

# Avtomatsko zaznavanje osnovnih elementov košarkarske igre na podlagi trajektorij igralcev

Matej Perše, Matej Kristan, Janez Perš, Stanislav Kovačič,  
Fakulteta za elektrotehniko, Univerza v Ljubljani  
Tržaška 25, 1001 Ljubljana, Slovenia  
{matej.perse},{matej.kristan},{janez.pers,stanislav.kovacic}@fe.uni-lj.si

## Trajectory Based Detection of Basic Low-Level Elements of Basketball Play

This paper deals with the problem of automatic temporal segmentation of events in basketball matches. To obtain high-level description of team activity during the game, a detection of basic elements of basketball play is needed. In this paper we present some basic concepts of basketball analysis with a special focus on detection of formations and screens from player trajectory data. This information is planned to be used to construct high-level descriptions. Preliminary results show that it is possible to obtain high degree of detection sensitivity, which is needed for subsequent high level team activity and behavior analysis.

## 1 Uvod

Vse večje zanimanje športnih strokovnjakov za nove tehnološke rešitve in pripomočke za analizo športnih aktivnosti ter velik razmah v video in računalniški tehnologiji sta pripeljala do stanja, ko je že mogoče razmišljati o sistemih za avtomatsko analizo športnih aktivnosti. Tako lahko prvič govorimo o možnostih opazovanja in analizi, ne le posameznih igralcev na krajših časovnih izsekih tekem, temveč o celovitejšem in obširnejšem proučevanju obnašanja in strategiji igre celotne ekipe skozi vso tekmo pa tudi preko cele sezone.

V preteklosti so že bila razvita in uspešno uporabljena različna orodja [1] za časovno označevanje posnetkov (ang. video summarization), ki so bili omejena na prepoznavanje vizualnega konteksta slike. Njihov glavni cilj je bil razčlenjevanje video posnetkov na aktivne in pasivne faze igre ter ločevanje posnetkov na prizore z igro in ostale prizore, kot so na primer reklame ali prikazi gledalcev. V zadnjih nekaj letih, z razvojem najrazličnejših algoritmov sledenja igralcev, pa so se začele pojavljati tudi naprednejše aplikacije, s katerimi je možno razpoznavanje aktivnosti igralcev na podlagi njihovih trajektorij. Čeprav pomenijo

takšne aplikacije velik napredek in miselni preskok pri analizi športne igre, saj predstavljajo prvo pravo nepristransko pomoč trenerju pri analizi, pa je njihova velika pomanjkljivost, da so omejene na razpoznavanje le zelo preprostih dogodkov na nivoju posameznega igralca, kot so na primer gibanje proti oziroma stran od gola pri nogometu [2] ali pa vstopanje v posamezne igralne cone, detekcija podaj in analiza optimalnih položajev za strel igralca na gol pri hokeju [3].

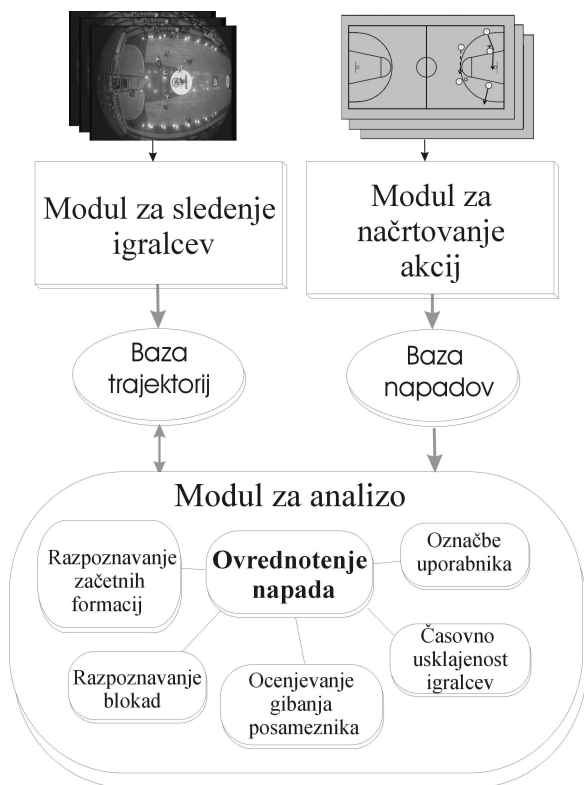
Glavni problem takšnih aplikacij je, da pridobljeni podatki o gibanju igralcev temeljijo na sledenju igralcev na navadnih televizijskih posnetkih tekem. S tem se pojavijo težave z pomanjkanjem poznavanja trajektorije igralca skozi celotno tekmo, saj običajno kamere prikažejo le najzanimivejše dogajanje na igrišču, ki je običajno omejeno na igralca z žogo in morda še kakšnega soigralca. Druga velika težava pri analizi dogajanja na igrišču pa je natančnost podatkov, ki jih analiziramo. Tako se lahko zgodi, da zaradi neprimerne kota pod katerim je dogodek posnet, pri sledenju pride do velikih napak pri določanju pozicij igralcev in so te pozneje praktično neuporabne za kakšno resnejšo analizo.

V nadaljevanju je predstavljena idejna zasnova sistema, ki bo, zaradi načina pridobivanja podatkov [4], temeljil na veliko natančnejših podatkih in katerega končni cilj je poleg detekcije elementov košarkarske igre tudi možnost objektivnega ocenjevanja izvedbe teh elementov [5].

## 2 Konceptualna zasnova sistema za analizo

Sistem za analizo košarkarske igre je sestavljen iz treh komponent (Slika 1).

Prva komponenta obsega modul za sledenje igralcev s katerim je možno, na podlagi sledenja igralcev na video posnetkih posnetih s statičnimi kamerami pritujenimi pod strop dvorane [4], pridobiti zelo natančno informacijo o gibanju vseh igralcev skozi celotno tekmo. Druga komponenta obsega modul za načrtovanje napadalnih akcij, ki uporab-



Slika 1: Zasnova sistema za analizo.

niku omogoča, da na podlagi osnovnih gradnikov košarkarske igre (npr. podaj, blokad, pretekanj, odkrivanj) poda sistemu svoje taktične zamisli. Poleg prostorskih in časovnih lastnosti akcije omogoča ta modul tudi vnos nekoliko bolj subjektivnega trenerjevega znanja, kot je pomembnost posameznih elementov napada ter področij na katerem se lahko posamezni dogodki zgodijo. Podatki iz teh dveh modulov se shranjujejo v ločenih bazah in so pozneje kadarkoli na voljo uporabniku. Zadnji sklop predstavlja modul za analizo, katerega namen je uporabniku na čim bolj avtonomen način posredovati časovni opis tekme. Poleg klasične predhodno opisane časovne razčlenitve tekme na najrazličnejše dogodke, je glavni namen modula za analizo podajanje objektivne ocene o izvedbi posameznih elementov igre. Tako bo z modulom za analizo možno dobiti informacijo o kakovosti izvedbe napada, prav tako pa bo uporabnik sistema dobil informacijo o časovni usklajenosti in posamičnih lastnostih igralcev, ki so napad odigrali.

Modul za analizo sestavlja več podsklopov, z različnimi funkcionalnostmi. Poleg sklopa, ki bo uporabniku omogočal ročno vnašanje opaženih dogodkov, sestavljajo modul za analizo še sklop za ocenjevanje prostorske in časovne usklajenosti igralcev, s katerima bo mogoče pridobiti oceno o kakovosti igre posameznih igralcev, ter sklopa za razpoznavanje začetnih formacij igralcev in razpoz-

navanje blokad. Slednja dva sta še zlasti pomembna, saj sta namenjena časovnemu detektiranju začetka posameznih akcij in mora biti zato njun nivo občutljivosti zelo visok.

### 3 Razpoznavanje osnovnih elementov košarkarske igre

Glavni cilj košarkarske igre v fazi napada je uspešno odigrati dogovorjeno akcijo in s tem lažje doseganje košev. Glede na trajektorije gibanja igralcev bi lahko dogajanje v napadalnem delu igre opisali z osnovnimi elementi kot so blokade, gibanje z žogo, gibanje brez žoge, podaja in odkrivanje.

Na podlagi številnih eksperimentov in ekspertnega trenerskega znanja [6] je bilo ugotovljeno, da je najenostavnejši in najučinkovitejši način za razpoznavanje posameznih kompleksnejših elementov košarkarske igre razgradnja le teh na osnovne, zgoraj opisane elemente. Tako je začetek posameznega napada najpreprosteje razpoznati iz začetne postavitve igralcev. Predpostavlja pa se tudi, da bo mogoče s kombinacijo začetne formacije napada in dobro detekcijo predvidenih blokad opazovanega napadu bistveno izboljšamo robustnost napovedovanja začetka napada.

#### 3.1 Razpoznavanje blokad

Po definiciji [5] mora za dobro izvedbo blokade igralec, ki postavlja blokado, stati negibno na mestu blokade, med tem ko mora igralec, ki izkorišča blokado priti čim bliže igralcu, ki je blokado postavil in se na ta način otresti svojega branilca. Tako lahko s stališča igralčevih trajektorij verjetnost za blokado definiramo kot funkcijo hitrosti in oddaljenosti med igralcema:

$$p_{scr} = e^{-\frac{d^2}{2\sigma_d}} \cdot e^{-\frac{v_{min}^2}{2\sigma_v^2}}, \quad (1)$$

kjer spremenljiva  $d$  predstavlja najmanjšo razdaljo med opazovanima igralcema in  $v$  minimalno hitrost igralca, ki postavlja blokado. Spremenljivki  $\sigma_d$  in  $\sigma_v$  pa predstavlja varianci razdalje in hitrosti. Varianci zajemata predvsem negotovost pri sledenju igralcev [7] in sta v našem primeru bili določeni kot  $\sigma_v = 1.5$  m in  $\sigma_d = 0.5$  m/s. Zaradi napak pri sledenju sta bili vpeljeni tudi dve nelinearni omejitvi, s katerima zagotovimo, da v primeru, ko sta oddaljenost oziroma hitrost dovolj majhni (manjši od 0.5 m oziroma 0.3 m/s) ne vplivata na skupno oceno blokade in sta v tem primeru njuni vrednosti postavljeni na nič.

#### 3.2 Razpoznavanje začetnih formacij

Dobra detekcija začetne formacije je ključnega pomena za pravilno nadaljnjo ovrednotenje napada,

saj lahko pride zaradi prezgodnjega ali prepoznega začetka ocenjevanja akcije do velikih napak pri njenem poznejšem ovrendotanju. V najslabšem primeru pa se lahko celo zgodi, da določena akcija sploh ni opažena. Zato je potrebno narediti kompromis med številom lažnih detekcij in verjetnostjo, da bo akcija spregledana. Med najrazličnejšimi pristopi za detektiranje začetne formacije igralcev so se na koncu za najboljše izkazali trije, ki bodo opisani v nadaljevanju. Vsi trije temeljijo na računanju Evklidske razdalje med za formacijo idealnim in trenutnim položajem posameznega igralca na igrišču (2) ter njegovo oddaljenostjo od koša (3).

$$d = \sqrt{(x - x_{ref})^2 + (y - y_{ref})^2}, \quad (2)$$

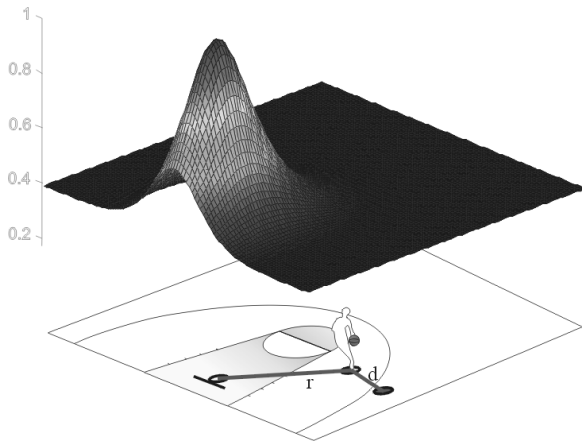
$$r = \sqrt{(x - x_{basket})^2 + (y - y_{basket})^2}. \quad (3)$$

### 3.2.1 Pristop uteženih razdalj

Kriterijska funkcija tega pristopa izvira iz predpostavke, da so razdalje med trenutnimi in idealnimi pozicijami igralcev različno pomembne glede na položaj igralca na igrišču. Tako se igralec, ki je bližje košu lažje postavi na za njega predpisan položaj, ker je tu več referenčnih točk (npr. raketa in črta prostih metov, itd.) po katerih se igralec lahko orientira, med tem ko je takšnih točk bližje sredini igrišča manj (slika 2). Funkcijo oddaljenosti formacije zapišemo kot

$$D_{form} = \sum_{i=1}^n \frac{d_i^2}{(1 - e^{-\frac{r_i^2}{2 \cdot \sigma_r}}) \cdot I_n + 1}, \quad (4)$$

kjer spremenljivka  $n$  predstavlja število igralcev, parameter  $I_n$  pa predstavlja pomembnost določene pozicije v formaciji za izvedbo akcije in jo lahko uporabnik sistema določi v fazi načrtovanja akcije.



Slika 2: Utežnostna funkcija in prikaz posameznih razdalj.

Ta pristop se je izkazal kot zelo učinkovit, saj ima na ta način pridobljena kriterijska funkcija veliko diskriminatnost, istočasno pa je neobčutljiva na večje razlike v oddaljenostih za črto za met za tri točke (6.25 m).

### 3.2.2 Pristop uteženih Gaussovih porazdelitev

Podobno kot v prejšnjem primeru je tudi pri tem pristopu razpoznavanja začetnih formacij uporabljena gaussova utežnostna funkcija igrišča (5), ki služi v tem primeru kot normirana utež lokalne funkcije oddaljenosti med idealno in dejansko pozicijo igralca (6) in je ponovno odvisna od oddaljenosti igralca od koša.

$$f_i(r) = e^{-\frac{r_i^2}{2 \cdot \sigma_r^2}}. \quad (5)$$

$$g_i(d) = e^{-\frac{d_i^2}{2 \cdot \sigma_d^2}}. \quad (6)$$

Verjetnost za nastop formacije je tako definirana kot:

$$P_{form} = \frac{\sum_{i=1}^n f_i(r) \cdot g_i(d)}{\sum_{i=1}^n f_i(r)}. \quad (7)$$

Da bi bila začetna postavitev akcije prepoznana, zahtevamo, da je verjetnost za formacijo višja kot 0.85.

### 3.2.3 Pristop minimuma razdalj štirih igralcev

Ta pristop je podoben pristopu uteženih Gaussovih porazdelitev, le da smo za izračun verjetnosti za posamezno formacijo upoštevali le  $n - 1$  igralcev z najmanjšimi lokalnimi oddaljenostmi  $d_i$ .

$$P_{form} = \frac{\sum_{i=1}^{n-1} f_i(r) \cdot g_i(d)}{\sum_{i=1}^n f_i(r)}. \quad (8)$$

Metoda je nastala kot posledica dejstva, da se med igro pogosto dogaja, da zaradi dobrega pokrivanja obrambnega igralca posamezen napadalni igralec ne more priti na svoje predpisano mesto, vendar pa njegovo nadaljnje delovanje z razvojem napada popolnoma ustreza trenerjevim željam in zamislim.

## 4 Rezultati

Vsi trije zgoraj predstavljeni pristopi so bili preizkušani na različnih vzorcih trajektorij iz testne

baze. Baza je sestavljena iz 54 izvedb treh predhodno določenih košarkarskih napadov, od katerih je bilo za testiranje izbranih 39 trajektorij. Ti napadi so sestavljali štiri velike testne posnetke. Baza z definicijami napadov je obsegala poleg treh pravih definicij še pet dodatnih definicij napadov, ki se v posnetkih niso pojavljali. Rezultati testiranja so predstavljeni v tabeli 1.

|            | metoda 1<br>[A/B/C] | metoda 2<br>[A/B/C] | metoda 3<br>[A/B/C] |
|------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| vzorec 1   | 12/0/8              | 12/0/7              | 12/1/13             |
| vzorec 2   | 6/0/2               | 6/0/2               | 6/0/1               |
| vzorec 3   | 12/0/6              | 12/0/5              | 12/0/8              |
| vzorec 4   | 9/0/6               | 9/0/3               | 7/2/6               |
| skupaj     | 39/0/22             | 39/0/17             | 37/2/28             |
| priklic    | 100 %               | 100 %               | 94,9 %              |
| natančnost | 63,9 %              | 69,6 %              | 55,2 %              |

Tabela 1: Rezultati razpoznavanja začetnih formacij 3 realnih napadov. Vzorec 1 in 2 zajemata napade odigrane brez obrambe, vzorec 3 in 4 pa napade z obrambnimi igralci.

Rezultati v tabeli (A/B/C) predstavljajo število pravilno detektiranih začetnih formacij (A), število spregledanih začetnih formacij napadov, ki so se zgodili (B) in število opaženih začetnih formacij napadov, ki se v resnici niso zgodili (C). Glavna informacija o kvaliteti detekcije posamezne metode predstavlja priklic [8]

$$\text{priklic} = \frac{A}{A+B} * 100\%, \quad (9)$$

na podlagi katerega lahko ugotovimo, da so pri prvih dveh metodah bile pravilno zaznane vse formacije. Čeprav je tudi pri tretji metodi odstotek uspešno detektiranih formacij visok, pa metoda ni najbolj uporabna, saj je zahtevana popolna detekcija vseh začetnih formacij. Na podlagi natančnosti posamezne metode, ki je definirana z razmerjem med vsemi pravilno detektiranimi formacijami in vsemi detektiranimi formacijami

$$\text{natančnost} = \frac{A}{A+C} * 100\%, \quad (10)$$

pa lahko ugotovimo, da se je nekoliko bolje obnesla druga metoda. Čeprav je natančnost obeh metod sicer precej nizka, pa je dovolj visoka, da se bo dalo ob upoštevanju blokad med igralci, z detekcijo katerih ni bilo težav, uspešno ločiti pravilne detekcije od napačnih. Na podlagi eksperimentov je bilo prav tako ugotovljeno, da je lahko nivo zaznavnosti detektiranih dogodkov v primeru, ko igralci odigrajo napade brez prisotnosti obrambe (vzorec 1 in 2) veliko višji kot v primeru, ko obrambni igralci ovirajo organizacijo napada.

## 5 Zaključek

V članku je predstavljen koncept avtomatske analize košarkarske igre s posebnim poudarkom na razpoznavanju osnovnih elementov košarkarske igre. Najprej je predstavljena zasnova sistema za analizo, v nadaljevanju pa so predstavljeni različni pristopi razpoznavanja začetnih postavitev igralcev pri napadalnih akcijah ter blokad med igralci. Ugotovljeno je bilo, da je zgolj na podlagi detekcije začetne formacije napada, možno določiti začetek napadalne akcije. Nadaljnji razvoj bo potrebno usmeriti v združevanju informacije o blokadah in začetnih formacijah, ter na ta način povečati robustnost in natančnost detekcije začetka predvidene napadalne akcije.

## Literatura

- [1] A. Ekin, M. Tekalp, and Mehrotha R. Automatic soccer video analysis and summarization. *IEEE Transactions on Image processing*, 12, July 2003.
- [2] J. Bloomfield, J. K. Jonsson, R. Polman, K Houllahan, and P. O'donoghue. Temporal pattern analysis and its applicability in soccer. *The Hidden Structure of Interaction: From Neurons to Culture Patterns*, Amsterdam, IOS Press, 2005.
- [3] L. Fahong and R. J. Woodham. Analysis of player actions in selected hockey game situations. *The 2nd Canadian Conference on Computer and Robot Vision (CRV'05)*, pages 152–159, 2005.
- [4] M. Kristan, J. Perš, M. Perše, and Kovačič S. Implementacija algoritma condensation v domeni zaprtega sveta. *Proceedings of the thirteenth Electrotechnical and Computer Science Conference ERK'04*, B:179–182, September 2004.
- [5] M. Jug, J. Perš, B. Dežman, and S. Kovačič. Trajectory based assessment of coordinated human activity. *In: Computer Vision Systems, Proceedings of Third International Conference ICVS 2003, Graz, Austria, (Lecture Notes in Computer Science, vol.2626)*, Springer, pages 534–543, April 2003.
- [6] M. Vancil. *NBA Basketball Offense Basics*. Sterling Publishing Co., Inc, first edition, 1996.
- [7] J. Perš, M. Bon, and S. Kovačič. Errors and mistakes in automated player tracking. *Proceedings of Sixth Computer Vision Winter Workshop, Bled, Slovenia*, pages 25–36, February 7-9 2001.
- [8] A. DEL BIMBO. *Visual information retrieval*. M. Kaufmann, cop., San Francisco, 1999.