

Centar izvrsnosti za računalni vid

Sven Lončarić¹, Stjepan Bogdan², Dubravko Gajski³, Mislav Grgić¹, Sonja Grgić¹, Edouard Ivanjko⁴, Bojan Jerbić⁵, Zoran Kalafatić², Zdenko Kovačić², Andrija Krtalić², Lidija Mandić⁶, Igor S. Pandžić², Renata Pernar⁷, Tomislav Petković², Ivan Petrović¹, Tomislav Pribanić², Slobodan Ribarić², Damir Seršić², Marko Subašić², Siniša Šegvić²

¹ redoviti član HATZ-a, Sveučilište u Zagrebu Fakultet elektrotehnike i računarstva

² Sveučilište u Zagrebu Fakultet elektrotehnike i računarstva

³ Sveučilište u Zagrebu Geodetski fakultet

⁴ Sveučilište u Zagrebu Fakultet prometnih znanosti

⁵ redoviti član HATZ-a, Sveučilište u Zagrebu Fakultet strojarstva i brodogradnje

⁶ Sveučilište u Zagrebu Grafički fakultet

⁷ Sveučilište u Zagrebu Fakultet šumarstva i drvne tehnologije

Sažetak: Centar izvrsnosti za računalni vid na Fakultetu elektrotehnike i računarstva (FER) osnovan je 2012. godine sa ciljem okupljanja relevantnih istraživača s FER-a i s drugih sastavnica Sveučilišta. U osnivanju Centra sudjelovalo je sedam sastavnica Sveučilišta u Zagrebu. Ciljevi Centra su jačanje međunarodne vidljivosti Sveučilišta u Zagrebu u području računalnog vida, stvaranje kritične mase istraživača za zajednički nastup u većim znanstvenoistraživačkim i razvojnim projektima, poboljšanje kvalitete doktorskih istraživanja u području računalnog vida i poticanje zajedničkog nastupa prema gospodarstvu radi suradnje i transfera tehnologije. U radu je predstavljena motivacija za osnivanje Centra te znanstvene i stručne aktivnosti članova Centra.

Ključne riječi: računalni vid, umjetna inteligencija, obrada i analiza slike

1. Uvod

Centar izvrsnosti za računalni vid [1] uspostavljen je 2012. godine kao rezultat inicijative koju je pokrenuo Fakultet elektrotehnike i računarstva (FER) Sveučilišta u Zagrebu, a u kojem su uz FER sudjelovali znanstvenici s još šest sastavnica Sveu-

čilišta u Zagrebu: Fakultet strojarstva i brodogradnje, Geodetski fakultet, Fakultet prometnih znanosti, Fakultet šumarstva i drvne tehnologije, Kineziološki fakultet i Grafički fakultet.

U radu su predstavljene osnovne informacije o znanstvenom području računalnog vida, o inicijativi za osnivanje Centra te kratki pregled najvažnijih aktivnosti istraživačkih laboratorija Centra.

2. Računalni vid

Računalni vid je znanstveno područje koje ima za cilj ostvariti računalne sustave koji mogu obavljati zadatke vizualne percepcije slično kao što to može obavljati ljudski vizualni sustav [2] [3]. Sustavi računalnog vida koriste sliku ili video kao ulaznu informaciju, a kao izlaz daju informaciju o sadržaju scene. Takvi sustavi uključuju metode za akviziciju slike ili videa, metode za obradu slike te metode za analizu slike. Zadatak sustava za računalni vid je izlučivanje informacija iz slikovnih podataka u cilju razumijevanja sadržaja scene u svrhu donošenja odgovarajućih odluka (npr. postavljanje dijagnoze na temelju rendgenske slike ili upravljanje vozilom na temelju slika dobivenih iz jedne ili više kamera postavljenih na vozilo). Neki od karakterističnih zadataka vizualne percepcije koje rješavaju sustavi računalnog vida su raspoznavanje objekata, analiza pokreta, analiza oblika, analiza tekstone, obnavljanje slike, procjena orijentacije trodimenzionalnih (3-D) objekata i 3-D rekonstrukcija scene iz dva ili više pogleda.

Metode računalnog vida koriste znanja iz više znanstvenih područja uključujući obradu i analizu signala, geometriju, statistiku i strojno učenje. Suvremene metode za računalni vid se značajno oslanjaju na korištenje dubokog učenja koje je omogućilo dobivanje točnijih rezultata u odnosu na prethodno razvijene pristupe.

S obzirom da je za rješavanje zadataka vizualne percepcije, kao i kod čovjeka, potrebno znanje, metode računalnog vida koriste razne pristupe za formuliranje znanja o scenama koje se analiziraju, uključujući metode umjetne inteligencije kao što su strojno i duboko učenje. Po brojnim klasifikacijama znanstvenih područja računalni vid je stoga klasificiran kao dio umjetne inteligencije.

Ljudsko oko kao osjetilo omogućuje akviziciju dvodimenzionalne slike i to u vidljivom spektralnom području. No, u općenitom slučaju sustavi računalnog vida mogu prihvatiti kao ulaz podatke koji nisu ograničeni isključivo na dvodimenzionalne signale, tj. slike, nego mogu biti i višedimenzionalni podatci dobiveni bilo kojim načinom prikupljanja podataka. Višedimenzionalnost može biti posljedica načina snimanja, kao npr. u slučaju podataka dobivenih računalnom tomografijom u medicini

ili kod podataka dobivenih snimanjem raznim trodimenzionalnim osjetilima kao npr. LIDAR). S obzirom na vremensku dimenziju ulaz u sustav računalnog vida može biti jedna slika ili može biti niz slika u vremenu, tj. video. Vremensku dimenziju možemo s matematičke strane promatrati kao još jednu dodatnu dimenziju koja povećava dimenzionalnost ulaznih podataka.

Suvremeni trendovi u prikupljanju sve većeg broja podataka (npr. slika i videa) otvaraju put ka problematici analize velikih skupova podataka (engl. big data) i tokova podataka (engl. data streams) što predstavlja dodatni izazov, naročito kad je potrebno analizu slika i videa izvoditi u stvarnom vremenu.

2.1. Tehnologije za sustave računalnog vida

Kao tehnološka disciplina računalni vid bavi se razvojem sklopovske i programske podrške za implementaciju sustava računalnog vida. Glavne komponente sustava za računalni vid su osjetila za snimanje slike te računala za obradu i analizu slikovnih informacija.

Osjetila za snimanje slike su vrlo važni jer kvaliteta dobivene slike utječe na uspješnost obrade i analize slikovnih informacija. Stalni napredak u tehnologiji osjetila omogućuje razvoj sve kvalitetnijih sustava računalnog vida.

Računska složenost algoritama za računalni vid je visoka, no stalni napredak računalne tehnologije kojem svjedočimo zadnjih nekoliko desetljeća omogućuje realizaciju sve složenijih sustava računalnog vida. Naročito je velik doprinos području dao brzi razvoj grafičkih kartica kao višeprocorskih sustava visokih performansi koje omogućuju veliki paralelizam i izvršavanje velikog broja matematičkih operacija u jedinici vremena.

2.2. Primjene računalnog vida

Primjene računalnog vida su brojne, a moguće su u svim područjima ljudske djelatnosti u kojima postoje podatci u obliku dvodimenzionalnih ili višedimenzionalnih slika. Neki primjeri primjena su automatska vizualna inspekcija u industrijskoj proizvodnji, biometrijski sustavi za identifikaciju ljudi, industrijska i medicinska robotika, autonomna vozila i mobilni roboti, sustavi za indeksiranje i pretraživanja baza slika i videa, daljinska istraživanja, medicinska dijagnostika, interventne procedure u medicini (npr. računalom podržana kirurgija), sustavi za nadzor, vojne i policijske primjene te potrošačka elektronika. Napredak u računalnim tehnologijama omogućio je razvoj autonomnih vozila koje zahtijevaju realizaciju vrlo složenih sustava

računalnog vida koji moraju obaviti sve operacije vizualne percepcije koje normalno obavlja ljudski vozač. Suvremeni mobilni uređaji za komunikaciju imaju dovoljnu procesnu moć za ostvarenje funkcija kao što je raspoznavanje lica ili otiska prsta korisnika, detekciju lica kod snimanja ugrađenom kamerom i druge primjene.

3. Uspostava Centra izvrsnosti za računalni vid

Na Sveučilištu u Zagrebu postoji više sastavnica gdje se provode istraživanja u području teorije i primjena računalnog vida, a po broju istraživača te istraživačkih i razvojnih projekata u području računalnog vida najviše aktivnosti ima FER. Usprkos značajnom broju istraživača koji rade u području računalnog vida na sastavnicama Sveučilišta istraživačke grupe bile su nepovezane, te često nisu bile upoznate s istraživanjima koja se odvijaju na drugim sastavnicama. Ova situacija rezultirala je u nepostojanju kritične mase istraživača u području računalnog vida, slabijim rezultatima u suradnji i transferu tehnologije prema gospodarstvu i nemogućnost zajedničkog nastupanja prema većim nacionalnim i međunarodnim mrežama centara izvrsnosti i istraživačko-razvojnim programima. Ova situacija predstavljala je motivaciju za inicijativu usmjerenu ka boljem povezivanju istraživačkih grupa i jačanju vidljivosti područja računalnog vida na Sveučilištu u Zagrebu.

Senat Sveučilišta u Zagrebu je 2010. godine, za vrijeme rektorskog mandata prof. dr. sc. Alekse Bjeliša, donio odluku o objavi natječaja za jednogodišnje projekte financirane iz Fonda za razvoj Sveučilišta u Zagrebu na koji su se mogle javiti sastavnice Sveučilišta. U pozivu za natječaj bilo je navedeno nekoliko programa koji su imali kao zajednički cilj povećanje kvalitete, izvrsnosti i vidljivosti Sveučilišta. Program "Izvršno" imao je za cilj "podupirati aktivnosti za unapređenje i upravljanje kvalitetom u nastavi, istraživanju i upravljanju te aktivnosti za uspostavu prepoznatljivih centara izvrsnosti na sveučilištu i njegovim sastavnicama". Navedeni program činio se je kao dobra prilika da se napravi korak ka okupljanju istraživačkih grupa u području računalnog vida na Sveučilištu u Zagrebu.

3.1. Projekt osnivanja Centra izvrsnosti za računalni vid

Objava natječaja potakla je skupinu nastavnika Sveučilišta u Zagrebu, koji su bili aktivni istraživači u raznim područjima teorije i primjena obrade slike i računalnog vida, na pripremu prijedloga projekta za uspostavu Centra izvrsnosti za računalni vid. Prof. dr. sc. Sven Lončarić inicirao je i koordinirao pripremu prijedloga projekta. Članovi projektnog tima navedeni u prijedlogu projekta, odnosno osnivači Centra izvrsnosti za računalni vid, bili su 18 istaknutih nastavnika i istraživača sa sedam sastavnica Sveučilišta u Zagrebu (navedeni abecednim redom s akademskim titulama koje su imali 2010. godine):

1. Doc. dr. sc. Dubravko Gajski, Geodetski fakultet, zamjenik voditelja
2. Prof. dr. sc. Hrvoje Gold, Fakultet prometnih znanosti, zamjenik voditelja
3. Prof. dr. sc. Mislav Grgić, Fakultet elektrotehnike i računarstva, zamjenik voditelja
4. Prof. dr. sc. Sonja Grgić, Fakultet elektrotehnike i računarstva
5. Prof. dr. sc. Bojan Jerbić, Fakultet strojarstva i brodogradnje, zamjenik voditelja
6. Izv. prof. dr. sc. Zoran Kalafatić, Fakultet elektrotehnike i računarstva
7. Prof. dr. sc. Mario Kovač, Fakultet elektrotehnike i računarstva
8. Prof. dr. sc. Zdenko Kovačić, Fakultet elektrotehnike i računarstva
9. Prof. dr. sc. Sven Lončarić, Fakultet elektrotehnike i računarstva, voditelj projekta
10. Doc. dr. sc. Lidija Mandić, Grafički fakultet
11. Prof. dr. sc. Vladimir Medved, Kineziološki fakultet, zamjenik voditelja
12. Prof. dr. sc. Renata Pernar, Šumarski fakultet, zamjenik voditelja
13. Prof. dr. sc. Ivan Petrović, Fakultet elektrotehnike i računarstva
14. Doc. dr. sc. Tomislav Pribanić, Fakultet elektrotehnike i računarstva
15. Prof. dr. sc. Slobodan Ribarić, Fakultet elektrotehnike i računarstva
16. Prof. dr. sc. Damir Seršić, Fakultet elektrotehnike i računarstva
17. Doc. dr. sc. Marko Subašić, Fakultet elektrotehnike i računarstva
18. Doc. dr. sc. Siniša Šegvić, Fakultet elektrotehnike i računarstva

U prijedlogu projekta bilo je navedeno da će osim navedenih istraživača u radu Centra izvrsnosti sudjelovati oko 70 doktoranada i poslijedoktoranada koji svoja istraživanja provode pod mentorstvom navedenih nastavnika. Ukupni broj nastavnika, doktoranada i poslijedoktoranada bio je dakle oko 90 istraživača, što je predstavljalo veliku kritičnu masu istraživača u području računalnog vida na Sveučilištu.

Najvažniji specifični ciljevi projekta bili su usmjereni ka organizaciji i ustroju Centra, promociji Centra u zemlji i inozemstvu, uvođenju godišnje radionice Centra, davanju potpore članovima Centra za putovanja u svrhu povezivanja s drugim srodnim centrima u svijetu, te uspostavljanju jače suradnje i transfera tehnologija ka gospodarstvu.

U okviru jednogodišnjeg projekta bilo je planirano nekoliko aktivnosti uključujući izradu web portala Centra, izradu brošure Centra na engleskom jeziku, nabava literature (knjige, zbornici i časopisi), organizacija godišnje radionice Centra te posjete istraživača Centra drugim istraživačkim laboratorijima u inozemstvu.

Prijedlog projekta bio je pozitivno ocijenjen i Senat Sveučilišta u Zagrebu, na prijedlog rektora prof. dr. sc. Alekse Bjeliša, je na 3. sjednici u 343. akademskoj godini (2011./2012.) održanoj 8. studenog 2011. donio je odluku o prihvaćanju projekata

koji će biti financirani sredstvima Fonda za razvoj Sveučilišta u Zagrebu. Ugovor o dodjeli sredstava Fonda za razvoj Sveučilišta potpisali su rektor Sveučilišta prof. dr. sc. Aleksa Bjeliš, dekan FER-a prof. dr. sc. Nedjeljko Perić i voditelj projekta prof. dr. sc. Sven Lončarić dana 31. siječnja 2012. godine. Period provedbe projekta bio je od 1. siječnja 2012. do 31. prosinca 2012.

3.2. Provedba projekta i postignuti rezultati

Tijekom projekta provedene su sve planirane aktivnosti. Razvijen je web portal Centra kao mjesto svih informacija o Centru i njegovim aktivnostima [1]. Dizajn i pripremu za tisak brošure Centra na engleskom jeziku koordinirala je prof. dr. sc. Lidija Mandić s Grafičkog fakulteta, a tekstove su pripremili svi članovi projektnog tima. Brošura je osim u tiskanom obliku dostupna i u elektroničkom obliku na web portalu Centra. Provedena je nabava znanstvene i stručne literature na svim sastavnicama koje su sudjelovale u projektu.

Uspostavljen je hrvatski znanstveno-stručni skup s međunarodnim sudjelovanjem pod nazivom "Croatian Computer Vision Workshop (CCVW)" kao godišnji skup s ciljem okupljanja znanstvenika i gospodarstvenika u Hrvatskoj aktivnih u području računalnog vida, a također i kao mjesto okupljanja studenata i doktoranada koji svoje diplomske i doktorske radove provode u području računalnog vida. Godišnji skupovi sadržavali su pozvana predavanja istaknutih istraživača iz Hrvatske i inozemstva, usmene prezentacije, sekciju za sudionike iz gospodarstva te poster sekciju. Prvi skup održan je 2012. godine, a otada je skup održan ukupno devet puta i zbornici svih devet radionica dostupni su na web portalu Centra [1]. Skupovi su dosad održani u Zagrebu, Osijeku i Splitu, u organizaciji Fakulteta elektrotehnike i računarstva Sveučilišta u Zagrebu, Fakulteta elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija, Sveučilišta Josip Juraj Strossmayer u Osijeku te Fakulteta elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje Sveučilišta u Splitu. Na taj način je ojačana veza s istraživačkim grupama u području računalnog vida na drugim sveučilištima. Iz sredstava projekta financirani su troškovi više sudjelovanja na znanstvenim skupovima i troškovi kraćih usavršavanja članova Centra u inozemstvu.

Najvažniji rezultat projekta je da je došlo do jačanja veza između istraživačkih grupa u području računalnog vida na Sveučilištu u Zagrebu te i šire u Hrvatskoj. Uspostavljena komunikacija omogućila je i stvaranje konzorcija za buduće prijave projekata i uspostavljanje novih suradnih projekata s gospodarstvom.

4. Članovi Centra izvrsnosti za računalni vid

Od trenutka osnivanja Centra do danas u istraživačkim grupama Centra doktorirao je veći broj kolegica i kolega od kojih su neki postali sveučilišni nastavnici te se je

tako članstvo Centra mijenjalo kroz godine. U nastavku je prikazano stanje članstva Centra krajem 2021. godine.

Fakultet elektrotehnike i računarstva: prof. dr. sc. Stjepan Bogdan, doc. dr. sc. Jelena Božek, prof. dr. sc. Mislav Grgić, prof. dr. sc. Sonja Grgić, izv. prof. dr. sc. Tomislav Hrkać, izv. prof. dr. sc. Zoran Kalafatić, prof. dr. sc. Mario Kovač, prof. dr. sc. Zdenko Kovačić, prof. dr. sc. Sven Lončarić, prof. dr. sc. Igor Pandžić, doc. dr. sc. Tomislav Petković, prof. dr. sc. Ivan Petrović, prof. dr. sc. Tomislav Pribanić, prof. dr. sc. Slobodan Ribarić, prof. dr. sc. Damir Seršić, izv. prof. dr. sc. Marko Subašić i prof. dr. sc. Siniša Šegvić.

Geodetski fakultet: prof. dr. sc. Milan Bajić, izv. prof. dr. sc. Dubravko Gajski, doc. dr. sc. Andrija Krtalić.

Fakultet prometnih znanosti: prof. dr. sc. Hrvoje Gold, izv. prof. dr. sc. Edouard Ivanjko, izv. prof. dr. sc. Mario Muštra, doc. dr. sc. Marko Ševrović.

Fakultet strojarstva i brodogradnje: prof. dr. sc. Bojan Jerbić, doc. dr. sc. Marko Švaco

Grafički fakultet: prof. dr. sc. Lidija Mandić, izv. prof. dr. sc. Ante Poljičak, izv. prof. dr. sc. Maja Strgar Kurečić.

Fakultet šumarstva i drvne tehnologije: prof. dr. sc. Renata Pernar, prof. dr. sc. Ante Seletković, doc. dr. sc. Mario Ančić i doc. dr. sc. Jelena Kolić.

5. Pregled odabranih aktivnosti članova Centra

5.1. Laboratorij za obradu slike

Laboratorij za obradu slike [4] Fakulteta elektrotehnike i računarstva Sveučilišta u Zagrebu provodi istraživanja u području teorije i primjene obrade slike i računalnog vida u područjima kao što su analiza slika u biomedicini, analiza ultrazvučnih slika za nerazorna ispitivanja kvalitete struktura, vizualna kontrola kvalitete u industrijskoj proizvodnji, metode za vizualno prepoznavanje proizvoda na policama, sustavi računalnog vida za potporu vozačima, teorija 2-D uzorkovanja, stereo vid, 3D rekonstrukcija i 3D registracija te prepoznavanje i praćenje igrača u sportskim igrama. Članovi laboratorija su prof. dr. sc. Sven Lončarić (voditelj laboratorija), izv. prof. dr. sc. Zoran Kalafatić, doc. dr. sc. Tomislav Petković, prof. dr. sc. Tomislav Pribanić, prof. dr. sc. Damir Seršić i izv. prof. dr. sc. Marko Subašić. U laboratoriju trenutno radi 18 doktorskih studenata koji su financirani od strane gospodarskih subjekata kao i iz javnih sredstava za istraživanja. U okviru istraživačkih aktivnosti laboratorija pod mentorstvom prof. dr. sc. Svena Lončarića dosad je doktorske disertacije uspješ-

no obranilo devet doktoranada: Vedrana Baličević [5], Andrija Štajduhar [6], Pavle Prentašić [7], Krešimir Dekanić [8], Nikola Banić [9], Hrvoje Kalinić [10], Goran Salamunićcar [11], Tomislav Petković [12] i Marko Subašić [13]. Pod mentorstvom prof. dr. sc. Damira Seršića troje doktoranada obranili su disertacije: Ana Sović [14], Mladen Tomić [15] i Miroslav Vrankić [16], uz mentorstvo izv. prof. dr. sc. Zorana Kalafatića disertacije su obranili Boris Šnajder [17] i Karla Brkić [18], a pod mentorstvom izv. prof. dr. sc. Marka Subašića disertaciju je obranila Iva Harbaš [19].

5.2. Laboratorij za tehnologije usmjerene čovjeku

Laboratorij za tehnologije usmjerene čovjeku (HOTLab) [20] Fakulteta elektrotehnike i računarstva Sveučilišta u Zagrebu istraživački je laboratorij koji se bavi algoritmima analize i sinteze ljudi i njihovog ponašanja, uz jak interes za primjene ovakvih tehnologija. Voditelj laboratorija je prof. dr. sc. Igor Pandžić. Kroz dugogodišnji projekt suradnje sa švedsko-hrvatskom tvrtkom Visage Technologies, razvijeni su algoritmi računalnog vida za praćenje značajki ljudskog lica kao i analizu spola, dobi i emocija te raspoznavanje identiteta osobe. Ovi algoritmi imaju izuzetno široku primjenu u raznim područjima kao što su marketing, zabava, ispitivanje tržišta, automobilska industrija, sigurnost i zdravstvo, te ih industrijski partner u projektu kroz svoje proizvode uspješno plasira na tržištu širom svijeta. U HOTLab-u su u ovom području dovršena dva doktorata, Nenada Markuša [21] i Ivana Gogića [22].

5.3. Laboratorij za robotiku i inteligentne sustave upravljanja

Laboratorij za robotiku i inteligentne sustave upravljanja (LARICS) [23] Fakulteta elektrotehnike i računarstva Sveučilišta u Zagrebu istraživački je laboratorij čija istraživanja su usmjerena na područja upravljanja, robotike i umjetne inteligencije s primjenama letućih, hodajućih i vozničkih robota u industrijskim postrojenjima, medicini, poljoprivredi i drugim interdisciplinarnim područjima. Poseban naglasak u aktualnim istraživanjima dan je na autonomne i kolaborativne robotske sustave. Za većinu projekata na kojima laboratorij radi, obrada slike i ostalih oblika ulaznih podataka (npr. oblaci točaka dobivenih iz LIDARA, podaci iz sonara, CT-a i dr.) predstavljaju osnovu za inovativne načine upravljanja autonomnim robotskim sustavima, sustavima za robotičku potporu medicinskih intervencija, inspekciju, inteligentnu manipulaciju, interakciju robota i ljudi i sl.. Članovi laboratorija su prof. dr. sc. Zdenko Kovačić (voditelj laboratorija), prof. dr. sc. Stjepan Bogdan, izv. prof. dr. sc. Matko Orsag i doc. dr.sc. Tamara Petrović. U laboratoriju trenutno radi 25 istraživača surađujući na 17 istraživačkih projekata od kojih je pet iz Horizon 2020 programa. U okviru istraživačkih aktivnosti laboratorija pod mentorstvom prof. dr. sc. Zdenka Kovačića dosad je doktorske disertacije uspješno obranilo sedam doktoranada: Darko Dužanec [24],

Damir Arbula [25], Alan Mutka [26], Edin Kočo [27], Goran Vasiljević [28], Ivica Draganjac [29] i Frano Petric [30]. Pod mentorstvom prof. dr. sc. Stjepana Bogdana doktorske disertacije obranilo je osam doktoranada: Ivica Sindičić [31], Damjan Miklič [32], Tamara Petrović [33], Matko Orsag [34], Marko Filipović [35], Tomislav Haus [36], Karlo Griparić [37] i Zoran Vrhovski [38].

5.4. Katedra za fotogrametriju i daljinska istraživanja

Katedra za fotogrametriju i daljinska istraživanja Geodetskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu prvenstveno se bavi istraživanjem tehnologije i metoda prikupljanja, interpretacije, obrade i analize informacija zabilježenih na snimkama sa pasivnih i aktivnih senzora u pilotiranim i bespilotnim letjelicama te satelitima. Uz dokumentiranje arheološke i arhitektonske baštine fotogrametrijskim metodama, katedra surađuje i u projektima redukcije minski sumnjive površine u RH, praćenja ekscesivne erozije i klizišta, te stanja vegetacije metodama daljinskih istraživanja. Članovi Katedre su: izv. prof. dr. sc. Andrija Krtalić, doc. dr. sc. Mateo Gašparović, Dubravka Maurer, Ljiljana Pleše i izv. prof. dr. sc. Dubravko Gajski (pročelnik Katedre). U Katedri je u periodu od 2012. iz navedenog područja dovršeno i obranjeno 5 doktorata: Mateo Gašparović [39], Vanja Miljković [40], Ivan Racetin [41], Luka Jurjević [42] i Martina Deur [43].

5.5. Regionalni centar izvrsnosti za robotske tehnologije

Regionalni centar izvrsnosti za robotske tehnologije (CRTA) je referentni centar za istraživačke, razvojne i obrazovne aktivnosti u području robotike i umjetne inteligencije Fakulteta strojarstva i brodogradnje Sveučilišta u Zagrebu. Djelatnosti centra su usmjerene prema istraživanju i razvoju naprednih robotskih primjena, poglavito u industriji i medicini, ali i drugim područjima ljudske djelatnosti gdje tradicionalnu automatizaciju i ljudski rad trebaju zamijeniti autonomni i inteligentni sustavi. Centar je financiran bespovratnim sredstvima iz fonda EU (Operativni program „Konkurentnost i kohezija” 2014.-2020.) u ukupnom iznosu od 36,7 milijuna kuna. CRTA je prvi centar izvrsnosti za robotiku u Hrvatskoj, a objedinjuje laboratorije za autonomne sustave, računalnu inteligenciju i medicinsku robotiku. Po svojem sadržaju i naprednoj opremi predstavlja jedinstvenu znanstveno-tehnološku infrastrukturu u europskim razmjerima te osigurava snažan poticaj razvojnim i obrazovnim aktivnostima u RH. U CRTA-i se kontinuirano odvija više istraživačkih i razvojnih projekata financiranih iz EU i nacionalnih fondova. Paralelno se radi na bojnim ugovornim istraživanjima s vodećim hrvatskim i međunarodnim tehnološkim tvrtkama. Takav oblik suradnje osigurava kvalitetan prijenos znanja i razvoj novih tehnoloških rješenja prilagođenih konkretnim potrebama industrijskih partnera. Istraživački projekti

i suradnja s gospodarstvom ujedno su glavni oblici financiranja CRTA-e i njezinih istraživača. CRTA je otvorena prema javnosti te redovito organizira različite prezentacije i obilaske laboratorija s ciljem promoviranja znanosti i tehnologije, a kako bi jednako oni mladi i oni stariji bolje razumjeli digitalne i kulturološke transformacije koje živimo. Članovi CRTA-e su prof. dr. sc. Bojan Jerbić (voditelj Centra), doc. dr. sc. Marko Švaco, dr. sc. Filip Šuligoj i dr. sc. Josip Vidaković, kao i dvadesetak istraživača i doktoranata financiranih iz projekata. Od osnivanja CRTA obranjena su dva doktorata: Filip Šuligoj [44] i Josip Vidaković [45].

5.6. Laboratorij za kolorimetrijska mjerenja

Laboratorij za kolorimetrijska mjerenja Grafičkog Fakulteta Sveučilišta u Zagrebu istraživački je laboratorij koji se bavi mjerenjima transparentnih i refleksnih uzoraka, i za mjerenje luminancije i krome raznih emitirajućih optičkih izvora svjetlosti kao što su plazma ekrani, LCD ekrani, LED žarulje, lampe i sl. Članovi Laboratorija su prof. dr. sc. Lidija Mandić (voditeljica), izv. prof. dr. sc. Maja Strgar Kurečić i izv. prof. dr. sc. Ante Poljičak. U okviru Laboratorija se rade i istraživanja u području virtualne stvarnosti. U Laboratoriju su uspješno obranjena tri doktorata: Ante Poljičak [46], Jurica Dolić [47] i Ana Agić [48].

5.7. Laboratorij za videokomunikacije

Laboratorij za videokomunikacije [49] Fakulteta elektrotehnike i računarstva Sveučilišta u Zagrebu provodi znanstveno-istraživački rad u područjima razvoja i evaluacije algoritama za kompresiju slike i videosignala, razvoja metoda i mjera za subjektivno i objektivno vrednovanje kvalitete slike, razvoja algoritama za računalnu analizu slika mozga s naglaskom na MR slike mozga odraslih i novorođenčadi, analize mamografskih slika radi računalno potpomognutog otkrivanja i dijagnostike raka dojke, biometrije i metoda za raspoznavanje lica te istraživanja primjenjivosti tehnika dubokog učenja za razumijevanje slikarskih djela i predviđanje subjektivnih aspekta ljudske percepcije. Članovi laboratorija su prof. dr. sc. Sonja Grgić, prof. dr. sc. Mislav Grgić, prof. dr. sc. Tomislav Kos i doc. dr. sc. Jelena Božek. U okviru istraživačkih aktivnosti laboratorija pod mentorstvom prof. dr. sc. Sonje Grgić doktorske radove uspješno je obranilo šest doktoranada: Emil Dumić [50], Dijana Tralić [51], Anamaria Bjelopera [52], Krešimir Šakić [53], Goran Gvozden [54] i Eva Cetinić [55]. Pod mentorstvom prof. dr. sc. Mislava Grgića pet doktoranada obranila su doktorske disertacije: Krešimir Delač [56], Mario Muštra [57], Nihad Mešanović [58], Jelena Božek [59] i Željko Tabaković [60].

5.8. Laboratorij za raspoznavanje uzoraka i biometrijske sigurnosne sustave

Laboratorij za raspoznavanje uzoraka i biometrijske sigurnosne sustave [61] Fakulteta elektrotehnike i računarstva Sveučilišta u Zagrebu provodi istraživanja u području računalnog vida. Istraživanja su usredotočena na razumijevanje ponašanja mnoštva ljudi, detekciju i praćenje objekata te analizu prirodnih scena. Članovi laboratorija su prof. dr. sc. Slobodan Ribarić (voditelj laboratorija), izv. prof. dr. sc. Zoran Kalafatić, prof. dr. sc. Siniša Šegvić, i izv. prof. dr. sc. Tomislav Hrkać. Aktualni projekti financirani su od strane Hrvatske zaklade za znanost, europskih fondova te gospodarstva. Pod mentorstvom prof. dr. sc. Slobodana Ribarića dosad je doktorske disertacije uspješno obranilo trinaest doktoranada: Azra Lagumdžija-Kulenović [62], Bojana Dalbelo-Bašić [63], Zoran Kalafatić [64], Maja Matetić [65], Siniša Šegvić [66], Haris Šupić [67], Sanda Martinčić-Ipšić [68], Tomislav Hrkać [69], Ivan Fratrić [70], Marina Ivašić-Kos [71], Darijan Marčetić [72], Miran Pobar [73] i Lada Maleš [74]. Pod mentorstvom izv. prof. dr. sc. Zorana Kalafatića disertacije su obranili Boris Šnajder [75] i Karla Brkić [76]. Pod mentorstvom prof. dr. sc. Siniše Šegvića disertacije su obranili Valentina Zadrija [77], Ivan Sikirić [78], Ivan Krešo [79] i Marin Oršić [80].

5.9. Laboratorij za daljinska istraživanja i geoinformacijske sustave

Laboratorij za daljinska istraživanja i geoinformacijske sustave [81] je istraživački laboratorij u sklopu Zavoda za izmjeru i uređivanje šuma na Fakultetu šumarstva i drvne tehnologije Sveučilišta u Zagrebu. Djelatnost članova Laboratorija je usmjeren na istraživanja primjene metoda daljinskih istraživanja, geografskog informacijskog sustava, globalnog pozicijskog sustava i digitalnog modela reljefa u šumarstvu, urbanom šumarstvu, lovnom gospodarstvu, zaštiti prirode i okoliša. Posebnost Laboratorija je vizualna interpretacija aerosnimaka u stereomodelu (3D) s težištem na prepoznavanje vrsta drveća i određivanje zdravstvenog stanja pojedinačnih stabala. Također se u stereomodelu provodi i mjerna fotointerpretacija (određivanje visine stabala, projekcije krošnje, sklopa, drvne mase, itd.). Istraživačke aktivnosti vezane su i uz digitalnu interpretaciju multispektralnih i hiperspektralnih satelitskih snimaka (nadgledana i nenadgledana klasifikacija), te snimaka visoke prostorne i vremenske rezolucije, za praćenje stanja, promjena i biološke raznolikosti šuma; kartiranje načina korištenja zemljišta; kartiranje biotopa urbanih i močvarnih staništa, i dr. Ostala područja interesa uključuju primjenu neuronskih mreža u detekciji oštećenosti šuma i pridobivanju parametara staništa sa satelitskih snimaka, primjenu GPS-a za praćenje kretanja i aktivnosti divljih životinja telemetrijskim metodama, izradu digitalnog modela reljefa, digitalnog ortofota za okolišno modeliranje (raster-GIS analize, prostorno – vremenske analize, geostatistika). Članovi Laboratorija su: prof. dr. sc.

Renata Pernar (voditeljica laboratorija), prof. dr. sc. Ante Seletković, doc. dr. sc. Mario Ančić, doc. dr. sc. Jelena Kolić. U okviru istraživačkih aktivnosti laboratorija realizirano je 17 projekata, te obranjeno sedam doktorata. Pod mentorstvom prof. dr. sc. Renate Pernar disertaciju je obranilo pet doktoranada: Ante Seletković [82], Damir Klobučar [83], Dalibor Štorga [84], Mario Ančić [85] i Jelena Kolić [86], te dva doktoranda pod mentorstvom prof. dr. sc. Ante Seletkovića: Ivan Balenović [87] i Alan Berta [88].

5.10. Laboratorij za autonomne sustave i mobilnu robotiku

Laboratorij za autonomne sustave i mobilnu robotiku (LAMOR) [89] Fakulteta elektrotehnike i računarstva Sveučilišta u Zagrebu istraživački je laboratorij koji se bavi istraživanjima algoritama upravljanja, estimacije i umjetne inteligencije s primjenom u razvoju sustava autonomije mobilnih robota i vozila u dinamičkim okruženjima i sustava njihove djelotvorne i sigurne interakcije s ljudima. Laboratorij je opremljen robotskim platformama i naprednim percepcijskim sensorima koje omogućuju eksperimentalnu provjeru istraživanih algoritama. Članovi laboratorija su prof. dr. sc. Ivan Petrović (voditelj), izv. prof. Marija Seder i izv. prof. Ivan Marković. U laboratoriju trenutno radi 18 istraživača, od čega ih je 15 financirano sredstvima projekata iz programa Obzor 2020 i Europskih fondova za regionalni razvoj. U okviru istraživačkih aktivnosti laboratorija pod mentorstvom prof. dr. sc. Ivana Petrovića do sada je doktorske disertacije uspješno obranilo 19 doktoranada, od kojih je sljedećih 10 istraživalo algoritme iz područja računalnoga vida: Edouard Ivanjko [90], Mišel Brezak [91], Andrej Kitanov [92], Davor Kukolja [93], Ivan Marković [94], Josip Česić [95], Kruno Lenac [96], Igor Cvišić [97] i Juraj Peršić [98].

5.11. Laboratorij za naprednu 3D rekonstrukciju i registraciju površina (SHARK Lab)

Istraživačka djelatnost Laboratorija za naprednu 3D rekonstrukciju i registraciju površina [99] je poglavito usmjerena na metode i algoritme računalnog vida za 3D rekonstrukciju i 3D registraciju, uključujući za tu svrhu i uporabu senzora mobilnih platformi poput pametnih telefona i tableta. Članovi Laboratorija su prof. dr. sc. Tomislav Pribanić (voditelj), prof. dr. sc. Siniša Šegvić, izv. prof. dr. sc. Marko Subašić, doc. dr. sc. Tomislav Petković te više doktorskih studenata. Pod mentorstvom prof. dr. sc. Tomislava Pribanića disertacije su obranili Matea Đonlić [100] i Marko Lelas [101].

5.12. Istraživanja računalnog vida na Fakultetu prometnih znanosti

Naglasak istraživanja Fakulteta prometnih znanosti je u primjeni računalnog vida u cestovnom prometu. Istraživanja koordiniraju izv. prof. dr. sc. Edouard Ivanjko, izv.

prof. dr. sc. Mario Muštra i doc. dr. sc. Marko Ševrović. Do odlaska u mirovinu u istraživanjima je sudjelovao i prof. dr. sc. Hrvoje Gold. Problemi koji se rješavaju uključuju prepoznavanje, klasifikaciju i praćenje cestovnih vozila u stvarnom vremenu radi mjerenja prometnih parametara te estimaciju stanja cestovne prometnice prema iRAP metodologiji. Istraživanja vezana za primjenu iRAP metodologije se provode unutar Laboratorija za sustav georeferenciranog videa. Implementirani algoritmi omogućuju istovremeno praćenje više vozila na više voznih traka uz mogućnost mjerenja prometnih parametara. Pritom se koriste video snimke s fiksnih kamera s pogledom na cestovnu prometnicu te kamera postavljenih unutar vozila ili na malim autonomnim letjelicama (dronovima). Razvijena rješenja se zasnivaju na primjeni lokalnih binarnih uzoraka, naučenim Adaboost klasifikatorima, proširenom Kalmanovom filtru, konvolucijskim neuronskim mrežama, dubokom strojnom učenju i primjeni grafičkih akceleratora radi osiguranja rada u stvarnom vremenu.

6. Zaključak

U radu je predstavljena potreba i motivacija za uspostavljanje Centra za računalni vid na Sveučilištu u Zagrebu te opisano kako je skupina od 18 znanstvenika sa sedam sastavnica Sveučilišta u Zagrebu pripremila prijedlog projekta za osnivanje Centra. U okviru jednogodišnjeg projekta provedeno je nekoliko aktivnosti usmjerenih ka boljem povezivanju znanstvenika i jačanju vidljivosti Centra. Kroz godine nakon osnivanja Centar je povećavao broj članova da bi 2021. godine imao 30 članova nastavnika te veći broj doktoranada koji sudjeluju u radu Centra.

Članovi Centra provode brojne znanstvene i stručne projekte koji su financirani iz javnih sredstava i uz financiranje iz gospodarstva, što je omogućilo da veći broj doktoranada bude zaposlen na sastavnicama Sveučilišta u Zagrebu i da na taj način provode istraživanja i rade na svojim doktorskim disertacijama. U istraživačkim laboratorijima Centra dosad je doktorske disertacije obranilo 87 doktoranada, što predstavlja temelj za razvoj istraživačkih institucija i hrvatskog gospodarstva. Doktorandi koji su svoje doktorske programe završili u okviru istraživačkih grupa Centra nastavljaju svoje karijere na sveučilištima i institutima ili u hrvatskom gospodarstvu koje ima sve veće potrebe za stručnjacima s doktoratima znanosti, koji vode razvojne timove u poduzećima i tako jačaju kapacitet hrvatskog gospodarstva.

7. Literatura

- [1] Fakultet elektrotehnike i računarstva Sveučilišta u Zagrebu, »Centar izvrsnosti za računalni vid,« 2021. <https://www.fer.unizg.hr/crv>.
- [2] E. R. Davies, *Computer Vision: Principles, Algorithms, Applications, Learning*, 5th Edition, Academic Press, 2017.

- [3] D. Forsyth i J. Ponce, *Computer Vision: A Modern Approach*, 2nd Edition, Pearson, 2011.
- [4] »Image Processing Laboratory,« Fakultet elektrotehnike i računarstva, <https://ipg.fer.hr/ipg>.
- [5] V. Baličević, *Model-based segmentation and texture analysis of multi-modal cardiac images*, doktorska disertacija, Zagreb, 2019.
- [6] A. Štajduhar, *Computational histology image analysis of human cerebral cortex cytoarchitectonics*, doktorska disertacija, Zagreb, 2019.
- [7] P. Prentašić, *Computational Analysis of Fundus Photographs for Early Detection of Diabetic Retinopathy*, doktorska disertacija, Zagreb, 2019.
- [8] K. Dekanić, *Računalni model i analiza signala za određivanje mikrostrukturnih parametara nanomaterijala*, doktorska disertacija, Zagreb, 2018.
- [9] N. Banić, *Real-time Retinex-based and learning-based methods for computational color constancy with high accuracy*, doktorska disertacija, Zagreb, 2016.
- [10] H. Kalinić, *Registration and model based analysis of transaortic valvular flow ultrasound images*, doktorska disertacija, Zagreb, 2012.
- [11] G. Salamunićar, *Detekcija kratera iz digitalnih topografskih slika*, Zagreb, 2012.
- [12] T. Petković, *Visual tracking and reconstruction of 3D curves in medical image analysis*, doktorska disertacija, Zagreb, 2010.
- [13] M. Subašić, *Automatska analiza fotografija za identifikacijske dokumente*, doktorska disertacija, Zagreb, 2007.
- [14] A. Sović, *Adaptivna valićna transformacija temeljena na kriteriju najmanje apsolutne pogreške*, doktorska disertacija, Zagreb, 2012.
- [15] M. Tomić, *Adaptive Wavelet Transform with Application in Signal Denoising*, doktorska disertacija, Zagreb, 2010.
- [16] M. Vrankić, *Adaptivna shema podizanja za neseparabilne dvodimenzionalne valićne transformacije*, Zagreb, 2006.
- [17] B. Šnajder, *Upravljanje potrošnjom energije u bežičnoj mreži kamera visoke razlučivosti za periodički nadzor okoliša*, doktorska disertacija, Zagreb, 2016.
- [18] K. Brkić, *Structural analysis of video by histogram-based description of local space-time appearance*, doktorska disertacija, Zagreb, 2013.
- [19] I. Harbaš, *Computer vision-based detection of roadside vegetation using features from the visible spectrum*, Zagreb, 2019.
- [20] I. S. Pandžić, »Laboratorij za tehnologije usmjerene čovjeku (HOTLab),« <https://hotlab.fer.hr>.
- [21] N. Markuš, *Pattern recognition with pixel intensity comparisons organized in decision trees*, doktorska disertacija, Zagreb: Fakultet elektrotehnike i računarstva, Sveučilište u Zagrebu, 2017.
- [22] I. Gogić, *Efficient facial expression recognition using decision trees and neural networks*, doktorska disertacija, Zagreb: Fakultet elektrotehnike i računarstva, Sveučilište u Zagrebu, 2021.

- [23] Sveučilište u Zagrebu Fakultet elektrotehnike i računarstva, »Laboratorij za robotiku i inteligentne sustave upravljanja (LARICS),« 2022. <https://larics.fer.hr>.
- [24] D. Dužanec, Poboļjšani mikrogenetički algoritmi u upravljanju robotskim sustavima, doktorska disertacija, Zagreb: Fakultet elektrotehnike i računarstva, 2010.
- [25] D. Arbula, Raspodijeljeni algoritam za određivanje položaja čvorova u neusidrenoj bežičnoj mreži osjetila, doktorska disertacija, Zagreb: Fakultet elektrotehnike i računarstva, 2010.
- [26] A. Mutka, Adaptivno upravljanje gibanjem četveronožnoga robota korištenjem promjenjive podatnosti rotirajućih spiralnih stopala, doktorska disertacija, Zagreb: Fakultet elektrotehnike i računarstva, 2015.
- [27] E. Kočo, Hibridno upravljanje podatnošću i optimizacija trajektorije stopala za biološki inspiriranog četveronožnog robota, doktorska disertacija, Zagreb: Fakultet elektrotehnike i računarstva, 2017.
- [28] G. Vasiljević, Lokalizacija visoke točnosti mobilnih robota u zatvorenim industrijskim okruženjima bez korištenja markera, doktorska disertacija, Zagreb: Fakultet elektrotehnike i računarstva, 2017.
- [29] I. Draganjac, Decentralizirano upravljanje automatski vođenim vozilima sa slobodnim odabirom putanja u industrijskim okruženjima, doktorska disertacija, Zagreb: Fakultet elektrotehnike i računarstva, 2018.
- [30] F. Petric, Robotom potpomognuta dijagnostika poremećaja iz autističnog spektra korištenjem djelomično osmotrivih Markovljevih procesa odlučivanja, doktorska disertacija, Zagreb: Fakultet elektrotehnike i računarstva, 2018.
- [31] I. Sindičić, Upravljanje resursima u višeprolaznim proizvodnim linijama sa slobodnim odabirom zadataka, doktorska disertacija, Zagreb: Fakultet elektrotehnike i računarstva, 2010.
- [32] D. Miklić, Koordinirano upravljanje formacijama mobilnih robota zasnovano na diskretizaciji prostora, doktorska disertacija, Zagreb: Fakultet elektrotehnike i računarstva, 2013.
- [33] T. Petrović, Centralized Control of Variable Structure Multi-vehicle Systems Based on resource Allocation, doktorska disertacija, Zagreb: Fakultet elektrotehnike i računarstva, 2014.
- [34] M. Orsag, Hybrid Adaptive Control System with Augmented User Interaction for Stable Aerial Manipulation, doktorska disertacija, Zagreb: Fakultet elektrotehnike i računarstva, 2014.
- [35] M. Filipović, Strategija oporavka od zastoja robotizirane radne stanice zasnovana na matricama kvalitete tretmana i stope kvarova, doktorska disertacija, Zagreb: Fakultet elektrotehnike i računarstva, 2017.
- [36] T. Haus, Control of multirotor unmanned aerial vehicle based on moving mass concept, doktorska disertacija, Zagreb: Fakultet elektrotehnike i računarstva, 2017.
- [37] K. Griparić, Decentralizirani višeagentski sustav za interakciju sa zajednicom pčela zasnovanu na algoritmu konsenzusa, doktorska disertacija, Zagreb: Fakultet elektrotehnike i računarstva, 2018.

- [38] Z. Vrhovski, Sustav za procjenu i kompenzaciju razlike duljina nogu radi postavljanja ljudskoga tijela u ravnotežu, doktorska disertacija, Zagreb: Fakultet elektrotehnike i računarstva, 2019.
- [39] M. Gašparović, Radiometrijsko izjednačenje tekstura fotorealističnih 3D modela, doktorska disertacija, Zagreb: Geodetski fakultet, 2015.
- [40] V. Miljković, Prostorna kalibracija multispektralnih i hiperspektralnih senzora u blizu-predmetnoj fotogrametriji, doktorska disertacija, Zagreb: Geodetski fakultet, 2017.
- [41] I. Racetin, Detekcija anomalija na hiperspektralnim i višespektralnim digitalnim snimkama minske sumnjivog područja, doktorska disertacija, Zagreb: Geodetski fakultet, 2020.
- [42] L. Jurjević, Razvoj metodologije procjene strukturnih varijabli pojedinačnih stabala i primjernih ploha temeljem podataka blizupredmetnih daljinskih istraživanja, doktorska disertacija, Zagreb: Geodetski fakultet, 2021.
- [43] M. Deur, Razvoj nove metodologije za klasifikaciju šumskoga pokrova primjenom satelitskih snimaka visoke rezolucije, doktorska disertacija, Zagreb: Geodetski fakultet, 2021.
- [44] F. Šuligoj, Spatial patient registration in robotic neurosurgery, doktorska disertacija, Zagreb: Fakultet strojarstva i brodogradnje, 2018.
- [45] J. Vidaković, Model of robot task learning based on human-robot interaction, doktorska disertacija, Zagreb: Fakultet strojarstva i brodogradnje, 2020.
- [46] A. Poljićak, Zaštita vlasništva reproducirane slike umetanjem digitalnog vodenog žiga, doktorska disertacija, Zagreb: Grafički fakultet, 2011.
- [47] J. Dolić, Model grafičkoga znakovnoga sustava za osobe sa složenim komunikacijskim potrebama, doktorska disertacija, Zagreb: Grafički fakultet, 2014.
- [48] A. Agić, Pобољшanje korisničkoga iskustva u virtualnoj stvarnosti postavljanjem parametara oblikovanja scene i načina kretanja, doktorska disertacija, Zagreb: Grafički fakultet, 2021.
- [49] Fakultet elektrotehnike i računarstva Sveučilišta u Zagrebu, »Laboratorij za videokomunikacije,« <http://www.vcl.fer.hr/hr/>.
- [50] E. Dumić, Objektivna mjera kvalitete slike utemeljena na višerezolucijskoj analizi, doktorska disertacija, Zagreb: Fakultet elektrotehnike i računarstva, 2011.
- [51] D. Tralić, Detekcija kopiranih područja na digitalnim slikama analizom statističkih svojstva slika, doktorska disertacija, Zagreb: Fakultet elektrotehnike i računarstva, 2015.
- [52] A. Bjelopera, Uklanjanje degradacije slike primjenom statističkoga modela prirodne scene i percepcijske mjere kvalitete slike, doktorska disertacija, Zagreb: Fakultet elektrotehnike i računarstva, 2016.
- [53] K. Šakić, Subjektivno vrednovanje kvalitete prikaza 3D videosekvenci utemeljeno na masovnom ispitivanju putem Interneta, doktorska disertacija, Zagreb: Fakultet elektrotehnike i računarstva, 2016.
- [54] G. Gvozden, Objektivna mjera kvalitete zamućenih slika zasnovana na percepcijski bitnim značajkama u prostorno-frekvencijskoj domeni, doktorska disertacija, Zagreb: Fakultet elektrotehnike i računarstva, 2018.

- [55] E. Cetinić, Računalno otkrivanje stilskih obilježja slikarskih djela utemeljeno na analizi značajki slike više razine, doktorska disertacija, Zagreb: Fakultet elektrotehnike i računarstva, 2019.
- [56] K. Delač, Raspoznavanje lica u domeni kompresije, doktorska disertacija, Zagreb: Fakultet elektrotehnike i računarstva, 2007.
- [57] M. Muštra, Segmentacija mamograma i detekcija mikrokalcifikacija adaptivnim poboljšanjem kontrasta, doktorska disertacija, Zagreb: Fakultet elektrotehnike i računarstva, 2013.
- [58] N. Mešanović, Računalno potpomognuta automatska segmentacija slika pluća dobivenih računalnom tomografijom i primjena na praćenje razvoja bolesti, doktorska disertacija, Zagreb: Fakultet elektrotehnike i računarstva, 2013.
- [59] J. Božek, Registracija bilateralnih mamograma i analiza lezija iz vremenski odmaknutih digitalnih mamograma, doktorska disertacija, Zagreb: Fakultet elektrotehnike i računarstva, 2013.
- [60] Ž. Tabaković, Dodjeljivanje frekvencija u spoznajnom radiju uporabom metode sekvencijalnoga bojanja grafova, doktorska disertacija, Zagreb: Fakultet elektrotehnike i računarstva, 2016.
- [61] Fakultet elektrotehnike i računarstva, »Laboratorij za raspoznavanje uzoraka i biometrijske sigurnosne sustave,« Fakultet elektrotehnike i računarstva, <http://rubioss.zemris.fer.hr>.
- [62] A. Lagumdžija-Kulenović, Jezik za upravljanje bazom znanja tipa okvira temeljen na proširenom relacijskom modelu podataka, doktorska disertacija, Zagreb: Fakultet elektrotehnike i računarstva, 1985.
- [63] B. Dalbelo-Bašić, Prikaz znanja uporabom neizrazitih i vremenski neizrazitih Petrijevih mreža, doktorska disertacija, Zagreb: Fakultet elektrotehnike i računarstva, 1997.
- [64] Z. Kalafatić, Praćenje objekata uporabom rijetkog optičkog toka, doktorska disertacija, Zagreb: Fakultet elektrotehnike i računarstva, 1999.
- [65] M. Maletić, Kvalitativno modeliranje i zaključivanje o ponašanju objekata u sustavu dinamičkog vida, doktorska disertacija, Zagreb: Fakultet elektrotehnike i računarstva, 2002.
- [66] S. Šegvić, Višeagentsko praćenje objekata aktivnim računarskim vidom, doktorska disertacija, Zagreb: Fakultet elektrotehnike i računarstva, 2004.
- [67] H. Šupić, Sustav s koračnim zaključivanjem temeljenim na pohranjenim slučajevima, doktorska disertacija, Zagreb: Fakultet elektrotehnike i računarstva, 2005.
- [68] S. Martinčić-Ipšić, Raspoznavanje i sinteza hrvatskoga govora kontekstno ovisnim skrivenim Markovljevim modelima, doktorska disertacija, Zagreb: Fakultet elektrotehnike i računarstva, 2007.
- [69] T. Hrkać, Prikaz neizrazitog prostorno-vremenskog znanja temeljen na Petrijevim mrežama visoke razine, doktorska disertacija, Zagreb: Fakultet elektrotehnike i računarstva, 2009.
- [70] I. Fratrić, Biometrijska verifikacija osoba temeljena na značajkama dlana i lica dobivenim iz video sekvenci, doktorska disertacija, Zagreb: Fakultet elektrotehnike i računarstva, 2011.

- [71] M. Ivašić-Kos, Sustav za označavanje, tumačenje i pretraživanje slika utemeljen na znanju, doktorska disertacija, Zagreb: Fakultet elektrotehnike i računarstva, 2012.
- [72] D. Marčetić, Model baze znanja s biološki inspiriranim postupcima zaključivanja, doktorska disertacija, Zagreb: Fakultet elektrotehnike i računarstva, 2013.
- [73] M. Pobar, Sinteza hrvatskoga govora utemeljena na odabiru jedinica i stohastičkim modelima, doktorska disertacija, Zagreb: Fakultet elektrotehnike i računarstva, 2014.
- [74] L. Maleš, Modeliranje višeagentnog dinamičkog sustava, doktorska disertacija, Zagreb: Fakultet elektrotehnike i računarstva, 2017.
- [75] B. Šnajder, Upravljanje potrošnjom energije u bežičnoj mreži kamera visoke razlučivosti za periodički nadzor okoliša, doktorska disertacija, Zagreb: Fakultet elektrotehnike i računarstva, 2016.
- [76] K. Brkić, Structural analysis of video by histogram-based description of local space-time appearance, doktorska disertacija, Zagreb: Fakultet elektrotehnike i računarstva, 2013.
- [77] V. Zadrija, Lokalizacija objekata odozdo prema gore primjenom Fisherovih vektora, doktorska disertacija, Zagreb: Fakultet elektrotehnike i računarstva, 2017.
- [78] I. Sikirić, Improving fleet management systems by computer vision, Zagreb: Fakultet elektrotehnike i računarstva, 2019.
- [79] I. Krešo, Konvolucijska arhitektura za učinkovitu semantičku segmentaciju velikih slika, doktorska disertacija, Zagreb: Fakultet elektrotehnike i računarstva, 2021.
- [80] M. Oršić, Učinkovita semantička segmentacija slike piramidnom fuzijom, doktorska disertacija, Zagreb: Fakultet elektrotehnike i računarstva, 2021.
- [81] »Laboratorij za daljinska istraživanja i geoinformacijske sustave,« Fakultet šumarstva i drvne tehnologije Sveučilišta u Zagrebu, <https://www.sumfak.unizg.hr/hr/strucni-rad-i-usluge/laboratoriji-sumarskog-odsjeka/laboratorij-za-daljinska-istrazivanja-i-gis/>.
- [82] A. Seletković, Usporedba digitalne i vizualne interpretacije satelitske snimke visoke rezolucije, doktorska disertacija, Zagreb: Šumarski fakultet, 2007.
- [83] D. Klobučar, Umjetne neuronske mreže u daljinskim istraživanjima za potrebe uređivanja šuma, doktorska disertacija, Zagreb: Šumarski fakultet, 2008.
- [84] D. Štorga, Prostorna analiza varijabilnosti elemenata strukture državnih i privatnih šuma pomoću GIS-a, doktorska disertacija, Zagreb: Šumarski fakultet, 2008.
- [85] M. Ančić, Primjena multispektralnih i hiperspektralnih snimaka u procjeni oštećenosti obične jele (*Abies alba* Mill.) i detekciji imele (*Viscum album* L. ssp. *abietis* /Weisb./ Abrom.), doktorska disertacija, Zagreb: Šumarski fakultet, 2011.
- [86] J. Kolić, Procjena oštećenosti krošanja na analognim i digitalnim infracrvenim kolornim (ICK) aerosnimkama uz određivanje najpovoljnije veličine uzorka, doktorska disertacija, Zagreb: Šumarski fakultet, 2015.
- [87] I. Balenović, Mogućnost primjene digitalnih aerofotogrametrijskih snimaka različitih prostornih rezolucija u uređivanju šuma, doktorska disertacija, Zagreb: Šumarski fakultet, 2011.
- [88] A. Berta, Procjena šumske biomase pomoću lidar tehnologije u degradiranim šumama brežuljkastoga i nizinskoga vegetacijskog pojasa u središnjoj Hrvatskoj, doktorska disertacija, Zagreb: Šumarski fakultet, 2017.

- [89] »Laboratorij za autonomne sustave i mobilnu robotiku,« Fakultet elektrotehnike i računarstva, <https://lamor.fer.hr>.
- [90] E. Ivanjko, *Autonomna navigacija mobilnih robota zasnovana na ultrazvučnim senzovima udaljenosti*, doktorska disertacija, Zagreb: Fakultet elektrotehnike i računarstva, 2009.
- [91] M. Brezak, *Localization, Motion Planning and Control of Mobile Robots in Intelligent Spaces*, doktorska disertacija, Zagreb: Fakultet elektrotehnike i računarstva, 2010.
- [92] A. Kitanov, *Pose estimation of mobile robots in partially and completely unknown environments*, doktorska disertacija, Zagreb: Fakultet elektrotehnike i računarstva, 2010.
- [93] D. Kukulja, *Estimator emocionalnih stanja u stvarnom vremenu zasnovan na dubinskoj analizi fizioloških signala*, doktorska disertacija, Zagreb: Fakultet elektrotehnike i računarstva, 2012.
- [94] I. Marković, *Moving objects detection and tracking by omnidirectional sensors of a mobile robot*, doktorska disertacija, Zagreb: Fakultet elektrotehnike i računarstva, 2014.
- [95] J. Česić, *Multiple moving objects tracking based on random finite sets and Lie groups*, doktorska disertacija, Zagreb: Fakultet elektrotehnike i računarstva, 2017.
- [96] K. Lenac, *Simultaneous mobile robot localization and three-dimensional modeling of unknown complex environments in real time*, doktorska disertacija, Zagreb: Fakultet elektrotehnike i računarstva, 2017.
- [97] I. Cvišić, *Vizualna odometrija u stvarnome vremenu za robusnu navigaciju u nepoznatim složenim okruženjima*, doktorska disertacija, Zagreb: Fakultet elektrotehnike i računarstva, 2018.
- [98] J. Peršić, *Extrinsic and temporal calibration of heterogeneous mobile robot exteroceptive sensor systems*, doktorska disertacija, Zagreb: Fakultet elektrotehnike i računarstva, 2021.
- [99] »Laboratorij za naprednu 3D rekonstrukciju i registraciju površina,« Fakultet elektrotehnike i računarstva, <https://www.fer.unizg.hr/sharklab>.
- [100] M. Đonlić, *Trodimenzionalna analiza površine leđa pri dinamičkim uvjetima u dijagnostici skolioze*, doktorska disertacija, Zagreb, 2019.
- [101] M. Lelas, *3D reconstruction system on smartphone*, doktorska disertacija, Zagreb, 2017.