

UPOTREBA UGRAĐENOG SUSTAVA ZA IDENTIFIKACIJU BIOMETRIJSKOM METODOM PREPOZNAVANJA LICA

USAGE OF A EMBEDDED SYSTEM FOR BIOMETRIC FACE RECOGNITION IDENTIFICATION

Danijel Slavulj¹, Davor Cafuta², Jelena Kapelac Gulić², Ivica Dodig², Brigitta Cafuta²

¹Tehničko veleučilište u Zagrebu, Vrbik 8, Zagreb, Hrvatska, Student

²Tehničko veleučilište u Zagrebu, Vrbik 8, Zagreb, Hrvatska

SAŽETAK

Računalni sustavi danas uveliko pomažu u nastojanjima da unaprijedimo svijet. Izazov Covid virusa uveo nas je u novo normalno doba gdje bismo sve potencijalno zaražene osobe trebali odmah odvojiti karantenom od ostatka populacije. Užurbani tijek života nažalost dovodi do pojave sve većeg broja prekršitelja. U ovom radu prikazana je arhitektura i prijedlog ugrađenog sustava koji bi se mogao naučiti da prepoznaje osobe u samoizolaciji. Postavljanjem takvog sustava u frekventne zone prekršitelji bi vrlo brzo bili prepoznati. Usprkos tome što u radu dolazimo do dosta velikog praga pogreške, opravdana sumnja lakše će omogućiti snagama reda lakši nadzor osoba pod samoizolacijom.

Ključne riječi: *Prepoznavanje lica, Identifikacija, Covid, Ugrađeni sustavi*

ABSTRACT

Computer systems today are a necessity in constant concept of improving the world. The challenge of the Covid virus has steered us into a new normal age where all potentially infected people should be quarantined immediately from the rest of the population. The hectic course of life unfortunately leads to the emergence of an increasing number of quarantine offenders. This paper presents the architecture and proposal of an embedded system that could be taught to recognize persons in quarantine. By placing such a system in the frequency zones, violators would be identified very quickly.

Despite the fact that in our work we reach a fairly large error threshold, justified suspicion will more easily enable the police to more easily supervise persons under quarantine.

Keywords: *Face recognition, Identification, Covid, Embedded systems*

1. UVOD

1. INTRODUCTION

Eksplzivni rast u novijim tehnologijama poput 4G/5G [1] mreže pomaže ljudima da se povežu na mrežu s udaljenih lokacija brže i bolje te time budu zadovoljniji sa široko upotrebljavanim uslugama, poput društvenih mreža. Također se zbog pojave novih tehnologija i mogućnosti mreža pojavljuje sve više pametnih uređaja koji se sve šire prihvaćaju u društvu. Jedna je od tih tehnologija prepoznavanje lica koja se u proteklih nekoliko godina brzo razvila te se već koristiti u mnogo različitih svrha. Modernim algoritmima prepoznavanja lica postiže se stupanj identifikacije od preko 98% [2] u dobro kontroliranim uvjetima. Slično kao sustav pretraživanja otisaka prstiju sustav prepoznavanja lica vrlo je učinkovit i točan alat koji može pomoći snagama reda i mira u identifikaciji osumnjičenih, pronalasku nestalih osoba ili u slučaju pandemije za otkrivanje osoba s liste zaraženih koji se ne pridržavaju mjera samoizolacije. Kako bi se izradio takav sustav, potrebno je snage reda i mira, kao što je policija, opremiti sa skrivenim i sigurnim uređajem koji ima sustav prepoznavanja lica. Za uređaj može se iskoristiti mikroročunalo Raspberry Pi [5] koje je dovoljno snažno za neka jednostavnija procesiranja videozapisa i slike.

Ovaj članak opisuje testiranje sposobnosti algoritama Viola-Jones [3] za otkrivanje lica iz slike te Support vector machine [4] za prepoznavanje toga lica. Na kraju se daje prijedlog kako bi sustav izgledao i moguća buduća poboljšanja. Kako bi se mogli izvoditi testovi, prvo je potrebno razumjeti primijenjene tehnologije.

2. ARHITEKTURA SUSTAVA

2. SYSTEM ARCHITECTURE

Raspberry Pi stvoren je s ciljem da se informatičko obrazovanje omogući svima. To računalo dizajnirano je tako da bude malo i jeftino s namjerom da bude pristupačnije školama tako da učenici mogu učiti o računalima u učionici. Ovaj uređaj sjajan je iz dva razloga. Prvi je što pruža izuzetno jeftin pristup računalu, a drugi jer je sjajan alat za učenje više o računalima. Prvi model Raspberry Pi-a postao je daleko popularniji nego što se očekivalo, počeo se prodavati izvan ciljanog tržišta za namjene poput robotike, istraživačke projekte te automatizaciju doma. Raspberry Pi 4 model B najnovija je verzija takvog računala. Sadrži četiri jezgre koje rade na 1.5 GHz i do 8 GB RAM memorije. Uz već stotine mogućih projekata, ovaj model otvara mnogo novih vrata s mogućnostima poput dekodiranja 4K videozapisa, USB 3.0 i gigabitnom ethernet mrežnom konekcijom.

Python [6] popularan je programski jezik opće namjene koji ima vrlo široko područje korištenja. Uključuje strukture podataka na visokoj razini, dinamičko tipkanje, dinamičko vezanje koda i mnoge druge značajke koje ga čine korisnim za razvoj složenih aplikacija. Može se proširiti da koristi sistemske pozive gotovo za sve operacijske sustave i može pokretati kodove napisane u C ili C++. Zbog svoje sveprisutnosti i sposobnosti da se izvodi na gotovo svim operacijskim sustavima, Python je univerzalni jezik koji se nalazi u raznim primjenama. Programski jezik također uključuje tisuće modula trećih strana koji su lako dostupni pomoću Python Package Index-a (PyPI) [8]. PyPI nudi popularne alate za različitu stručnu podršku, poput Django za web razvoj, NumPy, Pandas i Matplotlib za znanost o podacima.

OpenCV (Open Source Computer Vision Library) softverska je biblioteka otvorenog koda za CV (Computer Vision) i strojno učenje. Budući da je proizvod pod BSD licencom [9], OpenCV tvrtkama olakšava laganu upotrebu i izmjenu koda za komercijalnu svrhu. Službeno pokrenut 1999. godine, projekt OpenCV bio je inicijativa od strane Intel Research-a za unaprjeđenje aplikacija koje su bile procesorski zahtjevne. Biblioteka sadrži više od 2500 optimiziranih algoritama - uključuje sveobuhvatan skup klasičnih i najmodernijih algoritama računalnog vida i strojnog učenja. Ovi se algoritmi mogu upotrijebiti za otkrivanje i prepoznavanje lica, prepoznavanje objekata, klasificiranje ljudskih radnji u videozapisima, praćenje pokreta kamere, praćenje objekata koji se kreću, izvlačenje 3D modela objekata, spajanje slika zajedno za stvaranje slika visoke rezolucije cijelog prizora, pronalaženje sličnih slika iz baze podataka, uklanjanje crvenih očiju sa slika snimljenih bljeskalicom, praćenje pokreta očiju, prepoznavanje scenografije ili postavljanje markera za proširenu stvarnost itd.

Cilj otkrivanja lica utvrditi je postoji li neko lice u slici te ako ih ima, vratiti lokaciju i opseg svakog lica. Čovjek to može lako, ali računalo su potrebne precizne upute i ograničenja. Postoji mnogo poteškoća povezanih s otkrivanjem lica, a to su mnoge varijacije u razmjeru, lokaciji, stajalištu, osvjetljenju, okluziji i mnoge druge. Iako postoje stotine potvrđenih pristupa za otkrivanje lica, jedan algoritam ima najviše utjecaja u posljednjih desetak godina, a to je Viola-Jones okvir. On se pokazao sposoban za izuzetno brzo obrađivanje slike i postiže visoki postotak otkrivanja te je praktičan za aplikacije koje rade u realnom vremenu jer mu je potrebno barem 2 slike po sekundi. Okvir kombinira koncepte Haar-like značajke, integralne slike, algoritam AdaBoost i kaskadni klasifikator kako bi stvorio brz i točan sustav za otkrivanje objekata.

Support Vector Machine (SVM) nadzirani je algoritam strojnog učenja koji konstruira liniju u prostoru s velikim dimenzijama za obavljanje zadatka klasifikacije ili prepoznavanja. Razvijen u AT&T Bell Laboratories od strane Vapnika s kolegama, predstavlja jednu od najjačih metoda predviđanja.

Dajući mu skup podataka koji je označen kao da pripada jednoj ili drugoj od dviju kategorija, SVM algoritam trenira model koji nove primjere zatim preslikava u isti prostor i predviđa pripadaju li jednoj od tih kategorije. Cilj primjene SVM-a pronaći je najbolju liniju u dvije dimenzije kako bi pomogao da se razdvoji prostor u klase. Linija se nalazi na maksimalnoj udaljenosti između podatkovnih točaka obje klase. Međutim, za prepoznavanje lica potrebno je više od dva razreda klasifikacije. Višeklasni sustav prepoznavanja uzoraka može se postići treniranjem više SVM klasa ili treniranjem više uređaja gdje svaki razdvaja jedan par klasa.

3. TESTIRANJE SUSTAVA

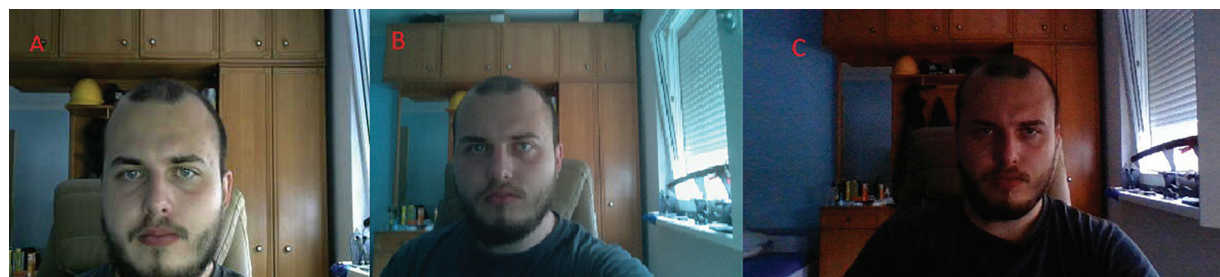
3. SYSTEM TESTING

Testovi će se izvoditi u tri različita okruženja. U prva dva koristi se Raspberry Pi 4 zbog jakog procesora s četiri jezgre koje rade na 1.5 GHz, te 4 GB RAM memorije. U okruženju A pomoću vanjskog ulaznog priključka za kameru se spaja Raspberry Pi kamera modul verzije 1.3 koji podržava video standard od 5 MP do 1080p rezolucije i ima mogućnost bržeg slanja videa i slike u usporedbi s kamerama koje se spajaju koristeći USB priključak.

Tablica 1. Opis okruženja za izvođenje testova

Table 1. Testing environment configuration details

Okruženje	CPU	RAM	Kamera	OS	Python	OpenCV
A	4 jezgre 1.5 GHz	4 GB	1080p kamera modul verzije 1.3	Raspberry Pi OS Buster	3.7.3	4.1.0
B	4 jezgre 1.5 GHz	4 GB	Logitech C270 (720p)	Raspberry Pi OS Buster	3.7.3	4.1.0
C	6 jezgri 2.2 GHz	16 GB	Integrirana HD kamera (720p)	Windows 10	3.8.2	4.2.0



Slika 1 Plain image from each environment

Figure 1 Obična slika iz svakog okruženja

U okruženju B koristi se isti Raspberry Pi s Logitech C270 HD web kamerom koja podržava 720p video. U okruženju C koristi se laptop koji simulira slabiji server. Laptop je Dell G3 15 koji sadrži Intel i7-8750H procesor sa šest jezgri koje rade do 2.2 GHz, 16 GB DDR4 RAM memorije te integriranu Widescreen HD (720p) web kameru. U Tablici 1 prikazan je opis svakog okruženja.

Prvo sve počinje od običnog videozapisa, oština i broj slika po sekundi pokazuju da je svako okruženje spremno za daljnje korake. Na Slici 1 vidi se uhvaćena slika iz videozapisa u svakome okruženju. Na Tablici 2 prikazani su rezultati testiranja broja slika u sekundi u svakome okruženju.

U klasifikaciji otkrivanja lica iz slike mogući su različiti rezultati, definiraju se s terminima stvarno (engl. True) i lažno (engl. False) koji predstavljaju je li objekt lica otkriven u slici ili ne, odnosno terminima pozitivan (engl. Positive) i negativan (engl. Negative) koji predstavljaju je li zapravo otkriveni objekt lica ili ne. Tako se dobivaju četiri moguća rezultata koji su prikazani u Tablici 3.

U sva tri okruženja bez kontroliranih uvjeta svjetlosti na do 3 m udaljenosti model svaki put ispravno otkrije lice, što se vidi na Slici 2, međutim rijetko se pojavljuju i stvarno negativni (engl. True Negative) rezultati čiji je primjer Slika 3.

Tablica 2. Broj slika po sekundi u videozapisu u svakome okruženju**Table 2.** Number of video frames per second for each environment

Okruženje	Vrijeme potrebno za 1000 slika	Broj slika po sekundi
A	33.73s	30
B	35.41s	28
C	33.98s	29

Tablica 3. Mogući rezultati otkrivanja lica**Table 3.** Possible results of face detection

	Stvarno	Lažno
Pozitivan	Lice je u slici Algoritam je otkrio lice	Lice je u slici Algoritam nije otkrio lice
Negativan	Lice nije u slici Algoritam je otkrio lice	Lice nije u slici Algoritam nije otkrio lice

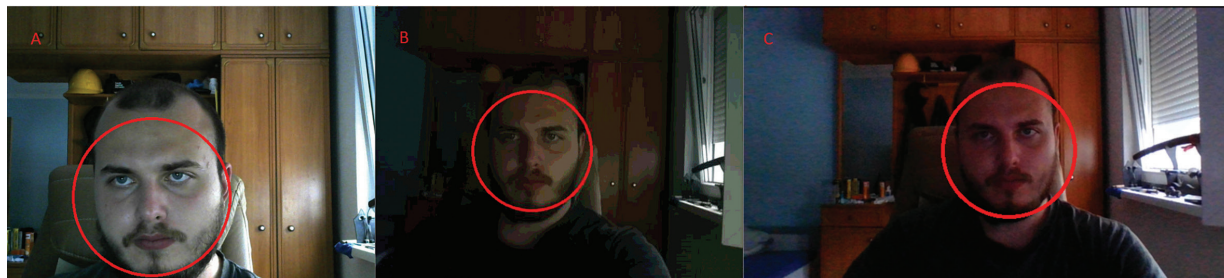
**Slika 2** Primjer otkrivanja lica u slici u svakome okruženju**Figure 2** Face detection examples for each environment**Slika 3** Primjer stvarno negativnog rezultata**Figure 3** Example of a True Negative result

Također, algoritam teško prepoznaje lice kada je ono ukošeno ili ako je svjetlost jako loša. Kako bi se utvrdila učestalost pojavljivanja neželjenih rezultata, analizirat će se pojavljivanje svakog rezultata u jednoj minuti videa. U toj minuti jedna osoba prolazi kroz kadar više puta. U Tablici 4 rezultati su toga testa.

Način na koji se može riješiti problem stvarno negativnih rezultata jest da se uz prepoznavanje lica uvede i prepoznavanje očiju te se kao željeni rezultat uzima prepoznato lice i barem jedno oko. Primjer prepoznavanja lica i očiju pokazan je u Slici 4. No s tom opcijom dodatno se opterećuje sustav i smanjuje udaljenost na kojoj model prepoznaje stvarno pozitivne (engl. True Positive) rezultate.

Tablica 4. Rezultati drugog testa otkrivanja lica**Table 4.** Second face detection test results

Okruženje	Stvarno pozitivan	Stvarno negativan	Lažno pozitivan	Lažno negativan
A	12	1	2	-
B	12	2	0	-



Slika 4 Primjer otkrivanja lica i očiju u slici u svakome okruženju

Figure 4 Face and eye detection examples for each environment

Tablica 5. Mogući rezultati prepoznavanja lica

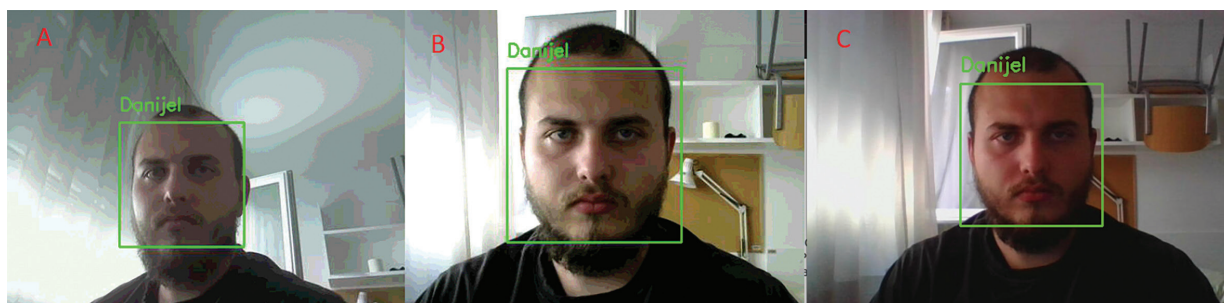
Table 5. Possible results of face recognition

	Stvarno	Lažno
Pozitivno	Prepoznato lice == Lice u modelu	Prepoznato lice != Lice u modelu
Negativno	Prepoznato lice == Lice nije u modelu	Prepoznato lice != Lice nije u modelu

Prije nego što se mogu raditi testovi s prepoznavanjem lica, prvo se mora napraviti skup podataka slika osoba koje želimo da sustav prepozna i istrenirati model koji sadrži 128 dimenzionalne vektore koji predstavljaju granice svakog skupa lica u skupu podataka. Za ovaj članak koristi se Labeled Faces in the Wild dataset koji sadrži 13233 slike od 5749 osoba te su u taj skup dodane slike autora ovog rada i njegovih poznanika. Također, u prepoznavanju lica definiraju se četiri različita rezultata koje prikazuje Tablica 5. Točnije pojašnjeno, stvarno pozitivan predstavlja točno spajanje osobe iz videozapisa s osobom u modelu (Danijel Slavulj = Danijel Slavulj). Lažno pozitivan (engl. False Positive) predstavlja spajanje osobe iz videozapisa s pogrešnom osobom u modelu (Danijel Slavulj = X). Stvarno negativan označava da model ne sadrži osobu s videa.

Lažno negativan (engl. False Negative) znači da osobe s videa nema u modelu, no ona zapravo postoji.

Prvi test isprobavanje je stvarno pozitivanih rezultata. Na Slici 5 vidi se primjer toga. Algoritam vrlo dobro prepoznaje osobu na do 3 m udaljenosti, u modelu je istreniran sa 6 slika te osobe. Međutim, zbog Viola-Jones sustava teško je prepoznati lice ako je ono ukošeno ili ako je slaba svjetlost. Već u prvom testu Raspberry Pi pokazuje manjak računalne snage da bi mogao sve uspješno procesirati jer u okruženjima A i B video ima vrlo mali broj slika po sekundi. Točnije, u okruženju A video koji se procesira kroz algoritme otkrivanja i prepoznavanja lica sadrži od 2 do 5 slika po sekundi, video u okruženju B 0.8 do 1.3 slike po sekundi, dok video u okruženju C sadrži 12 do 13 slika po sekundi.

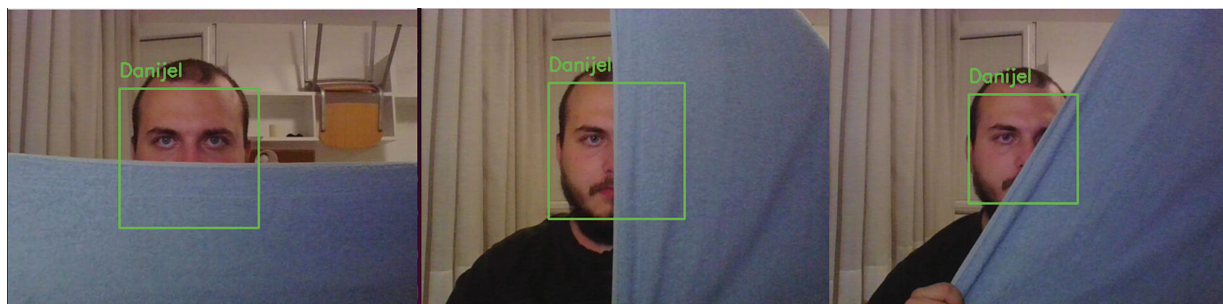


Slika 5 Primjer prepoznavanja lica u videozapisu u svakome okruženju

Figure 5 Example of face recognition in video for each environment

Tablica 6. Rezultati drugog testa prepoznavanja lica**Table 6.** Second face recognition test results

Okruženje	Stvarno pozitivan	Stvarno negativan	Lažno pozitivan	Lažno negativan
A	10	7	2	0
B	7	5	6	3
C	13	8	3	0

**Slika 6** Treći test - rezultati prekrivanja lica**Figure 6** Third test - obstructed face recognition results

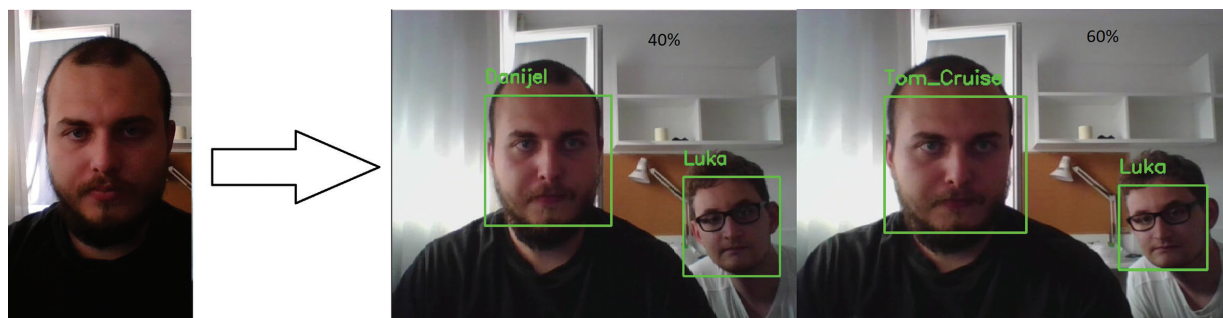
Drugi test analizira koliko se kojih rezultata pojavljuje u jednoj minuti videa. U toj minuti jedna osoba koja je u istreniranom modelu i jedna osoba koja nije u modelu prolaze nekoliko puta kroz kadar pri nekontroliranom osvjetljenju. U Tablici 6 prikazani su rezultati testa.

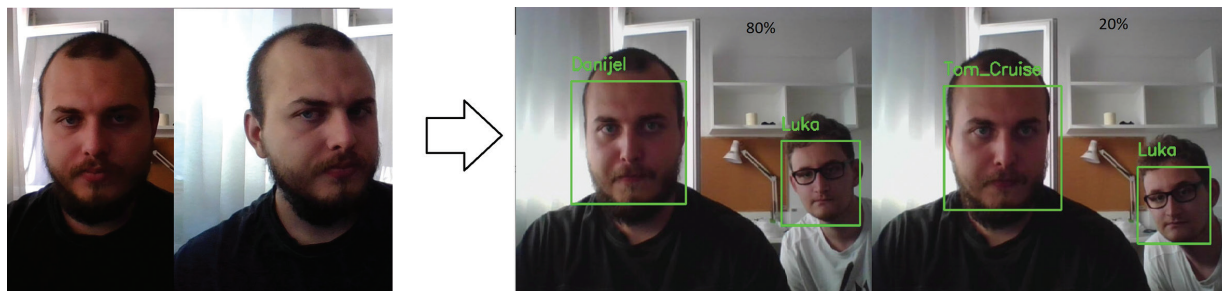
Sljedeći testovi odvijaju se samo u okruženju C radi najboljih rezultata. Treći test pokazuje da sustav uspješno daje stvarno pozitivne i stvarno negativne rezultate kada je lice pokriveno do 50%, što je prikazano na Slici 6. Ako je lice pokriveno više od toga, onda sustav ne detektira lice u videozapisu.

U četvrtom testu ispitano je s koliko je najmanje slika potrebno istrenirati model da uspješno prepozna osobu. Model se trenira sa 7 slika jedne osobe te 1 pa 2 slike druge osobe.

S jednom slikom model prepoznaje osobu 40% vremena kao stvarno pozitivnu i 60% vremena kao lažno pozitivnu, što je prikazano na Slici 7. Rezultati se izmjenjuju u vremenu oko pola sekunde ili pomicanjem lica. S dvije slike sustav je točniji te je u 80% vremena stvarno pozitivan, a 20% vremena stvarno negativan, primjer čega je na Slici 8. Na Slici 9 vidi se primjer testa učenja modela s jednom slikom skenirane osobne iskaznice te je dobiven rezultat da sustav prepoznaje osobu kao stvarno pozitivnu u samo 20% vremena dok je u ostalih 80% većinom lažno pozitivan ili stvarno negativan.

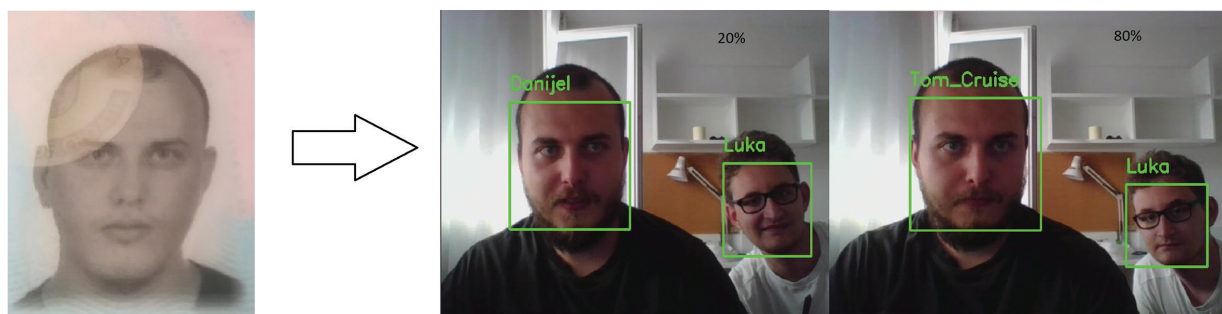
Raspberry Pi već je dovoljno snažan da lokalno izvršava program sa sustavom otkrivanja i prepoznavanja lica. Međutim, zbog ograničenih resursa nije najbolje rješenje za implementaciju većih sustava isključivo pomoću njega, nego za korištenje hibridnih rješenja.

**Slika 7** Primjer rezultata uz učenje modela s jednom slikom**Figure 7** One picture model learning test examples



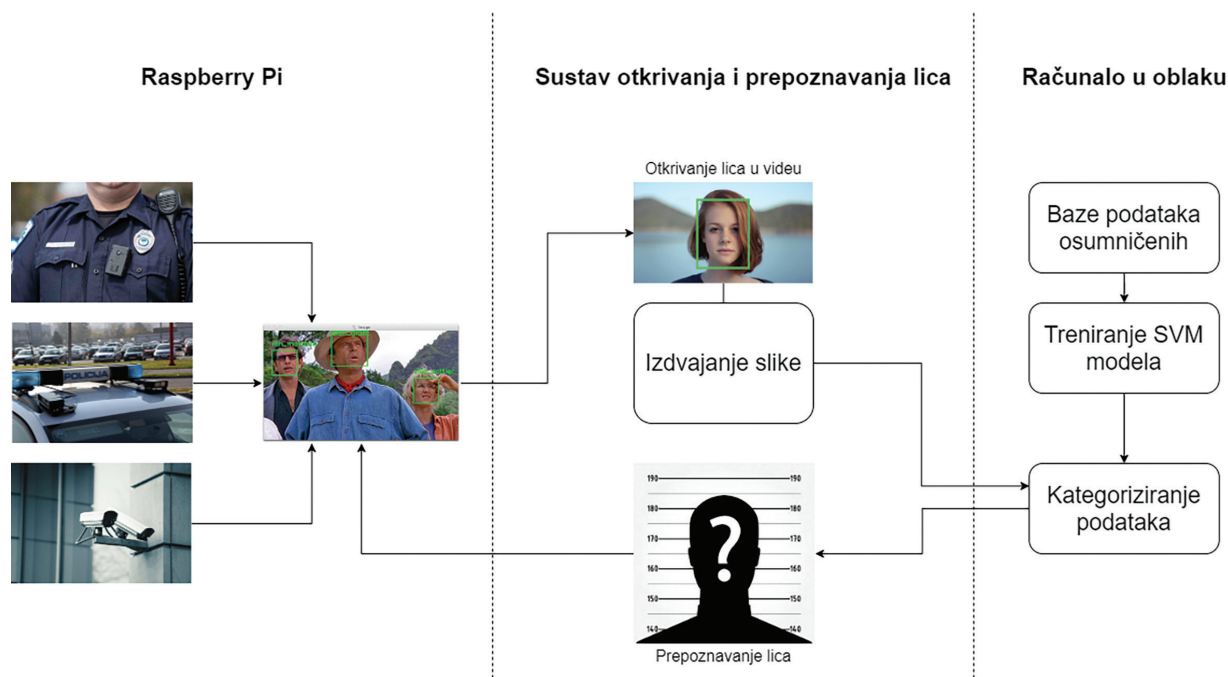
Slika 8 Primjer rezultata uz učenje modela s dvije slike

Figure 8 Two picture model learning test examples



Slika 9 Primjer rezultata uz učenje modela sa slikom s osobne iskaznice

Figure 9 Identity card picture model learning test examples



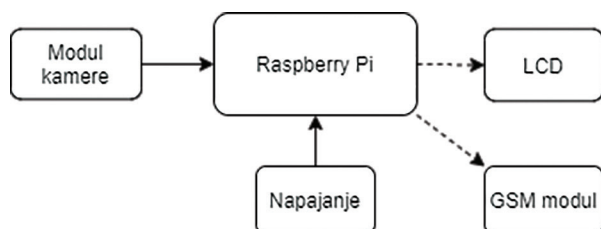
Slika 10 Detaljni prikaz sustava

Figure 10 Detailed system overview

Hibridnim rješenjem razdvaja se teže procese na drugo računalo boljih performansi. Na taj način smanjuje se opterećenost sustava bez utjecaja na točnost. Također, putem servera lakše je pristupiti centralnoj bazi podataka slika osumnjičenih u svrhu identifikacije kriminalaca.

Sustav se sastoji od 2 glavna koraka: otkrivanje lica u videu u realnom vremenu koristeći Viola Jones algoritam i prepoznavanje osobe iz slike na serveru pomoću Support vector machine metode. Detaljan dijagram funkcija sustava vidi se na Slici 10.

Raspberry Pi s kamerom može se postaviti na policijsku odoru, na policijski auto ili na neko javno mjesto. Dijagram modela sklopovlja vidi se na Slici 11. Svaka implementacija trebala bi koristiti malo drugačiju kameru ovisno o potrebnoj točnosti i količini ljudi na tom području. Prvo se na Raspberry Pi iz videa u realnom vremenu otkrivaju lica pomoću Viola Jones algoritma. Postoji nekoliko drugačijih algoritama za otkrivanje oblika iz slike, no Viola Jones algoritam smatra se jednim od najbržih za otkrivanje lica. Međutim, nije tolerantan prema rotacijama te nekim iskrivljenjima slike koja mogu dovesti do krivih (lažno pozitivnih) rezultata.



Slika 11 Dijagram predloženog sklopovlja

Figure 11 Diagram of the proposed hardware

S pojavom ogromnih količina podataka (engl. Big data) povećala se i potreba za većom računalnom snagom, brzinom interneta i kapacitetom memorije, što se riješilo takozvanim računalima u oblaku koja nude takvu uslugu s udaljene lokacije bez problema sigurnosti i mobilnosti. Razvojem tehnologije na svim pametnim uređajima, uključujući mobitele, potrebna su komplicirana računanja kao što je strojno učenje modela i prepoznavanje uzoraka te su za takve izazove najbolja hibridna rješenja. Neki su od najvećih pružatelja usluga računala u oblaku Amazon, Microsoft, Google i IBM. Istrenirani skup podataka za ovaj sustav prevelik je da bi ga svaki Raspberry Pi držao pohranjenog te je to još jedan razlog zašto je odabrano hibridno rješenje.

4. ZAKLJUČAK

4. CONCLUSION

Tehnologija prepoznavanja lica uvelike može pomoći snagama reda i mira. Sustav bi uz svoju točnost prepoznao osobe kojima je određena samoizolacija te obavijestio nadležna tijela.

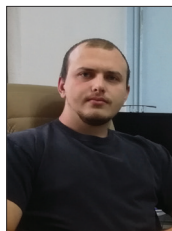
Osim novih svrha, također bi unaprijedio neke stare načine postupanja i povećao sigurnost policijskim zaposlenicima. U radu je predložena arhitektura sustava te su analizirane mogućnosti algoritama. U poglavlju 3 provedeni su testovi koji su pokazali da takva arhitektura može uspješno izvršavati zamišljene zadatke. Nastavak ovog rada bio bi izrada prototipa sustava i ispitivanje u problemima stvarnog života.

5. REFERENCE

5. REFERENCES

- [1.] Saad, Asif: „5G Mobile Communications: Concepts and Technologies“, CRC Press, DOI 10.1201/9780429466342, 2018.
- [2.] Police use facial recognition technology to detect wanted criminals during beer festival in Chinese city of Qingdao, Priyankar Bhunia, URL: <https://web.archive.org/web/20171116082821/http://opengovasia.com/articles/7975-police-use-facial-recognition-technology-to-capture-wanted-criminals-during-beer-festival-in-chinese-city-of-qingdao> , 2017.
- [3.] Viola, Paul; Jones, Michael: „Rapid object detection using a boosted cascade of simple features“, Accepted conference on Computer Vision and Pattern Recognition, CiteSeerX 10.1.1.10.6807, 2001.
- [4.] Cortes, Corinna; Vapnik, Vladimir N.: „Support-vector networks“, Machine Learning, DOI 10.1007/BF00994018, 1995.
- [5.] Raspberry Pi, Raspberry Pi Foundation, URL: <https://www.raspberrypi.org/> , 15.6.2020.
- [6.] Python 3.8, Python Software Foundation, URL: <https://www.python.org/downloads/release/python-383/> , 16.6.2020.
- [7.] Szeliski, Richard: „Computer Vision: Algorithms and Applications“, Springer-Verlag, DOI 10.1007/978-1-84882-935-0_1, 2010.
- [8.] PyPI, Python Software Foundation, URL: <https://pypi.org/> , 18.6.2020.
- [9.] Debian – License information, Software in the Public Interest, URL: <https://www.debian.org/legal/licenses/> , 20.6.2020

- [10.] Ballard, Dana H.; Brown, Christopher M.: „Computer vision“, Prentice-Hall, ISBN 0131653164, 1982.
- [11.] Viola, Paul; Jones, Michael: „Robust Real-time Object Detection“, International Journal of Computer Vision, DOI 10.1023/B:VISI.0000013087.49260.fb, 2001.
- [12.] Jensen, Ole Helvig: „Implementing the Viola-Jones Face Detection Algorithm“, Technical University of Denmark, ISBN 87-643-0008-0, 2008.
- [13.] Faruqe, Omar; Hasan, Md. Al Mehedi: „Face recognition using PCA and SVM“, 3rd International Conference on Anti-Counterfeiting, Security and Identification, DOI 10.1109/ICASID.2009.5276938, 2009.

AUTORI · AUTHORS

• **Danijel Slavulj**

Rođen 1999. godine. Završio matematičku gimnaziju u Kutini 2017. i iste godine upisao Informatiku na Tehničkom Veleučilištu u Zagrebu.

Završetkom preddiplomskog studija 2020. stječe titulu stručnog prvostupnika inženjera informacijskih tehnologija. Područja interesa su mu ugrađeni sustavi i umjetna inteligencija.

Korespondencija · Correspondence

danijel.slavulj@tvz.hr

• **Davor Cafuta** - nepromjenjena biografija nalazi se u časopisu Polytechnic & Design Vol. 5, No. 1, 2017.

Korespondencija · Correspondence

davor.cafuta@tvz.hr



• **Jelena Kapelac Gulić**

Nastavnik je elektrotehničke skupine predmeta u Srednjoj školi Jelkovec. Kao vanjski suradnik u zvanju asistenta na Informatičko-računarskom odjelu Tehničkog veleučilišta

u Zagrebu radi od 2015. godine. Diplomirala je na Fakultetu elektrotehnike i računarstva Sveučilišta u Zagrebu, smjer Radiokomunikacije i profesionalna elektronika, gdje stječe titulu diplomiranog inženjera elektrotehnike. Područje interesa su joj ugrađeni sustavi.

Korespondencija · Correspondence

jkapelac@tvz.hr

• **Ivica Dodig** - nepromjenjena biografija nalazi se u časopisu Polytechnic & Design Vol. 5, No. 1, 2017.

Korespondencija · Correspondence

ivica.dodig@tvz.hr

• **Brigitta Cafuta** - nepromjenjena biografija nalazi se u časopisu Polytechnic & Design Vol 7 No. 2, 2019.

Korespondencija · Correspondence

brigitta.cafuta@tvz.hr