

Razvoj aparature opreme za kompakten sistem nadzora dostopa na podlagi razpoznavanja šarenice

Damjan Zadnik¹, Andrej Žemva²

¹ Iretec, d.o.o., Ulica Lojzeta Hrovata 1A, 4000 Kranj, Slovenija

² Univerza v Ljubljani, Fakulteta za elektrotehniko, Tržaška 25, 1000 Ljubljana, Slovenija
E-pošta: damjan.zadnik@iretec.eu, andrej.zemva@fe.uni-lj.si

Povzetek. Sistemi nadzora dostopa, ki temeljijo na analizi slike očesne šarenice, spadajo med najzanesljivejše neinvazivne sisteme za biometrično identifikacijo. Niti enojajčna dvojčka nimata enakih šarenic. Večina danes instaliranih sistemov za avtomatiziran nadzor dostopa na podlagi razpoznavanja šarenice, temelji na Daugmanovih algoritmih, ki proizvedejo le 2048 bitov dolgo kodo slike šarenice, kar omogoča hitro iskanje najbolj podobne kode v velikih bazah podatkov. Namreč, vsak sistem za razpoznavanje šarenice je sestavljen iz zajemanja slike šarenice, segmentiranja slike šarenice, kodiranja slike šarenice in iskanja kode. Koncept razvite aparature opreme, ki ga predstavljamo v tem delu, deloma temelji na rezultatih raziskovalcev z znanstvenega področja implementacije algoritmov za razpoznavanje šarenice na vgrajenem sistemu. Po drugi strani so tudi rezultati naše tržne analize bistveno pripomogli k tehničnim specifikacijam za razvoj izdelka.

Ključne besede: nadzor dostopa, biometrična identifikacija, razpoznavanje šarenice, vgrajeni sistem

Hardware design for a compact access control system based on iris recognition

Access control systems based on iris recognition belong to the most reliable noninvasive systems for biometric identification. Even identical twins don't have the same irises. Most of the today's installed automated iris recognition access control systems are based on the Daugman's algorithms, which generate only 2048 bits long iris code. This short iris code enables fast and the best iris match searches through large databases. Namely, any iris recognition system is composed of iris image acquisition, iris image segmentation, iris image coding and iris code search. The concept of the developed hardware presented in this work is in some parts based on the work of many researchers in the scientific field of iris recognition algorithms implementations on embedded systems. However, the design requirement specifications for the product are based also on our market analysis.

Keywords: access control, biometric identification, iris recognition, embedded system

1 UVOD

Ko vstopamo v nadzorovana območja, se običajno preveri naša identiteta. Identifikacijske dokumente lahko izgubimo oziroma so nam ukradeni, zato obstaja velik interes za zanesljivo in varno identifikacijo. Avtomatizirani sistemi nadzora dostopa, ki temeljijo na analizi vzorca očesne šarenice, spadajo med najzanesljivejše neinvazivne sisteme biometrične identifikacije [1]. Biometrija je veda, ki se ukvarja z merjenjem fizičnih ali vedenjskih značilnosti oseb.

Biometrični sistemi uporabljajo biometrijo kot orodje za razpoznavanje oseb. Prednosti uporabe očesne šarenice za identifikacijo oseb je veliko. Prvi članek na to temo je bil objavljen že leta 1885 [2]. Strukture šarenice (pege, brazde, proge, kolobarji) naključno nastajajo v več plasteh in se pri človeku začnejo razvijati, ko je plod star tri mesece. Vzorec se dokončno formira leto dni po rojstvu in ostane vse življenje osebe tako rekoč nespremenjen. Strukture v šarenici nastajajo naključno in niso genetsko pogojene, zato niti enojajčna dvojčka nimata enakih vzorcev struktur v šarenici. Verjetnost, da se dve šarenici ujemata za 70 % ali več, je enaka 1 proti 7 milijardam. Šarenica je edini človeški notranji organ, ki je dobro viden od zunaj, kar omogoča neinvazivno zajemanje njene slike. Zelo dobro je zaščiten pred okoljskimi vplivi. Nemogoče jo je kirurško spremeniti. Spreminjanje velikosti šarenice s spreminjanjem intenzitete osvetlitve, omogoča zaznavanje živega očesa [3], [4], [5].

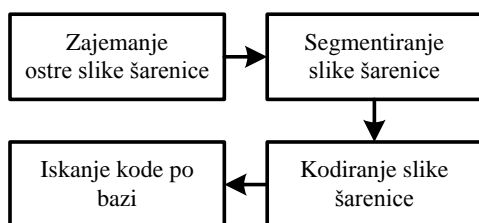
2 ZNANSTVENO PODROČJE AVTOMATIZIRANEGA RAZPOZNAVANJA ŠARENICE

2.1 Širše znanstveno področje

Znanstveno področje avtomatiziranega razpoznavanja oseb na podlagi očesne šarenice je razmeroma novo. Leta 1987 sta Floom in Safir [6] patentirala teorijo delovanja prvega tovrstnega sistema, ki pa ni bil nikoli

implementiran. Prvi dejansko implementiran algoritem je bil objavljen šele leta 1993 [3]. Daugmanov algoritem zakodira sliko očesne šarenice v niz 2048 bitov. Kratka in učinkovita koda omogoča hitro in zanesljivo iskanje po velikih bazah slik šarenic.

Slika 1 prikazuje osnovno zasnovo avtomatiziranega zaznavanja očesne šarenice. Preverjana oseba se postavi pred avtomatiziran sistem, ki zajame ostro sliko očesa. Številne raziskovalne skupine so se ukvarjale z doseganjem zadostne ostrine slike. Najbolj razširjen je Daugmanov pristop analiziranja energije visokofrekvenčnih komponent v frekvenčnem spektru slike [3]. Preostali algoritmi s področja preverjanja ostrine slike, kot npr. Kanga in Parka [7] ali Wei et al. [9], so v osnovi zelo podobni Daugmanovemu pristopu. Danes so raziskave usmerjene v zajemanje slike šarenice med hojo. Eden pomembnejših projektov s tega področja je projekt »Iris on the move« [9].



Slika 1: Osnovna zasnova avtomatiziranega sistema razpoznavanja šarenice

Sledi segmentiranje slike šarenice. Znanstveni prispevki s tega področja so pomemben delež prispevkov s področja razpoznavanja šarenice. Najpomembnejši deli s tega področja sta prispevka Daugmana [3] in Wildesa [10]. Novejše raziskave na tem področju potekajo v smeri predpostavk, da kolobar šarenice ni sestavljen iz popolnih krožnic, in se upoštevajo vse nepravilnosti šarenice pri določanju roba, npr. Chen et al. [11] ali He et al. [12].

Tudi na znanstvenem področju kodiranja slike šarenice je eno najpomembnejših del Daugmanov prispevek [3], ki poišče značilke slike s pomočjo dvo-dimenzionalnih Gaborjevih valjčnih funkcij, ki imajo značilnost dobre lokalizacije podrobnosti tako v prostorski kot frekvenčni domeni. Dekompoziciji sledi kodiranje frekvenčnih komponent v 0 ali 1, glede na kot fazne komponente. Pozneje sta Thepade in Bidwai s pomočjo programskega paketa Matlab primerjala uporabo Kosinusne, Walsheve, Harrove, Slantove, Kekregove in Hartleyeve valjčne preslikave pri kodiranju slike šarenice. Ugotovila sta, da se različne preslikave bolje ali slabše odrežejo glede na kakovost slike in nastavitve parametrov preslikave [13].

V zadnjem koraku se dobljena koda, ki jo dobimo kot rezultat predhodnih korakov obdelave slike šarenice, uporabi za iskanje najbolj podobne kode po bazi prej shranjenih kod. V tem koraku Daugman kot mero podobnosti uporabi Hammingovo razdaljo, ki se izračuna kot XOR bitna operacija med dvema 2048-

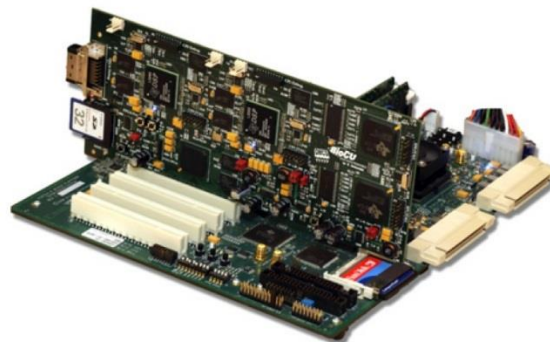
bitnima kodama in prešteje število enic v XOR rezultatu [3].

Zanesljivost delovanja algoritmov za nadzor dostopa lahko tudi izmerimo. Pri tem se največkrat uporabljata metriki FAR (angl. False Accept Rate) in FRR (angl. False Reject Rate). Pri FAR (napaka tipa 2) gre za delež potrjenih napačnih testnih vzorcev glede na število vseh poskusov. Pri FRR (napaka tipa 1) gre za delež zavrnjenih pravih testnih vzorcev glede na število vseh poskusov [14]. Npr. na primerjalnih testih leta 2005 so najboljši algoritmi v povprečju dosegali FRR=0,014 pri FAR=0,001 [15].

2.2 Znanstveno področje implementacije algoritmov za razpoznavanje šarenice na vgrajenem sistemu

V zadnjem desetletju in pol se je veliko raziskovalcev ukvarjalo z možnostjo implementacije algoritmov za razpoznavanje šarenice na vgrajenih sistemih. Namen raziskav je največkrat povezan s pohitritvami izvajanja določenih delov kode. Pohitritev se lahko doseže z vzporednim izvajanjem, za kar raziskovalci največkrat uporabljajo FPGA-vezja.

Grabowski in Napieralski predstavita arhitekturo vgrajenega sistema, na katerem so uspešno in učinkovito implementirali prepoznavanje šarenice po Daugmanovem principu. Sistem je sestavljen iz dveh elektronskih tiskanin, ki temeljita na dveh FPGA-vezjih in štirih DSP-procesorjih [16]. Zgrajen sistem je prikazan na sliki 2.



Slika 2: Primer vgrajenega sistema za avtomatizirano razpoznavanje šarenice poljskih raziskovalcev [16]

Hematian et al. pokažejo prednosti FPGA-vezja v smislu vzporednega izvajanja proti sekvenčnemu izvajanju pri klasičnih procesorskih arhitekturah. Raziskovalna skupina je uspešno implementirala Daugmanov algoritem v vezju FPGA [17]. Liu-Jimenez et al. predstavijo FPGA-implementacijo le določenih korakov Daugmanovega algoritma. Implementirajo kodiranje šarenice in iskanje najbolj podobne kode v bazi [18]. Tudi Mitello et al. implementirajo celoten Daugmanov algoritem na vezju FPGA. Podrobneje analizirajo izvajanje posameznih delov algoritma v

primerjavi z izvajanjem na osebem računalniku. V povprečju znaša faktor pohitritve med 7 in 8 [19]. Yoo et al. uporabijo ARM9-mikrokontrolnik v povezavi s FPGA-vezjem. Povežejo dve razvojni tiskanini z namenom optimizacije izvajanja posameznih delov algoritma za prepoznavanje šarenice. Očesno šarenico prepoznajo v eni sekundi [20].

3 TRG AVTOMATIZIRANIH SISTEMOV NADZORA DOSTOPA NA PODLAGI RAZPOZNAVANJA ŠARENICE

3.1 Opis problema

Daugmanovi algoritmi za avtomatizirano prepoznavanje šarenice iz leta 1993 še danes veljajo za najpomembnejše delo na tem področju. Večina danes instaliranih sistemov za nadzor dostopa na podlagi razpoznavanja šarenice temelji na tem principu. Gre za kompleksne in drage sisteme, ki so lahko med seboj povezani prek baz standardno zakodiranih šarenic. Seveda takšen koncept sistema ni primeren za trg za široko porabo, kjer imajo lahko izdelki nestandardno in lokalno bazo shranjenih kod šarenic, saj povezljivost sistemov v takšnih aplikacijah ni pomembna.

Trenutno nobeden od evropskih izdelovalcev vhodnih vrat še ne ponuja modula za razpoznavanje šarenice, ki bi bil vgrajen v vrata, ker ta tehnologija v obliki modula, ki bi bil primeren za vgradnjo, še ni na voljo po sprejemljivi ceni. Cenovno dostopni čitalniki prstnih odtisov, namenjeni vgradnji, obstajajo, zato jih izdelovalci vhodnih vrat že vsaj štiri leta vgrajujejo in ponujajo svojim kupcem [21].

3.2 Priložnost na trgu in potencialni kupci

V moderni družbi postaja varnost vse bolj pomembna. V letih od 2005 do 2014 se je v Nemčiji število vlomov povečalo za 12,6 % in za 6,7 % v Franciji. Nizozemska je po številu vlomov na prebivalca vodilna država v svetu s 1.508 vlemi na 100.000 prebivalcev. Sledijo ji Grenada, Danska, Švedska in Belgija [21].

Pričakovati je, da bo svetovni trg elektronskih ključavnic naraščal povprečno za 30,8 % na leto in bo do konca leta 2025 narasel na 15 mrd USD, z 1,1 mrd USD v letu 2016. Rast bo posledica naraščanja števila majhnih in srednje velikih podjetij in naraščanja povpraševanja po domačih varnostnih sistemih. Na svetovnem trgu elektronskih ključavnic bodo prevladovali biometrični sistemi, in sicer bo teh do leta 2025 že 73 % [21].

Velikost trga elektronskih ključavnic je v Evropi v letih 2016 in 2017 znašala 334,5 mio USD in 414,4 mio USD, kar pomeni 23,8 odstotno povečanje prodaje v enem samem letu. Evropski trg elektronskih ključavnic je leta 2017 pomenil 35 % svetovnega trga. Do leta 2026 bo ta delež padel na 30 %, predvsem na račun povečanega povpraševanja azijsko-pacifiške regije [21].

Glede na način dostopa je trg elektronskih ključavnic razdeljen na dva segmenta: elektronske ključavnice s tipkovnico in elektronske ključavnice z biometričnim vmesnikom. Zadnje danes pomenijo dve tretjini svetovnega trga elektronskih ključavnic, predvsem zaradi dobre razširjenosti in uveljavljenosti tehnologije razpoznavanja prstnega odtisa. Prevladujoča uporaba tehnologije prstnih odtisov bo začela upadati, predvsem zaradi vrste načinov možnih zlorab takšnih sistemov. Posledično bo povpraševanje po sistemih za razpoznavanje šarenice naraščalo z ocenjeno letno stopnjo rasti 41,3 % v obdobju od leta 2017 do leta 2026 [21].

Danes izdelovalci vhodnih vrat v izdelke najdražjega cenovnega segmenta vgrajujejo čitalnike prstnih odtisov. Trenutno gre za najbolj razširjeno biometrično tehnologijo, ki se uporablja pri nadzoru dostopa na podlagi biometrične identifikacije. Ocenjen svetovni trg biometrične tehnologije bo v letu 2018 znašal 23,2 mrd USD. Delež svetovnega trga biometrične tehnologije na podlagi prstnega odtisa znaša 66 %, delež svetovnega trga biometrične tehnologije na podlagi razpoznavanja obraza znaša 12 % in delež svetovnega trga biometrične tehnologije na podlagi razpoznavanja šarenice znaša 7 %. Delež preostalih biometričnih tehnologij je 15-odstoten [21].

3.3 Izdelki konkurence

Izdelki za nadzor dostopa na podlagi razpoznavanja šarenice Nano NXT, iCAM7000, EyeScreen, KEES, Iris IM, IrisOne in Door Bird podjetij eyeLock, IrisID, UBKEY, SRI International, iDLink systems, Bioenable in Bird Home Automation so samostojni izdelki, namenjeni končnemu uporabniku, ki se namestijo na steno poleg vhodnih vrat. Vgradnja v vrata pri vseh teh izdelkih ni predvidena. Izdelki so mišljeni kot nadgradnja obstoječih vrat z elektronsko ključavnico. Gre za kompleksne izdelke, nerodne za montažo, njihova cena pa je od 1.500 do 3.000 evrov [21].



Slika 3: Izdelka Iris IM, UBKEY in podjetij iDLink systems in EyeScreen [21]

4 RAZVITA APARATURNI OPREMA IZDELKA ZA NADZOR DOSTOPA NA PODLAGI RAZPOZNAVANJA ŠARENICE

Po pregledu del raziskovalcev s področja implementacije algoritmov razpoznavanja šarenice na vgrajenem sistemu, smo prišli do unikatne arhitekture, zgrajene iz najsodobnejših komponent, ki omogoča implementacijo kompleksnih algoritmov na podlagi razpoznavanja šarenice. Predstavljeni vgrajeni sistem bo sliko šarenice zajel in obdelal v času do 1500 ms. Poleg tega je arhitektura vgrajenega sistema zasnovana tako, da je mogoče vso elektroniko vgraditi v ohišje, ki omogoča preprosto vgradnjo v izdelke kupcev.

Programska oprema sistema oziroma algoritmi za zajemanje ostre slike in razpoznavanje šarenice, ki so še v fazi razvoja, so popolnoma prilagojeni arhitekturi predstavljenega vgrajenega sistema. Na tem mestu omenimo le, da algoritmi delujejo na principu korelacijskih filtrov, ki jih je mogoče zelo učinkovito implementirati v vezju FPGA.

4.1 Blokovni diagram izdelka

Blokovni diagram razvitega izdelka prikazuje slika 4. Razen slikovnega tipala je vse uporabljene mogoče kupiti pri spletnih prodajalcih elektronskih komponent, kot sta Farnell ali DigiKey. Osrednja komponenta sistema je mikrokrmilnik SAM E70, ki krmili infrardeči merilnik razdalje, infrardeči izvor svetlobe, slikovno tipalo C-MOS, pomnilnik SDRAM, vezje FPGA MAX10 in vhodni vmesnik.

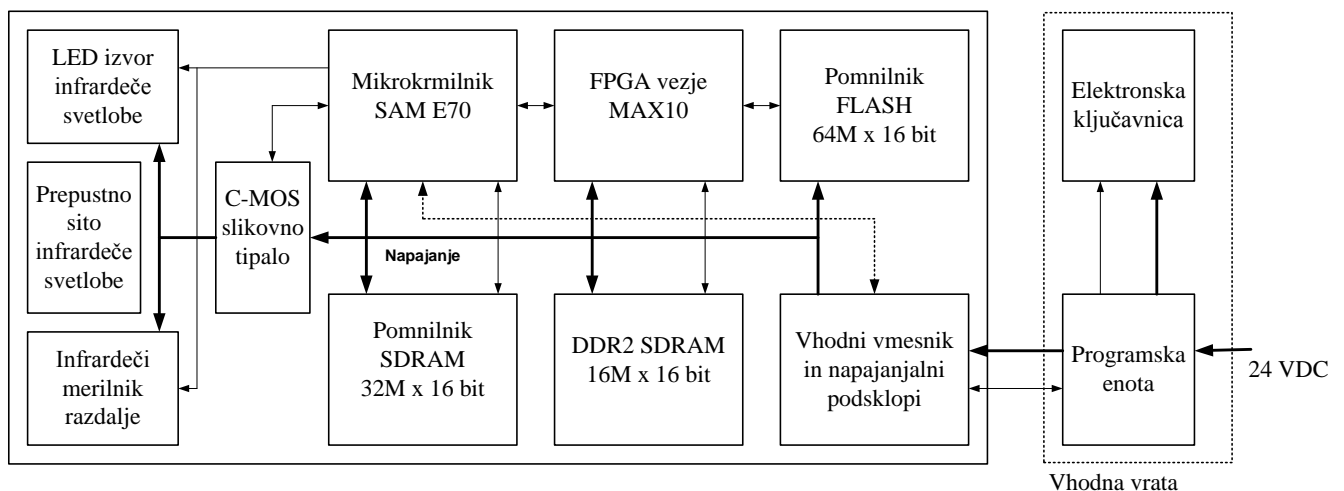
Infrardeči merilnik razdalje se najprej uporabi kot tipalo prisotnosti osebe pred napravo. Ko je oko na razdalji med 50 mm in 80 mm, se sproži proces zajemanja ostre slike. Področje očesa, katerega sliko zajema slikovno tipalo, osvetlimo z infrardečo svetlobo.

S tem se izognemo motečemu slepljenju uporabnika. V kombinaciji s svetlobnim sitom, ki prepušča pas infrardeče svetlobe, dosežemo, da je oko enako osvetljeno pri različnih pogojih zunanje osvetlitve.

Slikovno tipalo ima vgrajeno motorizirano lečo. S pomikanjem leče lahko zajamemo različno ostre slike, pri čemer se upošteva tudi trenutna izmerjena razdalja do očesa. Mikrokrmilnik zajame serijo slik z različnimi goriščnimi razdaljami leče in jih shrani v zunanji pomnilnik SDRAM. Ob matematično ko-procesorski podpori vezja FPGA nato poišče najostrejšo sliko očesa. Le-ta se nato uporabi v nadaljnjih korakih razpoznavanja šarenice, katerih izračun tudi poteka ob podpori vezja FPGA.

Pomnilnik DDR2 SDRAM je zunanji delovni pomnilnik vezja FPGA. Tu je uporabljena tehnologija DDR2, ki omogoča dvakrat večjo količino prenosa podatkov pri enakem taktu ure kot klasična tehnologija SDRAM. Kodirana slika šarenice, ki jo dobimo kot rezultat obdelave ostre slike očesa, se lahko uporabi na dva načina. Lahko jo dodamo v bazo shranjenih kod, ki se nahaja v pomnilniku FLASH, ali jo primerjamo z obstoječimi kodami v bazi, za identifikacijo osebe, ki želi dostop. Pomnilnik FLASH je vezan kot zunanji pomnilnik na vezje FPGA, saj algoritem primerjave dveh slik dela ob močni matematični podpori vezja FPGA.

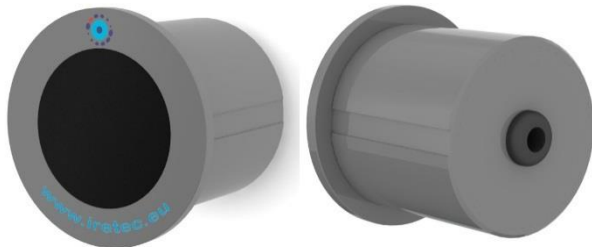
Prek vhodnega vmesnika vgrajeni sistem komunicira s programsko enoto v vratih. Protokol komunikacije je odvisen od izdelovalca programske enote in elektronske ključavnice, ki sta največkrat napajana z enosmernim napajanjem 24 V. Enako napajanje je pripeljano tudi v naš vgrajeni sistem, kjer se nato pretvori v različne napajalne napetosti med 1.8 V in 12 V, glede na potrebe podslobov, ki jih napajamo.



Slika 4: Blokovni diagram razvitega izdelka

4.2 Ohišje izdelka

Na podlagi rezultatov analize trženja smo razvili ohišje, ki omogoča preprosto integracijo sistema za razpoznavanje šarenice neposredno v vhodna vrata. Ohišje razvitega izdelka je iz aluminija in je prikazano na sliki 5.

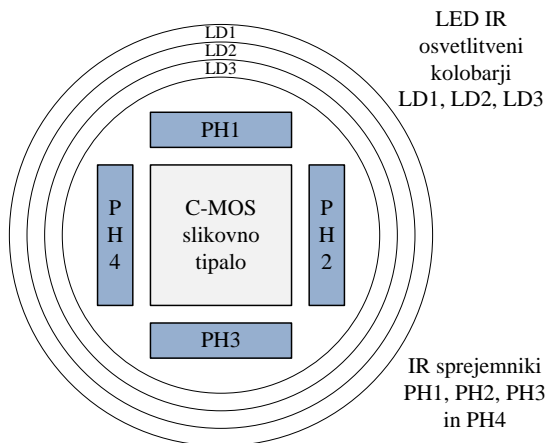


Slika 5: Ohišje razvitega izdelka

Prevodno, kovinsko ohišje, v obliki tulca, veliko 40 mm x 40 mm, izdelku zagotavlja mehansko zaščito in skladnost EMC. Izdelek se vstavi v okroglo odprtino v vratih. Utora na obeh straneh ohišja izdelku zagotavljata pravo orientacijo. Ohišje omogoča preprosto popravilo ali menjavo celotnega izdelka. Na prednji strani ohišja je pokrov z vgrajenim prepustnim infrardečim sitom svetlobe. Povezovalni kabel se namesti skozi uvodnico na pokrovu na zadnji strani.

4.3 Osvetlitev očesa in merjenje razdalje do očesa

Slika 6 prikazuje za ta izdelek razvit inovativen koncept enakomerne osvetlitve očesa z infrardečo (IR) svetlobo, ki se obenem uporablja tudi kot sistem za IR merjenje razdalje med očesom in slikovnim tipalom.



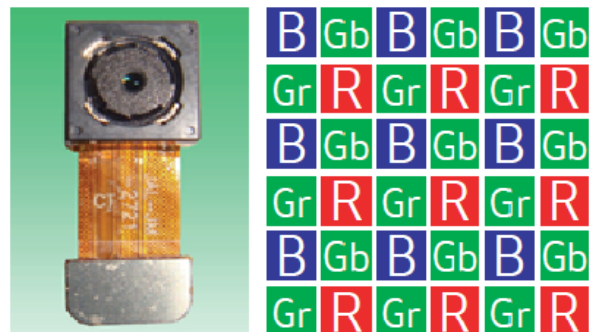
Slika 6: Koncept osvetlitve in merjenja razdalje

IR osvetlitev je postavljena krožno-simetrično glede na slikovno tipalo C-MOS. Zgrajena je iz diod SMD LED z valovno dolžino 940 nm, ki so postavljene v treh kolobarjih LD1, LD2 in LD3 okrog slikovnega tipala. Okrog slikovnega tipala so postavljeni tudi štirje IR

sprejemniki PH1, PH2, PH3 in PH4 (IR fotodiode), ki sprejemajo odbito IR valovanje. Razdalja do očesa je izračunana iz jakosti sprejetega signala. Ko je sistem uporabljen kot merilnik razdalje, je aktiven le kolobar LD2, ki se prižiga in ugaša s frekvenco 10 KHz. Ojačevalniki sprejemnih fotodiod so uglašeni na frekvenco 10 KHz. S tem bistveno zmanjšamo zunanje vplive na meritev. Ko vse štiri fotodiode zaznajo signal približno enake jakosti, ki obenem govori o ustrezni razdalji med očesom in slikovnim tipalom, se za čas zajemanja slik aktivirajo vsi trije osvetlitveni kolobarji, ki osvetlijo oko med zajemanjem slike.

4.4 Zajemanje slike

Osnova razvitega sistema je modul C-MOS slikovnega tipala JAL-OV5640, ki ima vgrajeno barvno slikovno tipalo OV5640 izdelovalca OmniVision in motorizirano lečo. Modul je prikazan na sliki 7. Vgrajeno slikovno tipalo je veliko 1/4 palca in ima 5 Mpikslov. Nadzor nad tipalom in pomikanjem leče poteka preko vmesnika I2C, branje slike pa preko vzporednega vmesnika. Pri polni ločljivosti 2592 x 1944 pikslov lahko preberemo 15 slik na sekundo. Piksli tipala so razporejeni v obliki Bayer, kjer se izmenično izmenjujejo modro-zeleni ter zeleno-rdeči piksli. Globina vsakega piksla je 10 bitov, lahko pa iz tipala dobimo tudi že interpolirane 8-bitne sivinske piksle.



Slika 7: Modul slikovnega tipala C-MOS (levo) in razpored pikslov v obliki Bayer (desno)

Podobna tipala, ki omogočajo zajemanje ostre slike s pomikanjem vgrajene leče, so danes vgrajena v večini pametnih telefonov, zato je cena te komponente smešno nizka. Bolj problematična sta nakup le-te in pridobivanje ustrezne tehnične dokumentacije.

4.5 Obdelava zajete slike

Osnovna procesna enota vgrajenega sistema je mikrokrmilnik izdelovalca Microchip, družine SAM E70, z zmogljivim procesorskim jedrom ARM Cortex-M7, ki deluje na osnovni frekvenci do 300 MHz. Mikrokrmilnik ima 384 KB vgrajenega delovnega SRAM pomnilnika, 2 MB vgrajenega programskega pomnilnika in celo vrsto standardnih perifernih

vmesnikov, med katerimi je najbolj dobrodošel vmesnik za slikovno tipalo C-MOS. Zunanji delovni pomnilnik SDRAM v velikosti 64 MB je priključen neposredno na periferni vmesnik mikrokrmilnika za zunanji pomnilnik.

Računsko zahtevni deli algoritmov za obdelavo slike so implementirani na vezju FPGA MAX10 izdelovalca Intel. Glavna prednost vezja je, da ne potrebuje zunanjega serijskega pomnilnika za nalaganje kode, saj je le-ta že vgrajen. Vezje FPGA nima vgrajenih perifernih vmesnikov za neposreden priklop zunanjih pomnilnih enot, zato smo tako vmesnik za pomnilnik DDR2 SDRAM, kot tudi vmesnik za pomnilnik FLASH, morali razviti sami.

5 SKLEP

Predstavljen je bil razvoj aparature opreme visokotehnološkega izdelka, ki precej obeta, saj trenutno na trgu še ni podobnega izdelka. S tržno raziskavo, ki smo jo opravili v podjetju Iretec, d.o.o., smo potrdili, da povpraševanje po izdelku obstaja. V prihajajočih mesecih bomo na razviti aparaturni opremi razvijali in testirali algoritme zajemanja ostre slike in razpoznavanja šarenice. Testiranje izdelka bo potekalo v obliki znanstvene raziskave, v okviru katere bomo z uporabo sto slik šarenic petdesetih anonimnih prostovoljcev določili zanesljivost delovanja celotnega izdelka v obliki metrik FAR in FRR. Rezultate raziskave bomo uporabili predvsem pri trženju izdelka.

ZAHVALA

Delo je bilo opravljeno v okviru doktorskega študija na Fakulteti za elektrotehniko, ki ga v okviru programa »Javni razpis za sofinanciranje doktorskih študentov – generacija 2016« sofinancira Univerza v Ljubljani.

LITERATURA

- [1] M. J. Burge in K. W. Bowyer. Handbook of Iris Recognition. Springer-Verlag, 2013.
- [2] A. Bertillon. La couleur de l'iris. Rev. Sci 36(3):65 -73, 1885.
- [3] J. G. Daugman. High confidence visual recognition of persons by a test of statistical independence. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 15(11):1148 -1161, 1993.
- [4] A. M. George in C. A. Durai. A survey on prominent iris recognition systems. Information Communication and Embedded Systems (ICICES), 2013 International Conference on, pages 191 -195, 2013.
- [5] R. P. Wildes. Iris recognition: an emerging biometric technology. Proceedings of the IEEE, 85(9):1348 -1363, 1997.
- [6] L. Flom in A. Safir. Iris recognition system. U.S. Patent US4641349A, 1987.
- [7] B. J. Kang in R. Park. A study on iris image restoration. International Conference on Audio- and Video-Based Biometric Person Authentication, pages 31 -40, 2005.
- [8] Z. Wei, T. Tan, Z. Sun in J. Cui. Robust and fast assessment of iris image quality. Springer LNCS 3832: International Conference on Biometrics, pages 464 -471, 2006.
- [9] J. R. Matey, O. Naroditsky, K. Hanna, R. Kolczynski, D. J. Lofacono, S. Mangru, M. Tinker, T. M. Zappia in W. Y. Zhao.

- Iris on the Move: Acquisition of Images for Iris Recognition in Less Constrained Environments. Proceedings of the IEEE, 94(11):1936 -1947, 2006.
- [10] R. P. Wildes. Iris recognition: an emerging biometric technology. Proceedings of the IEEE, 85(9):1348 -1363, 1997.
 - [11] R. Chen, X. Lin, T. Ding in J. Ma. Accurate and fast iris segmentation applied to portable image capture device. 2009 IEEE International Workshop on Imaging Systems and Techniques, pages 80 -84, 2009.
 - [12] Z. He, T. Tan, Z. Sun in X. Qiu. Toward Accurate and Fast Iris Segmentation for Iris Biometrics. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 31(9):1670 -1684, 2009.
 - [13] S. D. Thepade in P. Bidwai. Iris recognition using fractional coefficients of transforms, Wavelet Transforms and Hybrid Wavelet Transforms. Control Computing Communication & Materials (ICCCCM), 2013 International Conference on, pages 1 -5, 2013.
 - [14] A. Bansal, R. Agarwal in R. K. Sharma. FAR and FRR based analysis of iris recognition system. Signal Processing, Computing and Control (ISPCC), 2012 IEEE International Conference on, pages 1 -6, 2012.
 - [15] P. J. Phillips, K. W. Bowyer, P. J. Flynn, X. Liu in W. T. Scruggs. The Iris Challenge Evaluation 2005. Biometrics: Theory, Applications and Systems, 2008. BTAS 2008. 2nd IEEE International Conference on, pages 1 -8, 2008.
 - [16] K. Grabowski in A. Napieralski. Hardware Architecture Optimized for Iris Recognition. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 21(9):1293 -1303, 2011.
 - [17] A. Hematian, A. A. Manaf, S. Chuprat, R. Khaleghparast in S. Yazdani. Field programmable gate array system for real-time IRIS recognition. Open Systems (ICOS), 2012 IEEE Conference on, pages 1 -6, 2012.
 - [18] J. Liu-Jimenez, R. Sanchez-Reillo, A. Lindoso in O. Miguel-Hurtado. FPGA implementation for an iris biometric processor. 2006 IEEE International Conference on Field Programmable Technology, pages 265 -268, 2006.
 - [19] C. Militello, V. Conti, S. Vitabile in F. Sorbello. An Embedded Module for Iris Micro-Characteristics Extraction. Complex, Intelligent and Software Intensive Systems, 2009. CISIS '09. International Conference on, pages 223 -230, 2009.
 - [20] J. H. Yoo, J. G. Ko, Y. S. Chung, S. U. Jung, K. H. Kim, K. Y. Moon in K. Chung. Design of Embedded Multimodal Biometric Systems. Signal-Image Technologies and Internet-Based System, 2007. SITIS '07. Third International IEEE Conference on, pages 1058 -1062, 2007.
 - [21] D. Zadnik. Poslovni načrt podjetja Iretec d.o.o.. Interno gradivo podjetja, 2018.

Damjan Zadnik je doktorski študent na Fakulteti za Elektrotehniko v Ljubljani, kjer je v letih 2000 in 2005 diplomiral in magistriral. Leta 2013 je magistriral tudi na Ekonomski fakulteti v Ljubljani. Ima devetnajst let izkušenj pri razvoju in CE certificiranju različnih naprav in izdelkov. Področje njegovega raziskovanja sta biometrična identifikacija na podlagi razpoznavanja šarenice in razvoj rešitev za implementacijo le-te na kompaktnem vgrajenem sistemu.

Andrej Žemva je diplomiral, magistriral in doktoriral na Fakulteti za elektrotehniko Univerze v Ljubljani v letih 1989, 1993 in 1996. Njegova raziskovalna in razvojna dejavnost obsega načrtovanje digitalnih elektronskih vezij in sistemov, vgrajene sisteme ter sočasno načrtovanje strojne in programske opreme.