

ANALIZA GIBANJA IGRALCEV MED TEKMAMI

Janez Perš¹, Matej Kristan¹, Matej Perše¹, Marta Bon², Goran Vučkovič², Stanislav Kovačič¹

¹Laboratorij za slikovne tehnologije
Fakulteta za elektrotehniko, Univerza v Ljubljani

²Fakulteta za šport
E-pošta: janez.pers@fe.uni-lj.si
URL: <http://vision.fe.uni-lj.si>

POVZETEK: Članek opisuje delo na razvoju sistemov za analizo gibanja športnikov, ki poteka v Laboratoriju za slikovne tehnologije v sodelovanju s Fakulteto za šport že sedmo leto, zadnji dve leti pa je podprto tudi s sredstvi iz gospodarstva. Opisane so komponente sistema ter razvita in uporabljena tehnologija. Predstavljenih je tudi nekaj pomembnejših izkušenj in rezultatov, ki so posledica uporabe tega sistema v praksi.

1. UVOD

Analiza človeškega gibanja je eno od podpodročij uporabe računalniškega vida, kjer raziskovalce čaka še veliko izzivov. Analiza gibanja ljudi je težavna že zaradi samega objekta opazovanja – človeško telo je členjen in kompleksen objekt, zato je tudi njegovo gibanje kompleksno. Ljudi pri gibanju vodijo različni cilji in motivacije, zato se za razliko od marsikaterega področja uporabe računalniškega vida pri analizi človeškega gibanja ne moremo opreti na stroge fizikalne omejitve, s katerimi bi si problem poenostavili in omejili.

Ena od zanimivih aplikacij analize človeškega gibanja na realne probleme je analiza gibanja igralcev v športu. V športnem okolju lahko namreč računamo na naslednje poenostavitve in omejitve sicer zelo kompleksnega problema:

- Opazovani prostor je vnaprej določen in omejen z robom igrišča.
- Število opazovanih ljudi (igralcev) je določeno in ponavadi vnaprej znano.
- Cilji igralcev in skupin igralcev (ekip) so relativno preprosti in vnaprej določeni z jasno znanimi in nedvoumnimi pravili športne igre.

Zaradi tega je z metodami računalniškega vida podprta analiza gibanja igralcev eno od sorazmerno redkih področij uporabe, kjer lahko tovrstne tehnologije uporabimo v praksi in jih v obliki ustrezne namenske programske upreme ponudimo tudi končnim uporabnikom. V tem članku je opisan sistem za analizo gibanja igralcev med tekmami, ki je bil razvit v Laboratoriju za slikovne tehnologije Fakultete za elektrotehniko Univerze

v Ljubljani, za svoje raziskave in merjenja pa so ga uporabljali sodelavci iz Fakultete za šport.

V nadaljevanju članka bo najprej opisana zasnova sistema in njegove komponente. Sledil bo opis zajemanja slike, za katerega se je med razvojem izkazalo, da pomembno vpliva na kvaliteto posnetkov in obseg dela, ki ga mora pri analizi opraviti uporabnik. Zatem bo na kratko predstavljen koncept kalibracije sistema in trenutno implementirane metode sledenja igralcev. Na koncu bo sledil opis metod za razpoznavanje in ocenjevanje ekipnih aktivnosti v igri košarke.

2. ZASNOVA IN ZGRADBA SISTEMA

Sistem za analizo gibanja igralcev med tekmami je bil v sodelovanju s strokovnjaki iz športa zasnovan tako, da bi zadostil naslednjim zahtevam:

- Naknadna (off-line) analiza tekem, posnetih na komercialno dostopne nosilce (VHS, S-VHS, v zadnjem času DVD±R/RW).
- Kalibracija na podlagi že obstoječih oznak na igrišču.
- Sledenje pod nadzorom operaterja, ki je odgovoren za popravljanje morebitnih napak.
- Izvoz podatkov v splošnonamenske aplikacije za nadaljnjo obdelavo podatkov (npr. Microsoft Excel in Microsoft Access), kjer se izvedejo kompleksnejše obdelave podatkov.
- Prototip posebne aplikacije, ki bi omogočala iskanje različnih aktivnosti igralcev in ekip na podlagi podatkov o njihovem gibanju.

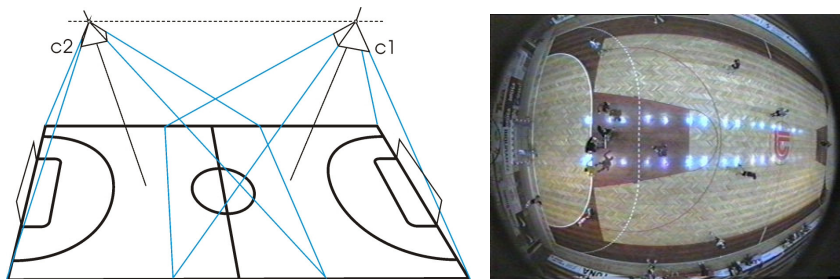
Ker je takšen sistem v bistvu merilni sistem, je bilo treba med razvojem preizkusiti in ovrednotiti tudi merilno napako sistema.

2.1 Zajem videoposnetkov

Izdelava protokola za zajem posnetkov je pomemben del razvoja sistema za analizo gibanja, ki mu raziskovalci ponavadi posvečajo premalo pozornosti. Ker so rezultat slabo zajetih posnetkov nepredvideni problemi, lahko ti sicer raziskovalcem predstavljajo zanimiv izziv, vendar se jim je bolje izogniti, če to lahko storimo z zanemarljivimi stroški in nekaj vnaprejšnjega načrtovanja. Primer takšnega problema je premikanje kamere [1], ki v samo obdelavo vnaša popolnoma nepotrebne probleme, programska rešitev pa po vložnem delu bistveno prekaša delo, ki ga imamo s statično postavitvijo kamer.

Ob upoštevanju zahtev, ki jih mora izpolnjevati naš sistem, smo se odločili za naslednji način zajemanja posnetkov:

- Dve kameri za večja igrišča (košarka, roket, tenis) od katerih vsaka pokriva nekaj več kot polovico igrišča. Osrednji del igrišča morata pokrivati obe kameri, da je možno sledenje igralcev čez sredino brez intervencije operaterja.
- Kameri sta postavljeni na strop dvorane, z optičnima osema *približno* pravokotno na ravnino igrišča in se ne premikata med snemanjem. Postavitve kamer in tako nastala slika sta prikazana na sliki 1.
- Tekma se posname na S-VHS ali DVD medije, pri čemer da direktno snemanje na DVD bistveno boljše rezultate – manj šuma in boljša ločljivost igralcev od ozadja.



Slika 1: Levo: postavitve kamer (c1 in c2) na primeru roketnega in košarkarskega igrišča. Desno: primer slike, kot jo zajame ena od kamer na roketni tekmi

2.2 Kalibracija sistema

Kalibracija je postopek, s katerim izračunamo enolično preslikavo med koordinatnim sistemom slike in koordinatnim sistemom igrišča. Ob predpostavki, da se kamera med zajemanjem posnetka ni premikala in da se niso spreminjali tudi njeni notranji parametri (npr. goriščna razdalja objektiva) je dovolj, da kalibracijo izvedemo enkrat za vsak posnetek. Postopek je naslednji: program – *kalibracijski modul* sistema – uporabniku prikaže skico igrišča za izbrano športno igro ter od njega zahteva, da označi najprej eno od štirih mejnih črt igrišča (leva, desna, zgornja, spodnja), potem pa z 5-10 točkami označi potek te črte na sliki, pridobljeni iz videoposnetka. Postopek mora uporabnik ponoviti za vsako od mejnih črt.

Model kamere, ki se je izkazal za najbolj ustreznega za našo postavitev kamer je kombinacija perspektivnega transformacijskega modela in radialnega popačenja kamere, ki ga modeliramo z modelom FOV [2]. Algoritem postopek kalibracije odpravi v dveh korakih: parameter radialnega popačenja pridobi s pomočjo optimizacije in predpostavke, da morajo biti mejne črte igrišča ravne, potem pa še izračuna parametre perspektivne transformacije, ki sestavljajo drugi del transformacijske enačbe.

2.3 Sledenje igralcev

Sledenje igralcev je osrednji del funkcionalnosti sistema za analizo gibanja igralcev in je realiziran v ločeni programski komponenti, *modulu za sledenje*. Modul za sledenje igralcev deluje na naslednji način:

- Na začetku sledenja operater z miško označi vse igralce. V tej fazi si sledilni algoritem zapomni njihove pozicije na sliki, pri nekaterih metodah sledenja pa si zapomni tudi parametre izgleda igralcev.
- Operater zažene postopek sledenja. Sledilni algoritem iz nove slike in s pomočjo znanih pozicij iz prejšnje slike določi pozicije igralcev na novi, pravkar obdelovani sliki.
- V primeru da se sledilni algoritem zmoti, mora to opaziti operater in pozicijo igralca popraviti, še preden napaka naraste do te meje, da podatki ne bi bili več veljavni. V tem primeru mora sledenje ustaviti, posnetek premakniti za nekaj slik nazaj, popraviti pozicije problematičnih igralcev in znova pognati sledenje.

Ne glede na metodo sledenja se med sledenjem vedno izvaja preračunavanje pozicij igralcev med koordinatnim sistemom igrišča in koordinatnimi sistemi vseh videoposnetkov. Zadnji korak pri sledenju pa je vedno glajenje pridobljenih trajektorij z Gaussovimi jedrom, ki odstrani večino šuma, ki ga vnesejo sledilni algoritmi in omogoči da iz trajektorij izračunamo tudi izpeljane parametre gibanja, kot so hitrost, pospešek in pretečena razdalja.

2.3.1 Enostavna metoda sledenja-odštevanje slik

Pri športih, kjer je na igrišču malo igralcev (npr. squash, tenis) se dobro obnesejo tudi zelo enostavne metode sledenja. Takšna je metoda odštevanja vsake od trenutnih slik od slike ozadja. Slika ozadja je pridobljena vnaprej z mediano po časovni osi skozi zaporedje naključno izbranih slik iz celotnega posnetka. Pozicije igralcev na sliki so določene kot težišča področij, ki nastanejo po upragovljanju slike razlike.

2.3.2 Naprednejša metoda-barvni histogrami in algoritem CONDENSATION

Enostavna metoda računanja slike razlike ima veliko pomanjkljivosti, najpomembnejša pa je ta, da ne upošteva nobene dodatne informacije o izgledu igralcev. Zaradi tega jo pogosto zmedejo odsevi na igrišču, trki igralcev in podobne motnje. Zaradi tega je bila uporabljena metoda, ki igralce modelira kot področja znotraj elips s prilagodljivimi polosmi. Izgled igralca znotraj te elipse modelira s pomočjo RGB histograma, določanje pozicije in prenašanje znanja o igralcu iz slike v sliko pa opravi algoritem CONDENSATION. Takšen algoritem ves čas prilagaja svojo »podobo« izgleda igralca, in se v neugodnih razmerah (npr. igralec enake barve kot ozadje) hitro prilagodi na tisti del slike, ki se bi mu moral izogniti. Zaradi tega je v praktični implementaciji povezan z algoritmom odštevanja slik, ki »omeji« njegov doseg takrat, ko se v bližini pojavi ozadje

podobne barve, kot je trenutno naučena barva igralca. Algoritem je podrobneje opisan v [3]

2.3.3 Modeliranje obnašanja igralcev pri trkih

Kljub naprednemu modeliranju izgleda igralcev in upoštevanju zgodovine, ki jo vnese uporaba algoritma CONDENSATION se pogosto zgodi, da se ob sledenju večih igralcev poziciji dveh igralcev iste ekipe »ujameta« na enem od igralcev. Razlog tiči v tem, da imajo igralci iste ekipe ponavadi drese enake barve in so ti igralci za algoritme na podlagi računalniškega vida praktično enaki. Tega problema načeloma ne moremo rešiti z dodatno obdelavo trenutne slike, saj iz nje ne moremo dobiti nobene dodatne informacije. Lahko pa se zanesemo na znanje o gibanju igralcev in poskusimo modelirati njihovo dinamiko. Na podlagi tega lahko zaključimo naslednje:

- Igralci ne morejo hipoma spreminjati smeri in hitrosti gibanja, imajo torej neke vrste *vztrajnost*.
- Igralci se bodo pri gibanju izogibali drug drugega, kar še posebej velja za igralce iste ekipe.

Na podlagi teh predpostavk smo zasnovali sistem, ki modelira obnašanje večih igralcev med sledenjem. *Vztrajnost* igralcev v našo rešitev vnese Kalmanov filter, izogibanje pa model trkov, ki preprečuje da bi se poziciji dveh igralcev kadarkoli znašli na enakem mestu. Omenjeni algoritem je podrobneje opisan v [4].

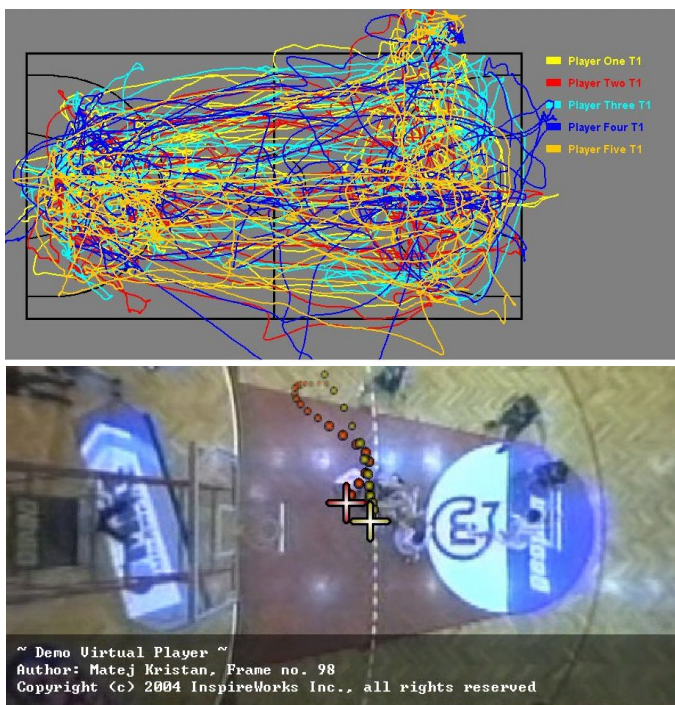
2.4 Prikazi rezultatov in njihova nadaljnja analiza

Sistem premore dva modula za prikaz rezultatov. Prvi je enostavni grafični vmesnik, ki prikaže trajektorije igralcev ali iz njih izpeljane podatke – hitrost, pospešek, zasedenost igrišča, trajektorije igralcev ter barvno kodirane trajektorije glede na hitrost posameznega igralca.

Drugi modul je namenjen izvozu obdelanih videoposnetkov, ki so obdelani tako, da dajejo vtis premične kamere, ki sledi izbrani akciji (izbranim igralcem), na zaslon pa omogoča izpisovanje poljubnih dodatnih informacij o dogajanju. Grafične prikaze, ki jih generirata modula za prikaz rezultatov prikazuje slika 2.

Pomemben rezultat sledenja pa so tudi drugi parametri, ki jih je treba izračunati iz trajektorij, ki so rezultat sledenja. Športni strokovnjaki uporabljajo te parametre pri analizi uspešnosti posameznega športnika (angl. *performance analysis*). Ti parametri so pretečene razdalje v posameznih odsekih tekme, dosežene hitrosti in podobno, ki jih kombinirajo s svojimi opazovanji aktivnosti na tekmi. Problem, ki nastane pri tovrstnih analizah je, da je praktično nemogoče narediti univerzalen sistem, ki bi omogočal poljubne analize in bil fleksibilen do te mere, kot si to želijo športni strokovnjaki. Zato smo zasnovali način, kako tovrstne analize narediti s pomočjo poizvedbenega jezika SQL v bazah podatkov kot je npr. Microsoft Access. Na ta način mora naš sistem omogočati le enostaven prenos podatkov v tovrstno bazo (npr. preko tekstovnih datotek), zapletene

analize nad temi podatki pa uporabnik-strokovnjak definira v jeziku SQL. Primeri nekaj takšnih analiz so prikazani v [5].



Slika 2: Zgoraj: Izris trajektorij za prvih 10 minut košarkarske tekme. Spodaj: ena slika iz obdelanega posnetka, kjer »virtualna kamera« sledi nekaj igralcem.

2.5 Detekcija in vrednotenje izvedbe košarkarskih aktivnosti

Velik problem, ki se nakazuje pri analizi športnih posnetkov je njihovo indeksiranje in avtomatska obdelava na višjem nivoju. Namreč, s samim sledenjem uspešno pridobimo podatke o gibanju igralcev med tekmo, ne vemo pa, kaj so v določenem trenutku tekme počeli. Zato je še vedno potreben operater, ki na podlagi svojega strokovnega znanja razpozna situacijo na tekmi in ugotovi, katero od aktivnosti je izvajala katera ekipa. Tovrstne oznake so uporabne tako pri analizi uspešnosti kot pri hitrem iskanju določenih aktivnosti v bazi posnetkov. Na primer, kot odgovor na poizvedbo »*Računalnik, najdi vse napade tipa Flex v tej košarkarski tekmi in jih zaporedoma prikaži!*«. Oziroma še bolje – »*Računalnik, najdi mi vse akcije, ki sem jih pravkar narisal!*«.

Lotili smo se razvoja algoritmov in programskega modula, ki bi bil sposoben točno te funkcionalnosti, za začetek na primeru košarke. Postopek kot vhodne podatke uporabi trajektorije igralcev, ki jih v prvi fazi obdela s takoimenovanimi *detektorji* – namenskim

algoritmi, ki zaznajo določene osnovne elemente košarkarske igre. Tako na primer detektor blokad na izhodu vrne visok nivo, če se dva igralca gibljeta na določeni razdalji z določenima hitrostima (pri blokadi namreč eden od igralcev stoji, drugi pa se giblje), vse seveda znotraj določenih toleranc. Namenski detektorji so uporabljeni še za zaznavanje začetne postavitve za določen napad in za zaznavanje *potez* posameznih igralcev (npr. vtekanje v določeno področje). Na ta način algoritem prevede trajektorije igralcev v zaporedje *osnovnih elementov košarkarske igre*. Za izdelavo primerjalnih vzorcev algoritem uporabi definicije akcij, ki jih strokovnjak vnese v bazo akcij (angl. *playbook*) s pomočjo intuitivnega grafičnega vmesnika, te predefinirane akcije pa ravno tako razbije v zaporedja osnovnih elementov igre. V zaporedju, pridobljenem iz trajektorij mora program potem le še poiskati znane vzorce iz baze, kar lahko naredimo z različnimi postopki dinamičnega programiranja, kazni ki jih pri tem algoritem »pridela« pa nam kažejo na to kako kvalitetna (ali boljše, skladna z načrtom iz baze) je bila vsaka od opazovanih akcij.

3. ZAKLJUČEK

Predstavljen je bil sistem za analizo gibanja igralcev v športnih igrah, ki temelji na metodah računalniškega vida. Po eni strani je to ena od aplikacij analize gibanja ljudi, ki je že sedaj dovolj zrela za komercialno uporabo, po drugi strani pa zaradi svojih omejitev predstavlja idealno testno okolje za razvoj novih algoritmov za analizo gibanja ljudi, tudi za okolja ki niso tesno povezana s športom, vendar ne ponujajo tako dobrih možnosti za eksperimentiranje in razvoj algoritmov.

LITERATURA

1. S. S. Intille, A. F. Bobick (1995), Visual tracking using closed-worlds, *Proceedings of ICCV 95*, MIT, Cambridge, MA, str. 672-678.
2. F. Devernay, O. Faugeras (2001), Straight lines have to be straight, *Machine Vision and Applications*, vol. 13, str. 14-24.
3. M. Kristan, J. Perš, M. Perše, M. Bon, S. Kovačič (2005), Multiple interacting targets tracking with application to team sports. *4th International Symposium on Image and Signal Processing and Analysis ISPA*, Zagreb, str. 322-327.
4. M. Perše, J. Perš, M. Kristan, G. Vučkovič, S. Kovačič (2005), Physics-Based Modelling of Human Motion using Kalman Filter and Collision Avoidance Algorithm. *4th International Symposium on Image and Signal Processing and Analysis ISPA*, Zagreb, str. 328-333.
5. J. Perš, G. Vučkovič, S. Kovačič (2005), Analysis and pattern detection on large amounts of annotated sport motion data. *4th International Symposium on Image and Signal Processing and Analysis ISPA*, Zagreb, str. 339-344.