

# Video meritve dolžin smučarskih skokov

Tadej Ciglarič<sup>1</sup>, Karmen Gostiša<sup>1</sup>, Timotej Kovač<sup>1</sup>, Darja Peternel<sup>3</sup>, Manja Pograjc<sup>2</sup>,  
Nac Stoklas<sup>1</sup>, Blaž Štempelj<sup>1</sup>, Gašper Vodan<sup>2</sup>, Robert Rozman<sup>1</sup>, Matjaž Kukar<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Univerza v Ljubljani, Fakulteta za računalništvo in informatiko, Večna pot 113, 1000 Ljubljana, Slovenija

<sup>2</sup>Univerza v Ljubljani, Fakulteta za šport, Gortanova 22, 1000 Ljubljana, Slovenija

<sup>3</sup>Univerza v Ljubljani, Fakulteta za matematiko in fiziko, Jadranska ulica 19, 1000 Ljubljana, Slovenija

E-pošta: matjaz.kukar@fri.uni-lj.si

## Video measurement of ski jumping distances

*Based on great successes of Slovenian ski jumpers in recent years there is a lot of interest in ski jumping, especially in junior categories. Competitions with 100 – 200 jumpers that take almost the whole day are no rare events. Distance measuring in junior categories is performed by three to five umpires solely by their eyes. Only in highest level competitions (world cup, continental cup) video recordings are used for this purpose. We describe the development of an affordable system for video measurements of ski jumping distances. Contrary to related work we do not rely on wearable sensors, but on video and audio information only. We focus on using commercially available technologies (video camera, external microphone, portable computer) to support and (in the future) automatically measure jumping distance. We developed a user-friendly integrated application that utilizes the OpenCV library for detecting and tracking the jumper, overlaying video with a calibrated distance mesh, and fusion of video and audio data for landing detection. We recorded four competitions; three of them are useful for further analysis. Our evaluation shows that our system requires a moderately fast portable computer and could be, with an investment of a few thousand euros, usefully deployed in real time.*

## 1 Uvod

V zadnjih letih smo priča razcvetu športa smučarskih skokov v Sloveniji, predvsem kot posledica dobrih rezultatov slovenske moške in ženske reprezentance ter izjemnih uspehov Petra Prevc. Izrazito je povečano zanimanje na primarni ravni, saj v zadnjih letih klubi poročajo o podvojitvi števila članov, predvsem na račun mlajših osnovnošolcev (7-10 let). Posledično naraščajo tudi obremenitve trenerskega kadra, ter organizatorjev in strokovnih delavcev na tekmovanjih, ki se v smučarskih skokih izvajajo tudi v najmlajših kategorijah.

Administrativni del izvedbe manjših tekmovanj je informacijsko relativno dobro pokrit [5], pri strokovnem delu pa informacijska podpora šepa. Na najvišjih tekmovalnih ravneh (svetovni in celinski pokal) imajo strokovni delavci – delegati, sodniki in merilci dolžin - zagotovljeno informacijsko podporo, na nižjih pa praktično ničesar. V našem projektu se osredotočamo predvsem na podporo merilcem, ki imajo zahtevno, izpostavljeno

vlogo ob doskočišču, njihove napake pri meritvah pa pogosto prinašajo slabo voljo med trenerji, starši in gledalci, pa tudi v javnem mnenju.

Cilj projekta je razvoj prototipa sistema za avtomatske video meritve dolžin smučarskih skokov na manjših skakalnicah, ki ima preproste strojne zahteve (en sam video sistem in prenosni računalnik) in omogoča natančne meritve v realnem ali skoraj realnem času (dopustne so zakasnitve 4-6 sekund) [6]. V fazi razvoja sistem vrednotimo na treningih smučarskih skokov, pa tudi na tekmovanjih mlajših kategorij v regijskih (pokal Cockta), državnem prvenstvu in mednarodnih tekmovanjih (pokal Alpe-Adria).

## 2 Zasnova projekta

Pod okriljem Smučarske zveze Slovenije (SZS) [7] se v Sloveniji letno izvede preko 100 skakalnih tekmovanj na najrazličnejših nivojih - od lokalnih tekem, do državnih prvenstev v vseh starostnih kategorijah (od 8 let dalje). Meritve dolžin smučarskih skokov se na tekmovanjih nižjih rangov in mlajših kategorij izvajajo izključno ročno. Ob doskočišču stoji tri do pet merilcev (slika 1), ki vizualno in glede na izkušnje bolj ali manj točno ocenijo dolžino skoka skakalca, ki mimo njih tudi na najmanjših napravah prileti s hitrostjo večjo od 10 m/s. Zahtevana natančnost meritve znaša 0,25 m na najmanjših in 0,5 m na nekoliko večjih napravah. Po naših meritvah lahko na manjših napravah relativne napake merilcev presegajo 10% – na velikanki bi takšna napaka pomenila 25 m!

Na najvišjih tekmovalnih ravneh se izvajajo video meritve dolžin skokov [6, 8], ki pa zahtevajo kompleksno postavitve dragega sistema z več (2-4) kamerami, ter sodelovanje posebej izšolanega tehnika in merilca [6]. V preteklosti je bilo sicer nekaj poskusov implementacije avtomatskih meritev, vendar so bili rezultati bodisi premalo natančni [9], bodisi zahtevajo dodatno opremo skakalcev in zelo natančno sinhronizacijo različnih naprav s snemalno tehniko [1, 2]. Presenetljivo je, da kljub silovitem razvoju na področjih računalniškega vida in umetne inteligence, video meritve še vedno potekajo s pomočjo človeka-merilca, ki s pomočjo video tehnike izmeri razdaljo. Opisan pristop ima za uporabo na manjših tekmovanjih nižjega ranga več pomanjkljivosti, ki jih skušamo v našem projektu ustrezno obdelati.

1. Je drag in kompleksen za vzpostavitev, zato se uporablja le na najvišjih tekmovalnih ravneh.
2. Je konceptualno zastarel; merilcu razen vizualne ne nudi dodatne informacije o doskoku in dolžini.

V projektu razvijamo sistem z uporabo cenovno dostopnih tehnologij (hitrosnemalna kamera, prenosni računalnik), ki je enostaven za postavitve, ter omogoča prilagoditev na različne skakalnice in položaje kamere.



Slika 1: Primer doskoka skakalke na tekmi (Pokal občine Zagorje, skakalnica Kisovec HS17, maj 2017). Desno ob doskočišču je jasno vidnih pet merilcev.

## 2.1 Projektni partnerji

Na projektu sodelujeta dve fakulteti Univerze v Ljubljani in sicer Fakulteta za računalništvo in informatiko kot prijaviteljica in glavna nosilka, ter Fakulteta za šport. Poleg tega je aktivno vključeno še podjetje AZ net d.o.o. [10], ki pomaga z izkušnjami, strojno opremo (video kamere, povezovalni kabli, prenosno napajanje z elektriko) in deloma tudi s programsko opremo, razvito za video meritve kolesarskih tekmovanj v okviru Kolesarske zveze Slovenije in drugih športnih panog. Praktični del se odvija pod okriljem Smučarske zveze Slovenije [7], kjer smo preko vključenih skakalnih klubov dobili možnost postavitve opreme in snemanja tekem v njihovi organizaciji.

## 3 Metode

Naš namen je bil zasnovati in po možnosti v praksi preizkusiti prototip sistema za avtomatsko video merjenje dolžin smučarskih skokov na manjših napravah, z uporabo cenovno dostopne opreme in brez zahtev po dodatni opremi skakalca (nasprotno kot npr. [1, 2, 3], ki opremljajo skakalce s pospeškometri). V ta namen smo delo

organizirali v sklope, kot je navedeno v nadaljevanju. Kot programski jezik smo uporabili Python 3.5 z dodatnimi knjižnicami oz. moduli (navajamo le glavne):

- *opencv*: procesiranje videa, metode za delo z računalniškim vidom, strojno učenje;
- *pyqt*: razvoj uporabniškega vmesnika;
- *numpy*: učinkovito računanje z matrikami;
- *matplotlib*: izrisovanje grafov;
- *scipy*: napredne matematične operacije, statistična analiza;
- *pyodbc*: dostop in delo s podatkovno bazo;
- *pyaudio*, *wave*: delo z zvočnim zapisom.

### 3.1 Pridobivanje video posnetkov doskokov skakalcev

S poskusnim snemanjem smo začeli na treningih v Smučarsko skakalnem klubu Mengeš, ter nadaljevali s snemanji na naslednjih tekmah:

- državno prvenstvo kategorij do 10 in do 11 let (Mengeš);
- pokalna tekma Cockta kategorij do 9, 10, 11 in 13 let (Bohinj);
- pokal občine Zagorje kategorij do 9, 10 in 11 let (Kisovec);
- pokal Alpe-Adria kategorij do 8, 9 in 10 let (Trbiž).

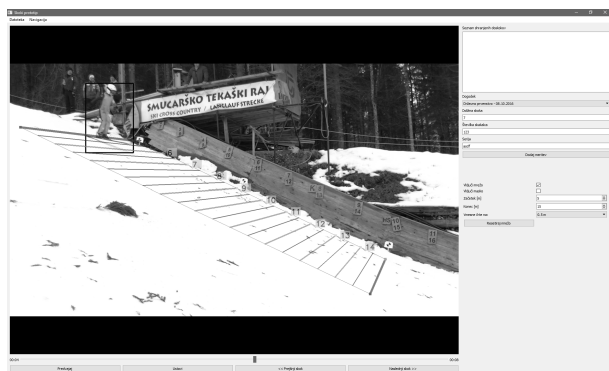
Snemali smo z dvema hitrosnemalnima kamera JVC GC-PX100, ki omogočata snemanje do 500 sličic na sekundo, po potrebi z upodobno dodatnih tele- ali širokokotnih objektivov, ter za nadaljnje delo izbrali posnetke, ki so bolj uspeli. Kamere in dodatno snemalno opremo nam je prijazno posodilo podjetje AZ net d.o.o [10]. Snemanja so potekala tako na snegu kot na plastični podlagi. Poseben izziv je na vsaki skakalnici predstavljala ustrezna postavitve kamer, saj je optimalna pozicija tipično sovpadala z namestitvijo sodnikov ali merilcev. Idealna pozicija je nekoliko višje od skakalnice, kjer se bolje vidi večji kos skakalnice, kar omogoča lažjo postavitve merilne mreže.

### 3.2 Organizacija hranjenja posnetkov in rezultatov

Po vsaki tekmi smo od organizatorjev pridobili uradne štartne sezname in rezultate, vključno s sodniškimi ocenami in uradno izmerjenimi dolžinami skokov v vseh serijah. Rezultate smo uvozili v podatkovno bazo, video posnetke pa shranili v datotečnem sistemu. Za vse skakalce, katerih posnetke ali fotografije nameravamo objaviti (npr. v pričujočem članku) smo pridobili soglasja staršev v skladu s priporočili informacijske pooblaščenke. Strukturo podatkovne baze smo zasnovali na način, ki omogoča večkratno ponovitev meritev s strani različnih merilcev ali avtomatskih postopkov. Podatkovni sistem smo implementirali na centraliziranem MySQL podatkovnem strežniku na FRI. Za dostop do podatkov smo definirali nabor funkcij (API), preko katerih aplikacija dostopa do podatkov.

### 3.3 Aplikacija za pregledovanje video posnetkov

Za namene vrednotenja sistema, re-analize uradnih meritev in pridobivanja podatkov za strojno učenje zaznave doskoka, smo razvili uporabniško prijazno aplikacijo, ki omogoča uvoz posnetkov, kalibracijo merilne mreže na konkretno skakalnico in povezavo z uradnimi rezultati, omogočala pa bo tudi testiranje avtomatske zaznave doskoka (v času pisanja članka še v razvoju).



Slika 2: Zaslonska slika aplikacije, ki omogoča izvajanje ročnih ali avtomatskih naknadnih meritev, ter njihovo vpisovanje v podatkovno bazo (Bohinj, pokal Cockta).

Poleg že omenjenega, aplikacija omogoča hitro premikanje po samih skokih, kar izredno pospeši naknadne meritve in anotacijo skokov. V primeru, da uporabljamo oddaljeno podatkovno bazo, za dostop do katere je potrebna internetna povezava, mi pa se nahajamo na terenu, kjer povezave ni, je anotacija skokov še vedno mogoča. V ozadju se namreč vsakršna anotacija skoka shrani tudi v tekstovno datoteko. Te datoteke je kasneje mogoče izvoziti iz aplikacije in naknadno uvoziti v podatkovno bazo.

### 3.4 Kalibracija sistema na konkretno skakalnico

Kot optimalne lokacije za namestitve kamere so se pokazale nekoliko dvignjene lokacije ob doskočišču, kar ustreza položaju človeških merilcev. Pred vsakim avtomatskim ali ročnim video merjenjem je aplikacijo potrebno prilagoditi (kalibrirati) na konkretno skakalnico. Pri tem se nad sliko doskočišča prikaže slika mreže, katere razdelitve ustrezajo glede na kategorijo zahtevani natančnosti meritev (0,25 m ali 0,5 m). Slika 2 kaže tovrstno mrežo, katere razdelke prilagajamo oznakam razdalj na doskočišču (če so vidne), ali pa v ta namen postavljemo markerjem s pripisanimi razdaljami. S prilagajanjem mreže na oznake praktično izničimo vpliv perspektive in nelinearnosti doskočišča. Poskusi z merilnim trakom so pokazali, da napake pri četrtmeterski mreži znašajo le nekaj centimetrov, kar ne vpliva na zahtevano točnost meritev.

Aplikacija si ob zaključku zapomni zadnjo postavitev mreže. To nam je v pomoč, kadar opravljamo delo na isti skakalnici večkrat zapored (npr. več serij). Vse operacije nad mrežo se nad video posnetkom izrisujejo v realnem času. Mreža je delno prosojna, kar omogoča lažje opazovanje skakalčevih smučič in določa dolžine skoka, ter posledično točnejše meritve.

### 3.5 Detekcija gibanja skakalca

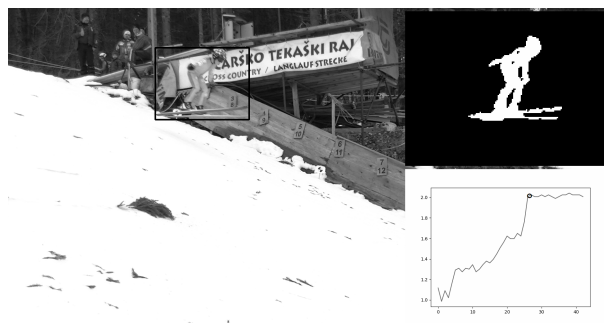
Detekcijo gibanja skakalca smo implementirali z uporabo modula OpenCV [4]. S ciljem preprečiti lažno zaznavo skoka smo se omejili na dovolj velike in dovolj hitre gibajoče se objekte (slika 3). Kandidate za skakalca so regije na trenutni sliki, ki se močno razlikujejo od prejšnjih slik. Dobimo jih tako, da izračunamo harmonično sredino razlik trenutne slike in prejšnjih nekaj slik. Nato nad dobljeno sliko uporabimo dvojen prag, podobno, kot v algoritmu za detekcijo robov Canny. Izmed regij, ki so kandidati za skakalca izberemo tisto, ki ima največjo površino. Če je dovolj velika in se premika dovolj hitro jo označimo kot skakalca. V nasprotnem primeru v trenutni sliki skakalca nismo zaznali.

### 3.6 Detekcija doskoka

Pri detekciji doskoka smo sledili skakalčevim smučem. Smučiči smo detektirali s Houghovo transformacijo za detekcijo črt. Pri tem smo imeli nekaj problemov s senco smučič, ki se pojavi tik pred doskokom. Ker ima podobno obliko kot smučič se lahko zgodi, da občasno zaznamo senco namesto smučič. Za grobo detekcijo trenutka doskoka se je dobro izkazala krivulja naklona smučič (slika 3), ki postane (skoraj) konstantna, ko skakalec doskoči. Za praktično uporabo je potrebno metodo dodatni dopolniti v skladu s tekmovalnimi pravili FIS in SZS, za kar uporabljamo pristop s strojnimi učenjem na ročno anotiranih doskokih (delo v času pisanja članka še poteka).

### 3.7 Uporaba zvočne informacije

Pri delu z zvokom smo zaradi enostavnosti uporabili kar mikrofona kamere. Uporabili smo algoritem RMS s primerno frekvenco vzorčenja in povprečenjem z drsečim oknom, pri posebej šumnih skokih (ploskanje) pa tudi na frekvenčno/spektralno analizo. Analizo posnetkov in problematiko posebej šumnih posnetkov smo opravili tudi s specializiranimi programi (Scilab) in objektivno v frekvenčnem prostoru ter močnostnem profilu ovrednotili pro-



Slika 3: Slika sledenja skakalca ter krivulja naklona smučič. Desno zgoraj je obris detektiranega gibajočega se dela slike primerne velikosti in hitrosti. Desno spodaj je slika naklona smučič. Na abscisni osi se nahaja čas (merjen v številu sličic, 50 sličic ustreza eni sekundi), na ordinatni osi pa naklon smučič. Koleno na sliki (označeno s črnim krožcem) sovпада s (kasnejšim) pristankom skakalca, saj je od tega trenutka dalje naklon bolj ali manj konstanten.

blem podobnosti ploskanja ter doskoka. Problem zašumljenih posnetkov bi z uporabo zunanjega usmerjenega mikrofona lahko še dodatno poenostavili. Rezultati so nas usmerili k izbiri zvoke kot pomožnega vira pri detekciji točke doskoka. Vključevanje zvočne informacije k detekciji doskoka še poteka, pričakujemo pa, da bo v večni primerov zožila interval detekcije na nekaj sličic, kar bo še dodatno zmanjšalo časovno zahtevnost celotnega postopka detekcije doskoka.

## 4 Rezultati

Razvili in preizkusili smo aplikacijo za naknadno merjenje dolžin skokov na podlagi video posnetkov. V praksi sta ga uporabila člana projektne skupine, trener in sodnica smučarskih skokov, ter ovrednotila rezultate posnetih tekem (postopek v času pisanja članka še poteka). Uradne tekmovalne rezultate, izmerjene s klasični pristopom (več šolanih ljudi – merilcev), primerjamo z našimi video meritvami. V nekaterih primerih se pri naknadnih meritvah izkazujejo precejšnja odstopanja od uradnih rezultatov. Ko bodo naknadne meritve končane, bomo rezultate tudi statistično ovrednotili, s tem da bomo upoštevali morebitno sistematično pristranskost video meritvev (drugačna perspektiva kot kot merilci). Implementirane metode zanesljivo detektirajo skakalca, kar omogoča enostavno preskakovanje s skoka na skok in s tem hitro ponovno merjenje dolžin. Detekcija doskoka je v času pisanja članka še v delu.

Trenutno aplikacija za delo v realnem času potrebuje relativno veliko procesorske moči (okrog 70% solidnega dvojedrnega procesorja). To pomeni, da je za dolgotrajnejše delo potrebno prenosni računalnik priključiti na napajanje, ki pa hkrati izkoristi tudi polno moč procesorja (način varčevanja z energijo ni vključen). Za delo v realnem času torej zadošča sodoben dvojedrni (še bolje: štirijedrni) prenosni računalnik cenovnega ranga okrog 1000 €, kar pomeni, da je programsko opremo ob zagotovljenem napajanju z energijo možno uporabiti na terenu.

## 5 Razprava

V okviru projekta smo izpolnili večino zastavljenih ciljev. Zelo nas je oviralo nerazumljivo zavlačevanje z rezultati razpisa in začetkom izvajanja projekta, kar nam je preprečilo delo v celotni, skakalno zelo aktivni, jesenski sezoni, zimsko pa smo ujeli le za rep. Kot velik problem se je pokazalo tudi pozicioniranje kamere, saj so najprimernejša mesta med tekmami zasedena s sodniki ali merilci, ki zastirajo pogled kameri. Za praktično uporabo bi bila na vsaki skakalnici potrebna minimalna investicija (velikostnega razreda 100 €) v držalo za kamero na primer nem mestu, npr. na sodniškem stolpu. Za razvojno delo je bila uporabljena snemalna oprema zelo primerna, saj je omogočala snemanje tekem brez računalniške opreme. V praksi bi bila potrebna investicija približno 2000 € v primerno hitro in kvalitetno IP kamero z nekaj objektivami, ter usmerjen zunanji mikrofoni. Skupni stroški kompletnega sistema, vključno z napajanjem (agregat) in kabli bi bilo okrog 4000 €, s tem da bi ga bilo mogoče enostavno predstavljati na različne lokacije tekem.

## Zahvala

Za sodelovanje se zahvaljujemo Smučarsko skakalnim klubom Mengeš, Bohinj in Zagorje ter Smučarski zvezi Slovenije in podjetju AZ net d.o.o. Projekt sta sofinancirali Republika Slovenija in Evropska unija iz Evropskega socialnega sklada.



Univerza v Ljubljani



## Literatura

- [1] N. Sato, T. Takayama, and Y. Murata. On automatic flying distance measurement on ski jumper's motion monitoring system. In *Proc. 15th Int. Conf. on Network-Based Information Systems*, pages 603–609, 2012.
- [2] N. Sato, T. Takayama, and Y. Murata. Early evaluation of automatic flying distance measurement on ski jumper's motion monitoring system. In *Proc. 27th IEEE Int. Conf. on Advanced Information Networking and Applications*, pages 838–845, 2013.
- [3] J. Chardonnes, J. Favre, B. Le Callennec, F. Cuendet, G. Gremion, and K. Aminian. Automatic measurement of key ski jumping phases and temporal events with a wearable system. *Journal of Sports Sciences*, 30(1):53–61, 2012.
- [4] OpenCV. <http://opencv.org>. Dostopano: julij 2017.
- [5] Adamssoft d.o.o. Aplikacija "Spletni smuško". <http://smusko.adamssoft.si>. Dostopano: julij 2017.
- [6] Swiss timing. Video distance measurement. <http://www.swisstiming.com/download/documentation>. Dostopano: julij 2017.
- [7] Smučarska zveza Slovenije. <http://www.szs.si>. Dostopano: julij 2017.
- [8] FIS Ski Jumping. Distance video measuring. <https://www.youtube.com/watch?v=2Ev5KjO4Ne0>, 2013. Dostopano: julij 2017.
- [9] V. Guštin, A. Lapajne, R. Kodrič, and T. Žitko. Measurement of ski-jump distances by the use of fuzzy pattern comparator. In *Proc. CAIP*, pages 462–471, Ljubljana, 1999.
- [10] AZ net d.o.o. <http://www.az-net.si>. Dostopano: julij 2017.