanja, kao i implemetacija prikazana u ovom radu, pokazuju da Bayes-ov naivni algoritam daje dosta dobre rezultate za problem detekcije kože. Čak, postoje indikacije da je Bayes-ov naivni algoritam jedan od najboljih za ovu vrtu problema po pitanju performansi. Također, on je jako jednostavan, te mu je implementacija jednostavna a kompleksnost niska.

Pošto je jedan od najvećih izazova za detekciju kože adekvatan odabir prostora boja u ovom radu razmotreno je nekoliko različitih prostora boja. Ne može se reći da postoji optimalan prostor boja za problem detekcije boje kože. Za različite metode modeliranja, te za različite dataset-ove različiti prostori boja daju različite rezultate.

# Literatura

- [1] V. Vezhnevets, V. S. A. Andreeva, "*A Survey on Pixel-Based Skin Color Detection Techniques.*," Graphics and Media Laboratory, Faculty of Computational Mathematics and Cybernetics Moscow State University, Moscow, Russia.
- [2] H. Kruppa, M. A. Bauer, B. Schiele, *Skin patch detection in real-world images.*" Annual Symposium for Pattern Recognition of the DAGM 2002, Springer LNCS 2449, pp. 109–117, 2002.
- [3] J. Y. Lee, S. I. Yoo, "*An elliptical boundary model for skin color detection.*" Proc. of the 2002 International Conference on Imaging Science, Systems, and Technology, 2002.
- [4] P. Peer, J. Kovac, F. Solina, "*Human skin colour clustering for face detection.*" EU-ROCON 2003 - International Conference on Computer as a Tool, 2003.
- [5] B. D. Zarit, B. J. Super, F. K. H. Quek, *Comparison of five color models in skin pixel classification.*" ICCV'99 Int'l Workshop on recognition, analysis and tracking of faces and gestures in Real-Time systems, pp. 58–63, 1999.
- [6] S. L. Phung, A. Bouzerdoum, D. Chai, "*A novel skin color model in ycbcr color space and its application to human face detection.*" IEEE International Conference on Image Processing (ICIP'2002), vol. 1, pp. 289–292, 2002.
- [7] C. A. Poynton, *Digital Video and HDTV: Algorithms and Interfaces.*" Morgan Kaufmann, ISBN 1-55860-792-7, 2003.
- [8] C. A. Poynton, *Frequently asked questions about colour.* <ftp://www.inforamp.net/pub/users/poynton/doc/colour/ColorFAQ.ps.gz>, 1995.
- [9] R. W. G. Hunt, "*The Reproduction of Colour(6th ed.).*" Chichester UK: Wiley–IST Series in Imaging Science and Technology, ISBN 0-470-02425-9, 2004.
- [10] A. Albiol, L. Torres, C.A. Bouman, E. J. Delp, "*A simple and efficient face detection algorithm for video database applications.*" Proceedings of the IEEE International Conference on Image Processing, Vancouver, Canada, vol. 2, September 2000.
- [11] H. Wang and S-F. Chang, "*A highly efficient system for automatic face region detection in mpeg video.*" IEEE Transactions on circuits and system for video technology, vol. 7, no. 4, pp. 615–628.
- [12] D. Chai, K. N. Ngan, "*Foreground background video coding using h.261.*" SPIE Visual Communications and Image Processing, San Jose, CA, January 1998.

- [13] K. Sobottka, I. Pitas, “*Face localization and facial feature extraction based on shape and color information.*” Proceedings of the IEEE International Conference on Image Processing, Lausanne, Switzerland, vol. 3, September 1996.
- [14] J. G. Wang and E. Sung, “*Frontal-view face detection and facial feature extraction using color and morphological operators.*” Pattern recognition letters, vol. 20, no. 10, pp. 1053–1068, October 1999.
- [15] A Kak, ”*ML, MAP, Bayesian - The Holy Trinity of Parameter Estimation and Data Prediction.*” Purdue University, An RVL Tutorial Presentation, 2008.
- [16] B. Jedynak, H. Zheng, M. Daoudi, D. Barret, ”*Maximum entropy models for skin detection. Tech. Rep. XIII.*”, Universite des Sciences et Technologies de Lille, France, 2002.
- [17] M. J. Jones, J. M. Rehg, ”*Statistical color models with application to skin detection.*” Proc. of the CVPR ’99, vol. 1, pp. 274–280, 1999.
- [18] G. Gomez, E. Morales, ”*Automatic feature construction and a simple rule induction algorithm for skin detection.*” Proc. of the ICML Workshop on Machine Learning in Computer Vision, pp. 31–38, 2002.
- [19] M. C. Shin, K. I. Chang, L. V. Tsap, ”*Does colorspace transformation make any difference on skin detection?*” IEEE Workshop on Applications of Computer Vision, 2002.
- [20] A. Albiol, L. Torres, E. J. Delp, ”*Optimum color spaces for skin detection.*” Proceedings of the International Conference on Image Processing, vol. 1, pp. 122–124, 2001.