

## Poređenje algoritama za detekciju rilice pčela metodom binarizacije i HAAR vejevleta

---

Činjenica da se pčele mogu istrenirati da izbacivanjem rilice reaguju na mirise može se iskoristiti za detekciju prisustva određenih supstanci. U ovom radu testirane su dve metode za detekciju na osnovu snimka pčela: metoda prepoznavanja rilice pomoću binarizacije piksela i metoda prepoznavanja pomoću HAAR vejevleta. Metoda detekcije pomoću binarizacije broji sve piksele koji su zasićeniji od pozadine. Zasićenost boje pozadine računata je na dva načina: u prvom se zasićenost izračunava kao najveća zasićenost na traci sa leve strane slike, a u drugom kao aritmetička sredina zasićenosti najzasićenijih piksela u istom regionu. Metoda detekcije pomoću HAAR vejevleta se zasniva na treniranju detektora koji reaguje na oblik rilice. Za snimanje rilica napravljena je posebna aparatura koja omogućava snimanje u kontrolisanim uslovima, što je omogućilo testiranje algoritama sa različitim intenzitetima pozadinskog osvetljenja, kao i sa različitim orijentacijama rilice. Algoritam binarizacije zasnovan na prvom načinu računanja zasićenosti je pokazao preciznost (PPV) 78.2% i osetljivost (TPR) 91.6%. Algoritam binarizacije zasnovan na drugom načinu izračunavanja zasićenosti pokazao PPV 72.2% i TPR 94.8%. Algoritam zasnovan na HAAR vejevletima je pokazao PPV 90.0% i TPR 85.2%.

---

### Uvod

Medonosne pčele (*Apis mellifera*) imaju izuzetno osetljivo čulo mirisa. Pomoću modifikovanog Pavlovljevog eksperimenta moguće je istrenirati ih da izbace svoju rilicu nakon što detektuju miris na koji su trenirane (Bitterman *et al.* 1983). Na taj način trenirane pčele mogu se koristiti za detekciju mirisa prisutnih u veoma malim koncentracijama. Ovakva detekcija može da ima veoma široku upotrebu. Mogućnosti se kreću od primene u medicini – za detekciju različitih bolesti (Web 3), do primene u vojnoj i civilnoj zaštiti – za detekciju opasnih ili ilegalnih materija.

Iz praktičnih razloga potrebno je da se proces detekcije rilice pčela automatizuje. U konsultovanoj literaturi ([www.panchromos.com](http://www.panchromos.com) i [www.technovelgy.com](http://www.technovelgy.com)) nađena su dva pristupa kojima se dati problem može rešiti. Prvi pristup se zasniva na analizi snimaka pčele i detekciji

---

Nemanja Filipović  
(1996), Sremčica,  
Gnjionska 3, učenik 3.  
razreda XIII  
beogradske gimnazije

Anđela Donević  
(1995), Leskovac,  
Majora Tepića 19/12,  
učenica 4. razreda  
Gimnazije u Leskovcu

#### MENTORI:

Gavrilo Andrić,  
student  
Elektrotehničkog  
fakulteta Univerziteta  
u Beogradu

Marija Gajić, ISP

izbačene rilice. Snimak se analizira pomoću kompjuterskih algoritama koji vrše automatizovanu detekciju. Drugi pristup se zasniva na korišćenju aparature dizajnirane tako da kad pčela izbaci rilicu preseče svetlosni zrak. Ovakav pristup, osim što zahteva da pčele budu precizno pričvršćene, ima i tu manu što pčele i svojim antenama mogu preseći svetlosni zrak što izaziva lažno-pozitivnu detekciju.

U ovom radu korišćen je pristup zasnovan na analizi snimka rilice. U okviru njega upoređene su dve metode detekcije: metoda zasnovana na binarizaciji i metoda zasnovana na HAAR vejvletima. Metoda zasnovana na binarizaciji za detekciju rilice koristi podatak o njenoj boji. Svi pikseli sa snimka čija je boja zasićenija od pozadine boje se belo, dok se ostali boje crno. Detekcija se vrši brojanjem belih piksela na ovako dobijenoj slici. Razvijene su dve procedure za izračunavanje zasićenosti boje pozadine, koje su međusobno upoređene. Metoda zasnovana na HAAR vejvletima koristi podatak o obliku rilice. HAAR vejvleti sa slike izdvajaju karakteristična obeležja oblika. Ova obeležja koristi AdaBoost algoritam mašinskog učenja prilikom detekcije oblika koji imaju slične karakteristike kao i oni koji su korišćeni tokom njegovog treniranja.

## Eksperiment

### Aparatura

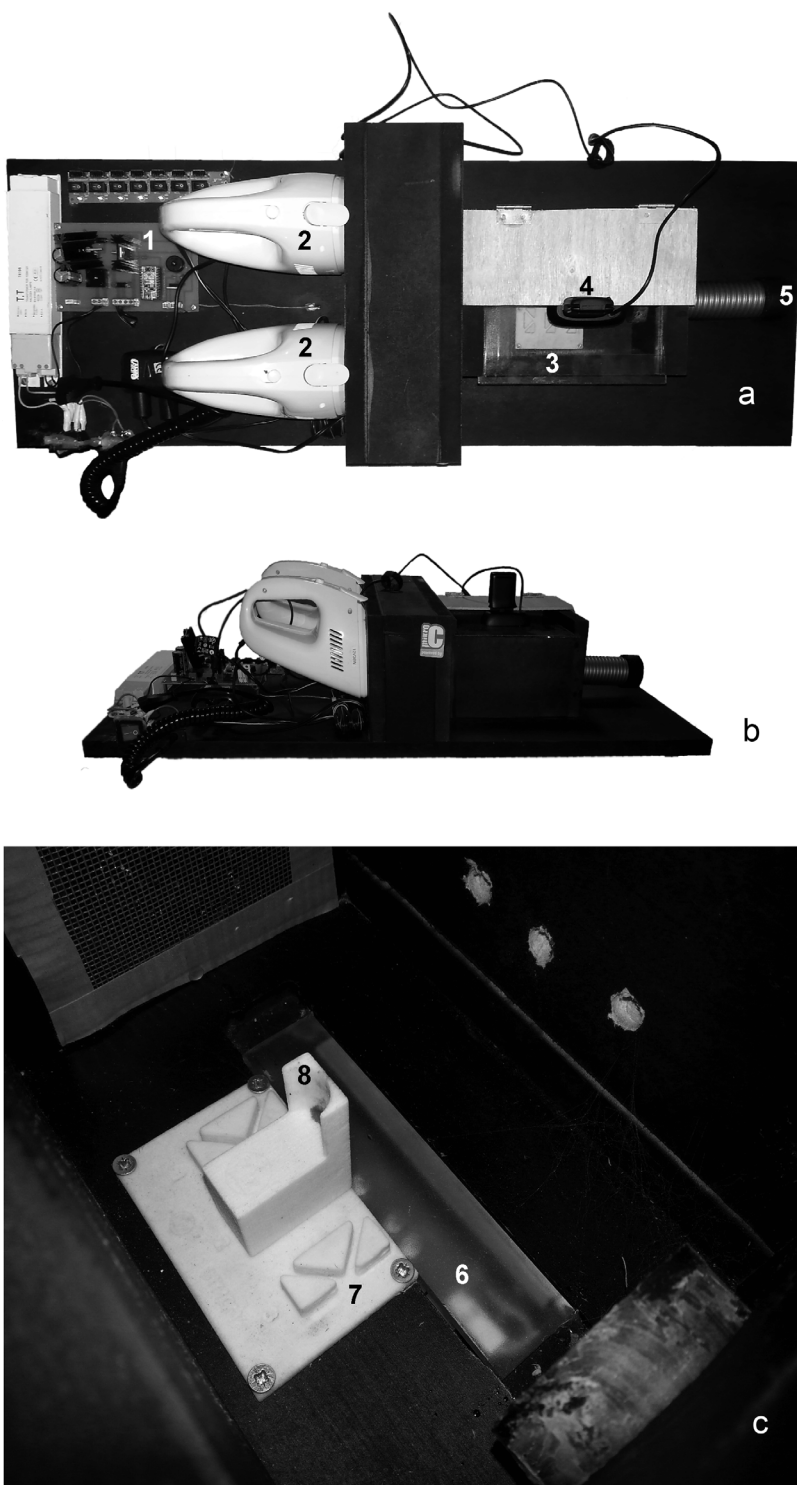
Konstruisana je posebna aparatura koja omogućava snimanje pčela u kontrolisanim uslovima (slika 1). Kontrola uslova bila je bitna kako bi se testirala robusnost testiranih algoritama na promenu osvetljenosti ili rotacije rilice.

Tokom eksperimenta, pčele se nalaze u zatvorenoj komori pokrivenoj staklom (slika 1-3). Pčele su tom prilikom pričvršćene za držače (slika 2a) koji se na aparaturu montiraju pomoću žljeba (slika 1-c). Ispod njih su postavljene LE diode za pozadinsko osvetljenje (slika 1-6) čiji se intenzitet može menjati. Strujanje vazduha preko pčela omogućava usisni sistem (slika 1-2). Vazduh ulazi na usisnu glavu (slika 1-5). Brzinu strujanja vazduha i intenzitet pozadinskog osvetljenja kontroliše elektronika (slika 1-1). Kamera (slika 1-4) se nalazi iznad komore sa pčelama i kroz staklo snima površinu na kojoj se nalaze pčele.

### Algoritmi za detekciju

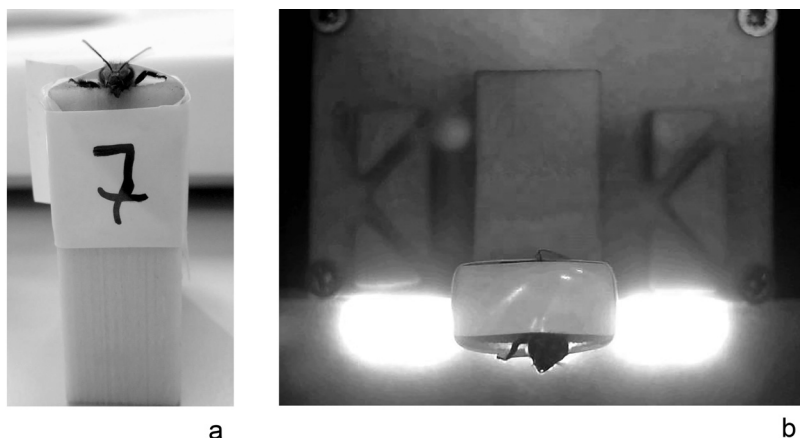
**Snimak.** Na slici 2b dat je primer snimka koji se koristi za dalju analizu. Deo ovakve slike sa izdvojenom pčelom koristi se za treniranje i testiranje algoritama. Obrada slike je rađena pomoću OpenCv biblioteke za programski jezik C++ (Web 6).

**Detekcija metodom binarizacije.** Rilica je jarko narandžasto obojena, čime se omogućava njeno izdvajanje putem boje. Kako bi se lakše iskoristio podatak o obojenosti, slika je iz RGB prostora boja transformisana u HSV prostor boja. U HSV prostoru, svaka boja se predstavlja



Slika 1.  
 Korišćena aparatura  
 a) pogled odozgo  
 b) pogled sa strane  
 c) unutrašnjost komore  
 sa pčelama – sa  
 kontrolnom  
 elektronikom (1),  
 usisnim sistemom (2),  
 komorom sa pčelama  
 (3), kamerom (4),  
 usisnom glavom (5),  
 pozadinskim svetlom  
 (6), nosačem držača  
 (7) i držačem pčela  
 (8). Dužina aparature  
 je 80 cm.

Figure 1.  
 Apparatus a) above  
 view b) side view  
 c) inside of the  
 chamber with bees –  
 with control  
 electronics (1), intake  
 system (2), chamber  
 with bees (3), camera  
 (4), intake head (5),  
 backlight (6), bee  
 holder bracket (7) and  
 bee holder (8). Length  
 of the apparatus is  
 80 cm.



Slika 2.  
a) Pčela pričvršćena na držaču  
b) Slika sa kamere u aparaturi

Figure 2.  
a) Bee attached to a holder  
b) Camera footage in the apparatus



Slika 3.  
Kanali slike rilice u HSV prostoru:  
a) H kanal b) S kanal  
c) V kanal

Figure 3.  
HSV color space channels of the proboscis image:  
a) H channel  
b) S channel  
c) V channel

kroz podatak o tome koja nijansa je u pitanju (slika 3a), koliko je zasićena (slika 3b) i koliko je osvetljena (slika 3c) (Web 2).

Na osnovu slike 3, moguće je izvesti sledeće zaključke:

1. H kanal koji nosi podatke o boji piksela rilicu slabo izdvaja i prikazuje je kao relativno taman objekat sličan pozadini.
2. S kanal koji nosi podatke o zasićenosti boje izuzetno dobro ističe rilicu. Rilica je prikazana kao svetli objekat na približno uniformno tamnoj pozadini. S obzirom na to da je rilica i najsvetliji objekat na slici, veoma je pogodno koristiti metod binarizacije za detekciju na ovom kanalu.
3. V kanal koji nosi podatak o osvetljenosti piksela jasno ističe rilicu. Međutim, ovaj kanal nosi i dosta podataka o ostalim objektima osim rilice, te je nepogodan za njeno izdvajanje.

Oдавde proizilazi da je detekciju binarizacijom najlakše izvršiti na izdvojenom S kanalu snimka.

Za binarizaciju su potrebna dva parametra: gornji ( $T_u$ ) i donji ( $T_l$ ) prag binarizacije. Slika se transformiše tako što se pikselima koji imaju vrednost između dva praga dodeljuje bela boja, dok se ostalim pikselima dodeljuje crna boja, prema formuli (1):

$$b(x, y) = \begin{cases} 255, & o(x, y) \geq T_l \wedge o(x, y) \leq T_u \\ 0, & \neg (o(x, y) \geq T_l) \wedge o(x, y) \leq T_u \end{cases} \quad (1)$$

gde je:

$b(x, y)$  – piksel na koordinatama  $x, y$  na binarizovanoj slici

$o(x, y)$  – piksel na koordinatama  $x, y$  na originalnoj slici.

S obzirom na to da je rilica najsvetliji objekat na slici pa nije potrebno izdvajati objekte svetlije od nje, gornji prag binarizacije  $T_u$  je fiksiran i iznosi 255 (najveća moguća vrednost piksela).



Slika 4.

Binarizovana slika sa označenom trakom od 100 piksela sa leve strane (sivo)

Figure 4.

Binarized image with marked 100 pixel wide strip on the left (gray)

Pošto je pozadina relativno homogeno obojena u S kanalu, moguće je izdvojiti najsvetliji (ili najsvetlije) piksele pozadine i na osnovu njih odrediti donji prag binarizacije. Rilica se na snimku ne može naći uz levu ili desnu ivicu (zbog tako podešene aparature), pa je sigurno reći da pikseli tih regiona predstavljaju pozadinu. Zbog uočene ravnomerne raspodele šuma na slici, za procenu donjeg praga korišćeni su podaci sa uske trake prikazane na slici 5, pri čemu su testirana dva načina:

1. Za izračunavanje praga korišćena je samo najveća vrednost piksela u traci. U ovoj metodi se usled šuma koji potiče od kamere mogu pojaviti pikseli sa velikom vrednošću što uvodi grešku.
2. Za izračunavanje praga korišćena je aritmetička sredina  $n$  piksela sa najvećim vrednostima u traci, prema formuli (2). Ova metoda otklanja mogućnost nastajanja greške kao posledice šuma, ali snižava prag binarizacije, što može da uzrokuje i smanjenje preciznosti. Za našu aparaturu empirijski smo utvrdili da je odgovarajuća vrednost broja  $n = 100$ .

$$T_l = K \cdot \frac{\sum_{i=1}^n t_{\max i}}{n} \quad (2)$$

gde je  $t_{\max i}$  jedan od  $n$  piksela sa najvećom vrednošću u traci sa leve strane na slici 4.

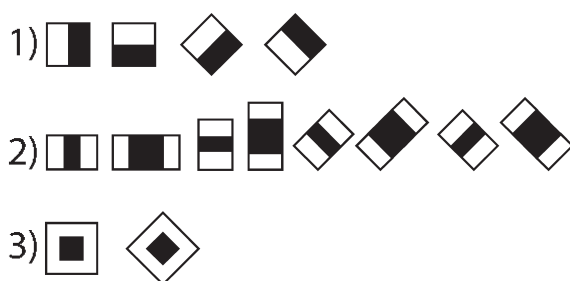
Kako bi se dodatno osiguralo smanjenje šuma, obe vrednosti praga binarizacije su množene empirijski utvrđenim koeficijentom  $K = 1.7$ . S obzirom na to da je rilica znatno svetlija od pozadine, ovaj koeficijent ne utiče značajno na njenu detekciju. Takođe, ovaj koeficijent smanjuje i

osetljivost algoritma na promene intenziteta osvetljenosti. Krajnji izlaz algoritma predstavlja broj belih piksela  $N_w$  na celoj slici. Na osnovu broja  $N_w$  vrši se detekcija.

**Detekcija pomoću HAAR vejvleta.** Detektor baziran na HAAR vejvletima se zasniva na detektovanju oblika predmeta, a ne njegove boje (Viola i Jones 2001), što ga čini robusnijim, odnosno manje osetljivim na promene osvetljenja.

Detektor se zasniva na kaskadi slabijih detektora baziranih na HAAR vejvletima. S obzirom na to da se pretpostavlja da se predmet može naći bilo gde na slici, proces detekcije se iterativno ponavlja na pravougaonim prozorima koji se po slici pomeraju po obe ose i čija se veličina menja. Ukoliko dođe do pozitivne detekcije na nekom od takvih prozora, onda se smatra da se predmet nalazi na toj poziciji. Detekcija u jednom prozoru se vrši u više faza (Viola i Jones 2001). Vejvleti se grafički mogu predstaviti kao skup od dva ili tri kvadrata crne ili bele boje (slika 5; Web 1).

Vrednost svakog vejvleta predstavlja razliku sume piksela u crnim i

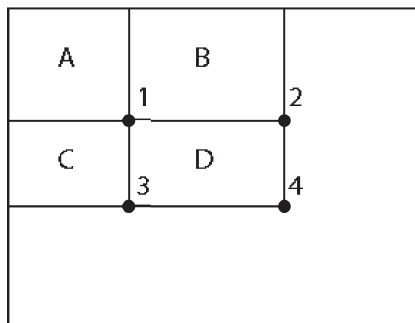


Slika 5.  
HAAR vejvleti:  
1 – ivični vejvleti,  
2 – linijski vejvleti  
3 – centralni vejvleti

Figure 5.  
HAAR wavelets:  
1 – edge wavelets,  
2 – line wavelets  
3 – central wavelets

belim kvadratima. Radi bržeg izračunavanja ovih vrednosti, vejvleti se izračunavaju na takozvanoj integralnoj slici koja nosi podatke o sumama vrednosti piksela (slika 6).

Pod pretpostavkom da je koordinatni početak postavljen u gornjem,



Slika 6.  
Izračunavanje sume piksela unutar kvadrata pomoću integralne slike

Figure 6.  
Calculating the sum of pixels inside the square using the integral image

levom ćošku slike, a da su pozitivni smerovi dole i desno, onda svaki piksel na integralnoj slici predstavlja sumu vrednosti svih piksela levo i gore od njega na originalnoj slici. Vrednost sume piksela u kvadratu 1234 sa slike

10 može se izračunati korišćenjem vrednosti piksela na njegovim temenima, na osnovu formule (3) (Viola i Jones 2001):

$$S = A + D - B - C \quad (3)$$

gde je  $S$  – suma piksela unutar kvadrata na originalnoj slici, a  $A$ ,  $B$ ,  $C$  i  $D$  vrednost piksela na integralnoj slici u temenima 1, 2, 3 i 4, respektivno.

Uopšteno, integralna slika se od crno-bele slike dobija transformacijom (3) (Viola i Jones 2001).

$$i(x, y) = \sum_{x' \leq x, y' \leq y} o(x', y') \quad (4)$$

gde je  $i(x, y)$  – vrednost piksela integralne slike na koordinatama  $x, y$ , a  $o(x', y')$  – vrednost piksela originalne slike na koordinatama  $x', y'$ .

Izračunata vrednost vejevleta zatim koristi AdaBoost algoritam klasifikacije kako bi utvrdio da li se predmet nalazi u zadatom prozoru, gde je prozor deo slike koji se trenutno posmatra (Web 1). Pošto se algoritam sastoji od kaskade slabijih detektora, detekcija se vrši u više faza. U svakoj sledećoj fazi se vrši više izračunavanja nego u prethodnoj, pa je za njeno izvršavanje potrebno više vremena. Ukoliko u nekoj od faza dođe do negativne detekcije, smatra se da celokupna detekcija negativna i prelazi se na sledeći prozor. Na ovaj način se ostvaruje velika ušteda u vremenu izvršavanja.

Treniranje detektora se vrši pomoću velikog broja pozitivnih i negativnih primera predmeta. Pozitivni primeri u ovom slučaju predstavljali su sliku rilice, dok su negativni primeri predstavljali sliku pčele koja svoju rilicu nije izbacila. Treniranje je vršeno pomoću programa koji dolazi uz OpenCv biblioteku (Web 7).

Za treniranje klasifikatora je korišćen uzorak od 5 snimaka sa ciljano biranim različitim orijentacijama glave, kako bi algoritam bio otporan na promenu rotacije rilice prilikom detekcije. Sa tih snimaka je nasumično uzeto 2340 negativnih slika (slika pozadine) i 1700 pozitivnih slika sa obeleženom pozicijom rilice.

OpenCv implementacija ovakvog algoritma na izlazu daje niz pravougaonika na kojima je detektovana rilica. S obzirom na to da je rilica najveći objekat na slici, za dalju detekciju se koristi samo podatak o površini najvećeg pravougaonika,  $P_{\max}$ .

## Rezultati i diskusija

Brojevima  $N_w$  (broj belih piksela, odnosno površina rilice u metodi binarizacije) i  $P_{\max}$  (površina najvećeg pravougaonika u metodi HAAR vejevleta) empirijski su dodeljeni pragovi detekcije na osnovu trening seta. Ukoliko je taj broj veći od praga, smatra se da je rilica detektovana. Određena je preciznost algoritma, odnosno PPV (pozitivno-prediktivna vrednost, engl. Positive predictive value) i osetljivost, odnosno TPR (tačno-pozitivna stopa, engl. true positive rate), po formulama (5) i (6).



$$PPV = \frac{t_p}{r_p} \quad (5)$$

$$TPR = \frac{t_p}{p} \quad (6)$$

gde je  $t_p$  – broj pozitivnih uzoraka koji su tačno detektovani,  $r_p$  – broj pozitivno detektovanih uzoraka, a  $p$  – broj pozitivnih uzoraka.

**Metoda binarizacije.** Obe verzije binarizacije su testirane identičnim test setom, koji čini 21 snimak sa 43370 testiranih slika. Utvrđeno je da metod binarizacije sa traženjem najvećeg piksela na traci ima PPV od 78.2% i TPR od 91.6%. Matrica konfuzije prikazana je u tabeli 1.

Tabela 1. Matrica konfuzije prvog algoritma za binarizaciju

Detektovana klasa	Ciljana klasa	
	0	1
0	20109	1555
1	4732	16974

Drugi metod binarizacije (metod traženja prosečne vrednosti najsvetlijih piksela) pokazao je PPV od 72.2% i TPR od 94.8%. Matrica konfuzije prikazana je u tabeli 2.

Tabela 2. Matrica konfuzije drugog algoritma za binarizaciju

Detektovana klasa	Ciljana klasa	
	0	1
0	18082	966
1	6759	17563

Što se algoritama binarizacije tiče, pad PPV druge metode je očekivan, kao i porast TPR, zbog nižeg praga binarizacije. Pri računanju vrednosti praga binarizacije pomoću piksela sa trake, dobija se niža vrednost ukoliko se koristi aritmetička sredina više najvećih vrednosti umesto samo jedne najveće vrednosti. Niža vrednost praga binarizacije znači i smanjeno uklanjanje šuma sa binarne slike, te se povećava broj lažno-pozitivnih detekcija. Takođe se povećava i broj piksela rilice, pa raste i broj tačno pozitivnih detekcija.

Detektor uz pomoć HAAR vejvleta. Detektor uz pomoć HAAR vejvleta je testiran na istom setu kao i za binarizaciju. Na ovom test setu, metoda je pokazala PPV od 90.0%, kao i TPR od 85.2%. Matrica konfuzije detekcije uz pomoć ovog algoritma prikazana je u tabeli 3.



Tabela 3. Matrica konfuzije detektora uz pomoć HAAR vejvleta

Detektovana klasa	Ciljana klasa	
	0	1
0	23096	2740
1	1745	15789

## Zaključak

Detektori zasnovani na analizi boje rilice (metoda binarizacije) i detektor zasnovan na analizi oblika rilice (metoda HAAR vejvleta) pokazali su dobre performanse i malu osetljivost na promene intenziteta pozadinskog osvetljenja, što znači da je moguće primeniti ih i na drugim sličnim aparaturama.

Na osnovu rezultata uočava se da je grupa algoritama zasnovanih na binarizaciji ima manju preciznost (PPV) od algoritma detekcije zasnovanog na HAAR vejvletima. To znači da bi u primeni gde je neophodan visok stepen pozitivne detekcije, bez obzira na takođe visok stepen lažno pozitivne detekcije, bili implementirani algoritmi zasnovani na binarizaciji. Ako je u primeni neophodno eliminisati lažno-pozitivne detekcije, onda je primerenije koristiti algoritme detekcije zasnovane na HAAR vejvletima.

## Literatura

- Bitterman M., Menzel R., Fietz A. i Schäfer S. 1983. Classical Conditioning of Proboscis Extension in Honeybees (*Apis mellifera*). *Journal of Comparative Psychology*, **97** (2): 107.
- Viola P. i Jones M. 2001. Rapid object detection using a boosted cascade of simple features. *Computer Vision and Pattern Recognition*, **1**: 511.
- Web 1. [http://docs.opencv.org/trunk/doc/py\\_tutorials/py\\_objdetect/py\\_face\\_detection/py\\_face\\_detection.html](http://docs.opencv.org/trunk/doc/py_tutorials/py_objdetect/py_face_detection/py_face_detection.html) [Pristupljeno 8. 8. 2014].
- Web 2. <http://desktoppub.about.com/od/glossary/g/HSV.htm> [Pristupljeno 8. 8. 2014].
- Web 3. <http://www.susanasoares.com/index.php?id=56> [Pristupljeno 14. 11. 2014].
- Web 4. [http://www.panchromos.com/wordpress/?page\\_id=1709](http://www.panchromos.com/wordpress/?page_id=1709) [Pristupljeno 14. 11. 2014].
- Web 5. <http://www.technovelgy.com/ct/Science-Fiction-News.asp?NewsNum=1196> [Pristupljeno 14. 11. 2014].

Web 6. <http://opencv.org/> [Pristupljeno 8. 6. 2015]

Web 7. [http://docs.opencv.org/doc/user\\_guide/ug\\_traincascade.html](http://docs.opencv.org/doc/user_guide/ug_traincascade.html)  
[Pristupljeno 8. 6. 2015]

---

*Nemanja Filipović and Anđela Donević*

## Comparison of Bees' Proboscis Detection Algorithms Based on Binarization and HAAR-like Wavelets

Bees can be conditioned to extend their proboscis upon detecting a specific smell, which can be used for detecting a certain substance. In this paper two methods of automated proboscis detection on video were tested: a binarization-based method and one based on HAAR wavelet. The binarization method calculates pixels which are significantly more saturated than the background (Figure 3b). For background saturation level calculation, a thin strip on the left edge of the frame was used (Figure 4). Two methods for this were developed and compared in order to perform binarization. The first one calculates the reference background saturation using the highest saturation value in the area. The second one calculates the background saturation using the mean of the highest saturation values. The HAAR wavelet-based method uses a trained detector which detects the shape of the proboscis.

A special apparatus with controlled conditions was made for creating the video used for algorithm testing (Figure 1). This allowed changing the backlight intensity and proboscis orientation when recording. The binarization algorithm based on the first approach has shown a positive predictive value (PPV) 78.2% and true positive rate (TPR) 91.6%. The binarization algorithm based on the second approach has shown PPV of 72.2% and TPR 94.8%. The HAAR wavelet based algorithm has shown PPV 90.0% and TPR 85.2%.

