

# Pregled mojega raziskovalnega dela

Overview of my research work

Franc Solina

franc.solina@fri.uni-lj.si

Fakulteta za računalništvo in informatiko

Univerza v Ljubljani

1000 Ljubljana, Slovenia

## POVZETEK

V članku podajam pregled mojega raziskovalnega dela od konca 70-tih let 20. stol. do leta 2022. Moji začetki so bili na področju analize biomedicinskih signalov, med študijem v ZDA sem se začel ukvarjati z računalniškim vidom. Moje glavno raziskovalno področje je 3D interpretacija slikovnih informacij in uporaba računalniškega vida pri uporabniških vmesnikih. Glavni aplikacijski področji katerim sem se posvetil pa sta dediščinska znanost, kjer metode računalniškega vida postajajo neobhodne za dokumentacijo najdišč in raznoraznih artefaktov, in sodobna novomedijska umetnost, kjer posebej pri interaktivnih instalacijah računalniški vid omogoča interakcijo z okoljem in obiskovalci.

## KLJUČNE BESEDE

Analiza EKG, računalniški vid, rekonstrukcija volumetričnih modelov, superkvadriki, uporabniški vmesniki, dediščinske znanosti, podvodna arheologija, analiza podatkov v letalstvu, novomedijska umetnost

## ABSTRACT

In this article I give an overview of my research work from the late 1970s to 2022. My beginnings were in the field of biomedical signal analysis, and I started working on computer vision while studying in the USA. My main research area is 3D interpretation of image information and the application of computer vision to user interfaces. The main application areas I have focused on are heritage science, where computer vision methods are becoming indispensable for the documentation of sites and various artefacts, and contemporary new media art, where, especially in interactive installations, computer vision enables interaction with the environment and visitors.

## KEYWORDS

ECG analysis, computer vision, reconstruction of volumetric models, superquadrics, user interfaces, heritology, underwater archaeology, data analysis in air traffic, new media arts

## 1 ANALIZA SIGNALOV EKG

Moja prva raziskovalna izkušnja sega v leto 1979, ko sem izdelal svojo diplomsko nalogo v *Laboratoriju za avtomatiko in kibernetiko* pod mentorstvom akad. prof. dr. Ludvika Gyergyeka [1]. Delal sem na računalniški analizi elektrokardiogramov in naša

raziskovalna skupina je bila interdisciplinarno sestavljena. V istem laboratoriju sem nato naredil tudi svojo magistrsko nalogo, kjer sem se posvetil analizi srčnih aritmij [2]. Objavili smo nekaj člankov na mednarodnih konferencah [3], naša skupina pa je leta 1982 tudi dobila *Nagrado Sklada Borisa Kidriča* za razvoj mikroprocesorskega analizatorja EKG [4]. Več o tem obdobju sem napisal v [5].

## 2 REKONSTRUKCIJA SUPERKVADRIKOV IZ GLOBINSKIH SLIK

Po obveznem služenju vojaškega roka, ki sem ga opravil v *Hydrografskem inštitutu Jugoslovanske vojne mornarice* v Splitu v letu 1982/83, sem s pomočjo Fulbrightove in IREXove štipendije odpravil na *Pensilvansko univerzo* v Filadelfijo, ZDA. V svoj laboratorij *GRASP* (General Robotics, Automation, Sensing & Perception Lab) me je sprejela prof. dr. Ruzena Bajcsy. Prof. Bajcsy [6], po rodu iz Slovaške, je svoj drugi doktorat znanosti dobila na Univerzi Stanford pod mentorstvom prof. Johna McCarthyja [7], enega od pionirjev umetne inteligence. Zato se lahko pohvalim, da je moj akademski "dedek" eden od začetnikov umetne inteligence [8].

V svoji doktorski disertaciji sem se ukvarjal z rekonstrukcijo volumetričnih modelov iz globinskih slik, ki navdih išče v teoriji človeškega zaznavanja slik. Rekonstrukcija vidne scene iz vizualnih podatkov je temeljno področje raziskav na področju računalniškega vida. Njegov glavni cilj je čim bolj natančno rekonstruirati opazovano okolje z opisom različnih predmetov v prizoru. Eden od prevladujočih pristopov k rekonstrukciji temelji na predstavitvi kompleksnih prizorov s pomočjo množice preprostih geometrijskih oblik, znanih tudi kot volumetrične primitivne oblike. Tako predstavljena okolja lahko nato avtonomni agenti uporabljajo za različne naloge, kot sta navigacija po okolici ali prijemanje predmetov, kar je praktično uporabno npr. v skladiščih in v proizvodnji. Opisani pristop rekonstrukcije, ki temelji na volumetričnih primitivih, je znan kot rekonstrukcija od spodaj navzgor. Superkvadriki so volumetrični 3D modeli, ki za oblikovanje različnih oblik potrebujejo le nekaj parametrov oblike, drugi parametri pa opisujejo njihovo velikost ter položaj in orientacijo v prostoru. V računalniško grafiko jih je vpeljal Alan Barr, v računalniški vid pa Sandy Pentland. Na osnovi njunih idej sem v svojem doktorskem delu razvil metodo rekonstrukcije superkvadrikov iz globinskih slik na osnovi minimizacije funkcije prileganja. Minimizacija je zahtevala iterativen postopek reševanja, saj je šlo za izrazit nelinearen problem. Kljub relativno kompleksni rešitvi, se je moja metoda uveljavila na zelo različnih aplikacijskih področjih, od robotike, medicine, pa celo antropologije za modeliranje človeških lobanj, kar priča okoli 2000 citatov na Google učenjaku.

Članek na osnovi mojega doktorata so sprejeli na prvi mednarodni konferenci iz računalniškega vida (ICCV), ki je bila 1987 v Londonu [9], kasneje sem članek objavil tudi reviji IEEE PAMI

Permission to make digital or hard copies of part or all of this work for personal or classroom use is granted without fee provided that copies are not made or distributed for profit or commercial advantage and that copies bear this notice and the full citation on the first page. Copyrights for third-party components of this work must be honored. For all other uses, contact the owner/author(s).  
*Information Society 2022, 10–14 October 2022, Ljubljana, Slovenia*

© 2022 Copyright held by the owner/author(s).

[10]. Konec leta 1987 sem zagovarjal svojo disertacijo [11]. Do avgusta 1988 sem nato imel na UPenn še status poddoktoranta, nato sem se vrnil v Ljubljano na FE in začel s predavanji na študijskem programu računalništva in informatike. V Ljubljani sem nadaljeval z delom na rekonstrukciji superkvadrikov. Leta 1991, ravno v času osamosvajanja Slovenije, sem na fakulteti ustanovil tudi lasten *Laboratorij za računalniški vid*. S svojima doktorskima študentoma Alešem Leonardisem in Alešem Jakličem sem izpopolnil metodo rekonstrukcije superkvadrikov tako, da je vključevala še segmentacijo kompleksnih predmetov na več superkvadrikov [12]. O tem našem delu smo napisali monografijo, ki je izšla pri založbi Kluwer, oziroma kasnejšem Springerju [13]. Tematika superkvadrikov pa s tem ni čisto zamrla, saj sem s svojim doktorskim študentom Jako Krivicem razvil zanimivo metodo prepoznavanja objektov na osnovi superkvadrične rekonstrukcije [14]. Superkvadrike smo uporabili tudi pri dokumentiranju arheoloških artefaktov v kontekstu dediščinske znanosti [15, 16].

Po dolgem premoru smo se superkvadrične obnove pred parimi leti ponovno lotili, pri čemer nas je navdihnil izjemni napredek na področju globokega učenja. Ti najsodobnejši pristopi zaobidejo računsko intenzivnost zgodnjih iterativnih rešitev. Obravnava tudi rekonstrukcijo iz različnih vrst podatkov, kot so oblaki točk, globinske slike in celo kombinacija intenzivnih in barvnih slik. Da bi dosegli uspešne rekonstrukcije, vsi pristopi sprejmejo učne cilje, ki vključujejo določeno raven geometrijskih informacij. Pokazali smo, da je z uporabo globokega učenja mogoče rekonstruirati superkvadrike iz ene same globinske slike [17], pri čemer smo se pri ocenjevanju velikosti, oblike, položaja in rotacije upodobljene superkvadrike oprli na napovedovalnik CNN. Razvili smo tudi metodo rekonstrukcije superkvadričnih modelov iz intenzivnih in barvnih slik [18]. Da bi to dosegli, smo sledili splošni zamisli metode, ki temelji na globinskih slikah, vendar smo naredili korak naprej in raziskali uporabo modelov globokega učenja za rekonstrukcijo superkvadrikov iz ene same slike RGB. Z globokimi nevronskimi mrežami smo se lotili tudi problema sočasne segmentacije in rekonstrukcije superkvadričnih modelov [19]. Prednost metod z uporabo CNN je predvsem veliko hitrejša rešitev, kar omogoča uporabo teh metod tudi takrat, ko je potrebno poiskati rešitev v realnem času, kot na primer pri avtonomni vožnji.

### 3 UPORABA RAČUNALNIŠKEGA VIDA V UPORABNIŠKIH VMESNIKIH

Če je še v 80-tih letih zajem slik z računalnikom zahteval dodatno strojno opremo, pa je v 90-tih letih vse več računalnikov imela že vgrajeno kamero. Zajem slik in s tem njihova uporaba je postala enostavna. Zato me je začela zanimati uporaba slik v kontekstu uporabniških vmesnikov. Razvili smo poseben uporabniški vmesnik za kontrolo zajema video slike na daljavo. Z enostavno robotsko roko je bilo možno premikati kamero levo-desno in gor-dol. Na ta način smo lahko zajeli panoramsko sliko [20] in tudi globinsko panoramsko sliko [21]. Ker nas je zanimala detekcija obrazov, smo razvili tudi enostavno metodo detekcije na osnovi barve kože, ki se je prilagajala različnim vrstam osvetlitve [22]. Prav zaradi preprostosti je ta naša metoda postala zelo popularna, saj ima na Google učenjaku skoraj 1000 citatov.

Preučevali smo tudi uporabo metod računalniškega vida za analizo gledanosti digitalnih oglasov [23] in novo vrsto dinamične anamorfoze, ki se prilagaja poziciji opazovalca v prostoru [24]. Preučevali smo tudi uporabniške vmesnike za ljudi s kognitivnim deficitom [25] in problem manjkajočega kontakta z očmi

med uporabniki videokonferenčnih sistemov [26] in vizualizacijo glasbe [27].

### 4 UPORABA RAČUNALNIŠKEGA VIDA V DEDIŠČINSKI ZNANOSTI

Kot sem že omenil, so metode računalniškega vida postale skoraj neobhodne v arheologiji in dediščinski znanosti, tako pri zajemu 3D podatkov (npr. večslikovna fotogrametrija, Lidar) kot pri modeliranju in analizi teh podatkov. Z našo metodo rekonstrukcije superkvadrikov smo modelirali kamnite sarkofage, ki jih je prevažala rimska ladja, ki se je potopila na severni strani otoka Brača [15]. Superkvadrike so zaradi rotacijske simetrije tudi zelo pripravnimi modeli za modeliranje amfor [16]. Sodelovali smo tudi pri dokumentiranju in analizi rimske ladje s pomočjo fotogrametrije v reki Ljubljanici pri Sinji Gorici [28, 29]. V kontekstu podvodne arheologije se vedno znova pojavi problem ohranjanja mokrega lesa. Na primeru 40.000 let stare paleolitske lesene osti, ki jo je našel v reki Ljubljanici naš sodelavec arheolog Miran Erič, smo preučevali spremembe, ki nastanejo med konzerviranjem takih predmetov [30].

### 5 ANALIZA PODATKOV V LETALSTVU

Marko Hrastovec, moj doktorski študent, me je potisnil na področje analize letalskih podatkov. Hrastovec je zaposlen na Slovenski kontroli poletov in ima tako dostop do podatkov, ki se zbirajo v centrih za kontrolo poletov. Za svojo magistrsko nalogo je postavil informacijski sistem, ki meteorološke podatke, ki jih letala preko radarskih povezav pošiljajo v kontrolne centre, posreduje naprej meteorološkimi središčem, ki z obogatjenimi podatki o temperaturah ozračja, hitrosti vetrov in vlažnosti lahko povečajo natančnost meteoroloških napovedi [31]. Z bolj natančnimi meteorološkimi podatki in drugimi podatki o posameznih letih, pa s pomočjo strojnega učenja lahko izboljša napovedi o trajanju posameznih poletov [32].

### 6 NOVOMEDIJSKA UMETNOST

Kmalu po mojem povratku na Univerzo v Ljubljani sem se povezal s Srečom Draganom, pionirjem video umetnosti v tedanji Jugoslaviji in profesorjem na Akademiji za likovno umetnost in oblikovanje. Povod za najino sodelovanje je bil spletni portal *Slovenska virtualna galerija* [33], ki je na nov način predstavil slovensko likovno umetnost. S Srečom Draganom sva začela dolgoletno plodno sodelovanje na področju umetnosti novih medijev [34]. V sodelovanje sva pritegnila tudi najine študente na FRI in ALUO. V interdisciplinarnem duhu in z uporabo tehnologij, ki smo jih razvijali v našem laboratoriju, smo eksperimentirali z novimi tehnologijami in jih preizkušali v kontekstu novomedijske umetnosti. Z našimi projekti smo se redno udeleževali *Mednarodnega festivala računalniških umetnosti* v Mariboru, festivalov *Speculum Artium* v Trbovljah, se pojavljali na drugih razstavah ali organizirali lastne letne pregledne naše novomedijske dejavnosti in študentskih umetniških projektov. Opažen je bil tudi naš prispevek v okviru evropskega meseca kulture leta 1997 v Ljubljani [35]. Novomedijska umetnost, ki je življensko odvisna od računalniške tehnologije, se je izkazala kot zelo primerno eksperimentalno polje tudi za preizkušanje novih metod računalniškega vida [36].

Sčasoma sem začel razvijati tudi lastne novomedijske projekte. Moj prvi odmeven projekt je bil *15 sekund slave*, ki so jo navdihnili portreti znanih ljudi Andyja Warhola [37]. Prvič je bila razstavljena leta 2002 na *Mednarodnem festivalu računalniških*

umetnosti v Mariboru, kasneje pa še velikokrat, tudi na samostojni razstavah [38]. Instalacija s samodejnim zaznavanjem obrazov iz naključno izbranih obrazov obiskovalcev galerije, ki stojijo pred instalacijo, ustvari pop art portrete. Ti portreti se nato za 15 sekund prikažejo na računalniškem monitorju, ki je okvirjen kot umetniška slika. Instalacija je bila ustvarjena, še preden se je začela doba selfijev, vendar je že odlično naslovlila potrebo ljudi po samospoznavanju in samopotrditvi. Na primeru te instalacije smo tudi preučevali vzdrževanje novomedijske umetnosti [39].

Pred desetimi leti, leta 2012, sem začel bolj po naključju kipa-riti v kamnu in lesu morda iz želje, da bi z rokami počel kaj več kot le tipkal in sedel za računalniškim zaslonom. Po nekaj kiparskih delavnica pod vodstvom akademskih kipark Alenke Vidrgar in Dragice Čadež Lapajne sem začel delati samostojno. Moje dosedanje kiparsko delo je bilo nedavno predstavljeno na samostojni razstavi, ki je bila jeseni 2020 v Galeriji DLUL v Ljubljani [40]. Svoje znanje računalništva poskušam združiti s kiparstvom. Raziskujem, kako lahko kip obogatimo z virtualno vsebino. V preteklosti so umetniki kamnite skulpture pogosto postavljali v vodno okolje – bodisi v stoječo vodo, v kateri se je skulptura zrcalila, bodisi kombinirali s tekočo vodo v obliki različnih fontan, ki so vnašale dinamičen element. Za serijo skulptur Svetlobna fontana – doslej sem v tej seriji izdelal dve skulpturi, *Sonce in Galaksija* [41] – sem za zajem 3D-oblike skulpture uporabil Kinectov globinski senzor. Te informacije o 3D-obliki se lahko nato uporabijo za izračun gibanja vodnih kapljic, ki navidezno padajo na skulpturo. Ker gre le za virtualne vodne kaplje, jih predstavljajo svetlobne točke, ki se prek videoprojeksijske projekcije na skulpturo. Te svetlobne točke se dejansko gibajo kot vodne kapljice, saj drsijo po površini skulpture v smeri največjega nagiba [42]. O kreativnosti v znanosti in umetnosti in kako se povezujeta ti dve področji pa sem pisal v [43]. Po bolonjski reformi sem začel redno predavati tudi na ALUO, smer Video in novi mediji.

## 7 SKLEP

Moje strokovno in organizacijsko delo po ustanovitvi samostojne Fakultete za računalništvo in informatiko leta 1996 je bolj podrobno opisano v zborniku, ki je izšel ob 20-letnici fakultete [44]. Naj na kratko omenim le, da sem se kot dekan fakultete med leti 2006 in 2010 posvetil predvsem bolonjski reformi in arhitekturnim načrtom nove stavbe. Pri bolonjski reformi sem si prizadeval, da bi tudi umetna inteligenca dobila svoj zaslužen del študijskega programa na FRI, ki ga do tedaj ni imela, čeprav je prav umetna inteligenca prispevala največ raziskovalnih rezultatov. Pri novi stavbi pa smo od arhitektov predvsem želeli prostore, ki bodo omogočali lažje srečevanje ljudi in tako spodbujali večje sodelovanje.

## LITERATURA

- [1] Franc Solina. "Računalniška analiza ravninskih in prostorskih zank VKG signalov". Diplomsko naloga. Fakulteta za elektrotehniko, Univerza v Ljubljani, 1979.
- [2] Franc Solina. "Računalniška prepoznavna motenj srčnega ritma". Magistrska naloga. Fakulteta za elektrotehniko, Univerza v Ljubljani, 1982.
- [3] Krunoslav Turkulin, Ludvik Gyergyék, Marjan Vezjak, Franc Solina, Vojko Valenčič, Janez Trontelj in Slobodan Ribarić. "Automatska analiza elektrokardiograma u opterećenju". V: *Neinvazivne metode u kardiologiji: međunarodni simpozij pod pokroviteljstvom Evropskog kardiološkog društva*. (Dubrovnik). Ur. Krunoslav Turkulin. Udruženje Kardiologa Jugoslavije, 1980, str. 25–33.
- [4] Damjan Zazula, Marjan Vezjak, Ludvik Gyergyék, Franc Solina in France Mihelič. "A microcomputer for on-line analysis of exercise electrocardiographic signals". V: *Mini and microcomputers and their applications: proceedings of the ISMM international symposium*. (Sant Felàu de Guixols, Spain). Ur. E. Luque. Universidad Autonoma de Barcelona, 1985, str. 307–310.
- [5] Franc Solina. "Moje računalniško izobraževanje = My computer science education". V: *50-letnica poučevanja računalništva v slovenskih srednjih Solah: 6. oktober 2021, Ljubljana, Slovenia*. Ur. Saša Divjak in Alenka Krapež. Institut "Jožef Stefan", 2021, 34–37. URL: [http://library.ijs.si/Stacks/Proceedings/InformationSociety/2021/IS2021\\_Volume\\_I.pdf](http://library.ijs.si/Stacks/Proceedings/InformationSociety/2021/IS2021_Volume_I.pdf).
- [6] *Ruzena Bajcsy — Wikipedija, prosta enciklopedija*. URL: [https://sl.wikipedia.org/wiki/Ruzena\\_Bajcsy](https://sl.wikipedia.org/wiki/Ruzena_Bajcsy) (pridobljeno 12. 9. 2021).
- [7] *John McCarthy — Wikipedia, The Free Encyclopedia*. URL: [https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=John\\_McCarthy\\_\(computer\\_scientist\)&oldid=1041515367](https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=John_McCarthy_(computer_scientist)&oldid=1041515367) (pridobljeno 12. 9. 2021).
- [8] *Mathematics Genealogy Project — Ruzena Kucera Bajcsy*. URL: <https://genealogy.math.ndsu.nodak.edu/id.php?id=39957> (pridobljeno 12. 9. 2021).
- [9] Ruzena Bajcsy in Franc Solina. "Three dimensional object representation revisited". V: *First International Conference on Computer Vision, ICCV'87*. (London, UK). IEEE Computer Society, 1987, str. 231–240.
- [10] Franc Solina in Ruzena Bajcsy. "Recovery of parametric models from range images: the case for superquadrics with global deformations". V: *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence* 12.2 (1990), str. 131–147. doi: 10.1109/34.44401.
- [11] Franc Solina. "Shape recovery and segmentation with deformable part models". Doktorska disertacija. Philadelphia, PA: University of Pennsylvania, 1987. URL: <https://repository.upenn.edu/dissertations/AAI8804963>.
- [12] Aleš Leonardiš, Aleš Jaklič in Franc Solina. "Superquadrics for segmenting and modeling range data". V: *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence* 19.11 (1997), str. 1289–1295. doi: 10.1109/34.632988.
- [13] Aleš Jaklič, Aleš Leonardiš in Franc Solina. *Segmentation and Recovery of Superquadrics*. Computational Imaging and Vision. Springer Dordrecht, 2000. doi: 10.1007/978-94-015-9456-1.
- [14] Jaka Krivic in Franc Solina. "Part-level object recognition using superquadrics". V: *Computer Vision and Image Understanding* 95.1 (2004), str. 105–126. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cviu.2003.11.002>.
- [15] Aleš Jaklič, Miran Erič, Igor Mihajlovič, Žiga Stopinšek in Franc Solina. "Volumetric models from 3D point clouds: The case study of sarcophagi cargo from a 2nd/3rd century AD Roman shipwreck near Sutivan on island Brač, Croatia". V: *Journal of Archaeological Science* 62 (2015), str. 143–152. doi: 10.1016/j.jas.2015.08.007.
- [16] Žiga Stopinšek in Franc Solina. "3D modeliranje podvodnih posnetkov". V: *SI robotika*. Ur. Marko Munih. Slovenska matica, 2017, 103–114.
- [17] Tim Oblak, Jaka Širčelj, Vitomir Štruc, Peter Peer, Franc Solina in Aleš Jaklič. "Learning to Predict Superquadric

- Parameters From Depth Images With Explicit and Implicit Supervision". V: *IEEE Access* 9 (2021), str. 1087–1102. doi: 10.1109/ACCESS.2020.3041584.
- [18] Darian Tomašević, Peter Peer, Franc Solina, Aleš Jaklič in Vitomir Štruc. "Reconstructing Superquadrics from Intensity and Color Images". V: *Sensors* 22.14 (2022). ISSN: 1424-8220. doi: 10.3390/s22145332. URL: <https://www.mdpi.com/1424-8220/22/14/5332>.
- [19] Jaka Šircelj, Tim Oblak, Klemen Grm, Uroš Petković, Aleš Jaklič, Peter Peer, Vitomir Štruc in Franc Solina. "Segmentation and recovery of superquadric models using convolutional neural networks". V: *Proceedings of the 25th Computer Vision Winter Workshop Conference, Rogaska Slatina, February 3-5, 2020*. Ur. Alan Lukežič, Domen Tabernik in Klemen Grm. Slovensko društvo za razpoznavanje vzorcev, 2020, 74–81. URL: <http://data.vicos.si/cvww20/CVWW20-proceedings.pdf>.
- [20] Bor Prihavec in Franc Solina. "User interface for video observation over the internet". V: *Journal of Network and Computer Applications* 21.4 (1998), str. 219–237. doi: <https://doi.org/10.1006/jnca.1999.0074>.
- [21] Peter Peer in Franc Solina. "Panoramic Depth Imaging: Single Standard Camera Approach". V: *International Journal of Computer Vision* 47.1/2/3 (2002), 149–160. doi: 10.1023/A:1014541807682.
- [22] Jure Kovač, Peter Peer in Franc Solina. "Human skin color clustering for face detection". V: *The IEEE Region 8 EUROCON 2003. Computer as a Tool*. Zv. 2. 2003, str. 144–148. doi: 10.1109/EURCON.2003.1248169.
- [23] Robert Ravnik in Franc Solina. "Audience Measurement of Digital Signage: Quantitative Study in Real-World Environment Using Computer Vision". V: *Interacting with Computers* 25.3 (feb. 2013), str. 218–228. doi: 10.1093/iwc/iws023.
- [24] Robert Ravnik, Borut Batagelj, Bojan Kverh in Franc Solina. "Dynamic Anamorphosis as a Special, Computer-Generated User Interface". V: *Interacting with Computers* 26.1 (apr. 2013), str. 46–62. doi: 10.1093/iwc/iwt027.
- [25] Erika Pavlin, Žiga Elsner, Tadej Jagodnik, Borut Batagelj in Franc Solina. "From illustrations to an interactive art installation". V: *Journal of Information, Communication and Ethics in Society* 13.2 (2015), str. 130–145. doi: 10.1108/jices-02-2014-0007.
- [26] Aleš Jaklič, Franc Solina in Luka Šajn. "User interface for a better eye contact in videoconferencing". V: *Displays* 46 (2017), str. 25–36. doi: <https://doi.org/10.1016/j.displa.2016.12.002>.
- [27] Peter Ciuha, Bojan Klemenc in Franc Solina. "Visualization of concurrent tones in music with colours". V: *Proceedings of the 18th ACM international conference on Multimedia*. ACM. Firenze, 2010, str. 1677–1680.
- [28] Miran Erič, Andrej Gaspari, Katarina Čufar, Franc Solina in Tomaž Verbič. "Zgodnjerimska ladja iz Ljubljane pri Sinji Gorici = Early Roman barge from the Ljubljana River at Sinja Gorica". V: *Arheološki vestnik* 65 (2014), 187–254. URL: [http://av.zrc-sazu.si/Si/65/Eric\\_AV\\_65.html](http://av.zrc-sazu.si/Si/65/Eric_AV_65.html).
- [29] Miran Erič, Enej Guček Puhar, Žiga Stopinšek, Aleš Jaklič in Franc Solina. "The significance of detailed analysis of 3D cloud points which include data that the human eye can overlook: the case of a flat-bottomed ship from the Ljubljana river". V: *Skyllis* 19.1/2 (2019), 29–40.
- [30] Enej Guček Puhar, Lidija Korat, Miran Erič, Aleš Jaklič in Franc Solina. "Microtomographic Analysis of a Palaeolithic Wooden Point from the Ljubljana River". V: *Sensors* 22.6 (2022). doi: 10.3390/s22062369.
- [31] Marko Hrastovec in Franc Solina. "Obtaining meteorological data from aircraft with Mode-S radars". V: *IEEE Aerospace and Electronic Systems Magazine* 28.12 (2013), str. 12–24. doi: 10.1109/MAES.2013.6693664.
- [32] Marko Hrastovec in Franc Solina. "Prediction of aircraft performances based on data collected by air traffic control centers". V: *Transportation Research Part C: Emerging Technologies* 73 (2016), str. 167–182. doi: <https://doi.org/10.1016/j.trc.2016.10.018>.
- [33] Andrej Lapajne, Bor Prihavec, Aleksander Ruben, Žiga Kranjec in Franc Solina. "Slovenian Virtual Gallery". V: *Proceedings 4th Electrotechnical and Computer Science Conference ERK*. Zv. A. 1995, str. 3–6.
- [34] Franc Solina in Srečo Dragan. "Novomedijski umetniški projekti kot most med realnim in virtualnim svetom". V: *Robotika in umetna inteligenca*. Ur. Tadej Bajd in Ivan Bratko. Slovenska matica, 2014, str. 187–230. URL: [http://eprints.fri.uni-lj.si/2861/1/Poglavje\\_SM\\_Solina-Dragan.pdf](http://eprints.fri.uni-lj.si/2861/1/Poglavje_SM_Solina-Dragan.pdf).
- [35] Srečo Dragan, Franc Solina, Bor Prihavec, Slavko Korenč in Bojan Nemeč. "Netropolis – the Cyborg's eye: project". V: *Programme of the European cultural month: May 15 to July 5, 1997*. Municipality of Ljubljana, 1997, str. 36.
- [36] Franc Solina. "New media art projects, panoramic images and live video as interface between real and virtual worlds". V: *DESIDOC Journal of Library & Information Technology* 34.2 (2014), str. 110–124.
- [37] Franc Solina. "15 seconds of fame". V: *Leonardo* 37.2 (apr. 2004), str. 105–110. doi: 10.1162/0024094041139274.
- [38] Franc Solina. *15 sekund slave = 15 seconds of fame*. Ur. Aleš Vaupotič in Narvika Bovcon. Galerija spomeniškovarstvenega centra, Trg francoske revolucije 3, Ljubljana, 1.-12. 2. 2005. ArtNetLab - društvo za povezovanje umetnosti in znanosti, 2005, str. 20. URL: <http://eprints.fri.uni-lj.si/194/>.
- [39] Borut Batagelj in Franc Solina. "Preservation of an interactive computer-based art installation - a case study". V: *International Journal of Arts and Technology* 10.3 (2017), str. 206–230. doi: 10.1504/IJART.2017.086669.
- [40] Franc Solina. *Skulpture / Sculptures 2012–2020, 2. izdaja / 2nd Edition*. Ljubljana: Društvo likovnih umetnikov Ljubljana, Fakulteta za računalništvo in informatiko, 2021. doi: 10.51939/0001.
- [41] Franc Solina. *Light Fountain II – Galaxy*. 2022. URL: <https://youtu.be/y6NAiXINm20> (pridobljeno 1. 9. 2022).
- [42] Franc Solina in Blaž Meden. "Light fountain – a virtually enhanced stone sculpture". V: *Digital Creativity* 28.2 (2017), str. 89–102. doi: 10.1080/14626268.2016.1258422.
- [43] Franc Solina. "Creativity in Science and Art". V: *Creativity*. Ur. Silvio Manuel Da Rocha Brito in João Thomaz. Rijeka: IntechOpen, 2022. Pogl. 29. doi: 10.5772/intechopen.101955.
- [44] Miha Bejek, Vesna Gračner, Vida Groznik, Viljan Mahnič in Franc Solina, ur. *FRI 20: 1996–2016: 20 let Fakultete za računalništvo in informatiko Univerze v Ljubljani*. Ljubljana: Fakulteta za računalništvo in informatiko, 2016. URL: [http://eprints.fri.uni-lj.si/3655/1/Zbornik\\_FRI20\\_web\\_100.pdf](http://eprints.fri.uni-lj.si/3655/1/Zbornik_FRI20_web_100.pdf).