

Odkrivanje vožnje v zavetrju na triatlonskih tekmovanjih: stvarnost ali iluzija

Iztok Fister ml., Iztok Fister, Janez Brest, Borko Bošković

Univerza v Mariboru
Fakulteta za elektrotehniko, računalništvo in informatiko
Inštitut za računalništvo
Smetanova 17, 2000 Maribor
E-pošta: iztok.fister@guest.arnes.si

Detecting of draft in triathlon competitions: reality or illusion

Satellite technology of object positioning on the Earth plays every day a greater role in a human life. In this article we set the question if this technology is matured enough that it can be employed for the real-time applications, such as, detecting of draft in triathlon competitions.

1 Uvod

Triatlon je relativno mladi šport, saj njegovi začetki segajo šele v leto 1978, ko se je skupina navdušenih atletov na Havajih odločila preizkusiti se v treh maratonskih preizkušnjah v različnih disciplinah, t.j. plavanju, kolesarjenju in teku, v enem dnevu. Tekmovanje, ki je dobilo ime Ironman, danes predstavlja enega izmed najtežjih vzdržljivostnih športov na svetu in dobiva iz dneva v dan vse več privržencev. Leta 2000 ga je Mednarodni olimpijski komite (angl. International Olympic Commite) uvrstil v družino olimpijskih športov.

Triatlon je vzdržljivostni šport, kjer tekmovalca na progi prvenstveno tekmuje sam s seboj. V želji po boljšem rezultatu pa se pogosto pozablja na pravila poštenege boja (angl. fair play) in namesto, da bi tekmovalca tekmoval sam, posredno izkorišča pomoč sotekmovalca, ki je pred njim. Posebej izrazita je ta nedovoljena pomoč pri kolesarstvu, kjer tekmovalca, ki vozi neposredno za sotekmovalcem, po eni strani hrani moči za kasnejše napore, po drugi strani pa s tem dosega večje hitrosti. Ta pojav je znan pod imenom vožnja v zavetrju (angl. drafting oz. sleapstreaming) in je kazniv. Sodnik na motorju lahko tekmovalca, ki to pravilo krši, izloči iz tekmovanja tudi do pet minut.

Posebej na evropskih triatlonskih tekmovanjih se je pojav vožnje v zavetrju zelo razširil in meče slabo luč na ta šport. Sodniki ga skušajo sicer omejevati s kaznovanjem tekmovalcev, ki vozijo v zavetrju, vendar zaradi povečanega števila tekmovalcev na teh prireditvah (tudi do 2.000 na triatlon), postaja to odkrivanje brez pomoči sodobne tehnologije nemogoče. Kljub primerni tehnologiji, ki bi lahko pomagala pri reševanju tega problema, pa konkretna rešitev, kolikor nam je znano, še ne obstaja.

V tem članku želimo predlagati sistem za odkrivanje vožnje v zavetrju s pomočjo sistema za globalno pozicioniranje (angl. Global Positional System, krajše GPS)

in brezžičnih modemov, ki pozicijo tekmovalca na kolesarski progi prek mobilnega omrežja posredujejo spletnemu strežniku. Ta s pomočjo pozicij preostalih tekmovalcev na progi preveri ali je tekmovalca v zavetrju ali ne in kršitve sporoča sodniku. V članku si postavimo vprašanje, ali je trenutna tehnologija GPS že dovolj zrela, da omogoča zanesljivo odkrivanje tega pojava. V ta namen primerjamo delovanje različnih naprav GPS, ki jih danes masovno uporabljamo v praksi.

Struktura članka je naslednja. V drugem poglavju natančneje predstavimo problem vožnje v zavetrju. V tretjem poglavju opisujemo predlagani sistem za odkrivanje vožnje v zavetrju. V četrtem poglavju preizkusimo tehnologijo GPS v praksi. V zaključku analiziramo dobljene rezultate in odgovarjamo na zgoraj postavljeno vprašanje.

2 Vožnja v zavetrju na triatlonskih tekmovanjih

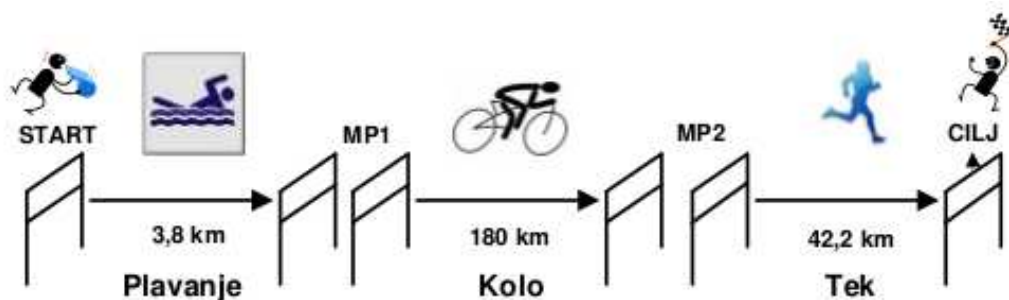
Poglavje je razdeljeno v dve podpoglavji: v prvem podrobneje predstavimo značilnosti triatlonskih tekmovanj, v drugem pa se osredotočamo na pojav vožnje v zavetrju in določila triatlonske zveze, s katerimi ga odkriva ter kaznuje. Čeprav danes obstaja veliko vrst triatlonov, se osredotočamo predvsem na triatlon Ironman, saj danes še vedno velja za enega izmed najprestižnejših. Predlagani sistem seveda lahko uporabimo tudi na ostalih vrstah triatlonov.

2.1 Ironman

Ironman, ki je znan tudi pod imenom dolgi triatlon, poteka pod okriljem Mednarodne triatlonske zveze (angl. World Triathlon Corporation, krajše WTC). Sestavljen je iz treh maratonov (slika 1) ali drugače:

- 3,8 kilometra plavanja,
- 180 kilometrov kolesarjenja in
- 42,2 kilometra teka.

Tekmovalci začnejo s plavanjem, nadaljujejo s kolesarjenjem in končajo s tekom. Vse discipline potekajo neprekinjeno, vendar se morajo med posameznimi disciplinami tekmovalci pripraviti na naslednjo disciplino. Ta priprava poteka v t.i. menjalnem prostoru (angl. transition area). Menjalna prostora sta dva: v prvem (MP1 na



Slika 1: Triatlon Ironman.

sliki 1) tekmovalci odloži plavalno obleko in se pripravi na kolesarjenje, v drugem (MP2 na sliki 1) pa odloži kolo in se pripravi na tek. Rezultat tekmovalca, ki ga izmerimo ob koncu teka, je sestavljen iz časov vseh treh disciplin in obih časov menjav.

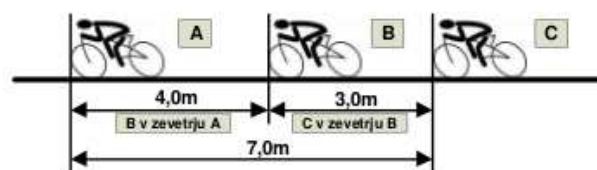
2.2 Vožnja v zavetrju

Vožnja v zavetrju je pojav, ko eden tekmovalci vozi za drugim in se tako izogiba uporabi vetra. Tekmovalci v zavetrju lahko povečajo povprečno hitrost kolesarjenja in hkrati varčujejo s porabo energije. Na triatlone Ironman v zavetrju običajno ne vozi en sam tekmovalci, ampak cela skupina, ki z menjavami čelne pozicije (čelni tekmovalci prepustijo vodstvo svežemu tekmovalcu za sabo, sam pa gre počivat v zavetrju) še dodatno pridobivajo na hitrosti.

Tako početje seveda nima prav nič skupnega s posamično vožnjo, saj v primeru skupinske vožnje rezultata posameznika ne moremo izmeriti pošteno. Na uradnih tekmovanjih Ironman zato mednarodna triatlonska zveza predpisuje naslednja pravila (slika 2):

- Vožnja v zavetrju sotekmovalca oz. drugega vozila ni dovoljena.
- Tekmovalci morajo držati razdaljo sedmih metrov (ali štirih dolžin kolesa), razen v primeru prehitvanja.
- Prehitvanje nastopi, ko prednje kolo tekmovalca, ki prehitva, prehitijo prednje kolo tekmovalca, ki ga prehitavamo.
- Tekmovalca prehitavamo po levi strani največ do 20 sekund, in se nato umaknemo na desni rob cestišča.
- Tekmovalci, ki ga prehitimo, se mora oddaljiti za sedem metrov, preden lahko začne napadati spredaj vozečega tekmovalca.

Iz slike 2 lahko razberemo, da tekmovalci B vozi v zavetrju tekmovalca A, če je njegova oddajenost do njega štiri metre več kot 20 sekund. Podobno velja za tekmovalca C, ki je oddaljen od tekmovalca B za tri metre. Tekmovalci C je od tekmovalca A oddaljen za sedem metrov in po predpisih organizacije WTC ne vozi v njegovem zavetrju, vendar je v zavetrju tekmovalca B. Iz tega sledi, da sta v zavetrju tako tekmovalci B kot



Slika 2: Vožnja v zavetrju na triatlonu Ironman.

tudi tekmovalci C. Pri odkrivanju vožnje v zavetrju torej velja, da je pomembno meriti razdaljo do tekmovalca, ki vozi neposredno pred njim.

3 Sistem za odkrivanje vožnje v zavetrju

Na triatlone Ironman so za odkrivanje vožnje v zavetrju zadolženi sodniki, ki spremljajo dogajanje na kolesarski progi z motorji. Pri tem skušajo biti tekmovalcem čim bolj neopazni. Tako čas vožnje v zavetrju kot tudi razdalje med tekmovalci ocenjujejo po občutku. Nadalje lahko istočasno obravnavajo le omejeno število kršitev, prav tako so nemočni pri kršitvah vožnje v zavetrju, ko gre za skupino kolesarjev. Rešitev omenjenih problemov lahko predstavlja naš sistem za odkrivanje vožnje v zavetrju (slika 3), ki je sestavljen iz:

- sistema za globalno pozicioniranje [4],
- brezžičnega modema [6],
- spletnega strežnika [2] in
- odjemalca [3].

GPS omogoča določanje trenutne pozicije tekmovalca na kolesarski progi. To pozicijo prenesemo na spletni strežnik s pomočjo brezžičnega modema priključenega na brezžično omrežje. Obe omenjeni napravi običajno delujeta skupaj kot ena (npr. v mobilnih telefonih, iPodih, iPhone-ih, ipd.). To napravo tekmovalci vozi s seboj na kolesu. Naloga spletnega strežnika je zbirati trenutne pozicije tekmovalcev in ugotoviti, ali kateri izmed njih krši pravila vožnje v zavetrju. Strežnik lahko izvedemo kot spletno storitev [2]. Kršitve vožnje v zavetrju lahko poslej spremlja sodnik na motorju prek mobilne naprave.

Ker predstavlja sistem za globalno pozicioniranje temelj sistema za odkrivanje vožnje v zavetrju, tega v nadaljevanju obravnavamo podrobneje.



Slika 3: Vožnja v zavetrju na triatlonu Ironman.

3.1 Sistem za globalno pozicioniranje

GPS je globalni navigacijski sistem, ki temelji na množici oddajnih satelitov. GPS uporablja te satelite kot referenčne točke za izračun pozicije objektov na zemlji.

GPS je sestavljen iz treh segmentov: vesoljskega, uporabniškega in nadzornega. Vesoljski segment sestoji iz 24 do 32 satelitov, ki krožijo v konstelaciji GPS [1] z rotacijo zemlje v orbiti na višini približno 20.200 kilometrov. Uporabniški segment sestoji iz sprejemnikov, ki jih lahko držimo v roki (npr. Polar, mobilni telefoni, ipd.) ali so pritrjeni na vozilo (npr. navigacijski sistem Garmin). Nadzorni sistem skrbi za to, da sateliti delujejo pravilno.

Naloga sprejemnika GPS je identificirati vsaj štiri satelite, določiti razdaljo do vsakega in uporabiti te informacije za izračun pozicije objekta na zemlji. Ta operacija sloni na matematičnem principu triangulacije [8]. Sprejemnik GPS določa tridimenzionalno pozicijo objekta v geografskih koordinatah in univerzalni čas (angl. Coordinated Universal Time, krajše UTC). Pozicija objekta je v geografskem koordinatnem sistemu predstavljena z geografsko širino (angl. latitude) in dolžino (angl. longitude). Poleg geografske širine in dolžine sprejemnik GPS dobiva tudi informacijo o nadmorski višini objekta (angl. altitude).

GPS omogoča dva nivoja storitev: standardnega (angl. Standard Positioning System, krajše SPS) in preciznega (angl. Precise Positioning System, krajše PPS). Prvi pozicionira objekte na zemlji z natančnostjo do 20 metrov [4] in je namenjen široki uporabi, medtem ko je drugi veliko preciznejši (do nekaj centimetrov natančno) in je namenjen predvsem vojaški uporabi. Natančnost naprav GPS v masovni uporabi je pri pozicioniranju objektov na zemlji dimenzionirana na identifikacijo štirih satelitov. V praksi je lahko število aktivnih satelitov večje in s tem je večja tudi natančnost pozicioniranja. Poleg tega nas pri odkrivanju vožnje v zavetrju ne zanima absolutna pozicija tekmovalca na zemlji, ampak njegova relativna oddaljenost do najbližjega sotekmovalca, kar bi lahko natančnost merjenja razdalje še povečalo.

3.2 Transformacija geografskih koordinat v UTM

GPS običajno uporablja geografski koordinatni sistem, kjer je pozicija predstavljena z dvema številoma:

- geografsko širino (latituda) in
- geografsko dolžino (longituda).

Latituda predstavlja kot iz središča zemlje do določenega poldnevnikar na njeni površini (smer vzhod-zahod). Longituda je kot iz središča zemlje do določenega vzporednika na njeni površini (smer sever-jug). Obe števili lahko zapišemo kot stopinje v obliki decimalnega števila ali v diskretni obliki: stopinje, minute in sekunde (DMS). Z ekvatorjem razdelimo zemljo na severno in južno poloblo, s centralnim poldnevnikom, ki poteka skozi Greenwich v Veliki Britaniji, pa na vzhodno in zahodno poloblo. Zalog vrednosti za latitudo je med 0° in 90° na severni polobli in med 0° in -90° na južni polobli. Longituda lahko zavzame vrednosti med 0° in 180° na vzhodni in med 0° in -180° na zahodni polobli.

Z geografskimi koordinatami je težko računati, zato jih je potrebno s pomočjo Merkatorjeve projekcije transformirati v običajni tridimenzionalni koordinatni sistem UTM (angl. Universal Transverse Mercator system). Koordinatni sistem UTM predstavlja Merkatorjevo projekcijo zemlje na ravnino in jo deli na 60 longitudinalnih ter 30 latitudnih zon. Vsaka pozicija je v tem koordinatnem sistemu predstavljena kot četvorka $(lon_cona\ lat_cona\ vzhod\ sever)$, kjer *lon_cona* in *lat_cona* predstavljata številko longitudinalne oz. latitudne cone, *vzhod* predstavlja projicirano razdaljo od centralnega poldnevnikar in *sever* projicirano razdaljo od ekvatorja. Obe vrednosti *vzhod* in *sever* sta definirani v metrih.

Čprav težišče transformacije geografskih koordinat v koordinatni sistem UTM predstavljajo osnovne trigonometrijske in algebrske funkcije pa so transformacijske formule zelo zahtevne [5]. Zato smo pri našem delu uporabili implementacijo transformacije avtorja Salkosua [7] v Javi.

4 Poskusi in rezultati

Cilj poskusov je bil pokazati, da lahko sodobne naprave GPS uporabimo za ugotavljanje vožnje v zavetrju na triatlonskih tekmovanjih. Izvedli smo tri poskuse:

- primerjava natančnosti različnih naprav GPS pri pozicioniranju referenčne točke na zemlji,
- primerjava referenčnih razdalj na zemlji z razdaljami, ki jih izmeri naprava GPS,
- simulacija vožnje v zavetrju.

V prvem poskusu smo izbrali referenčno točko na zemlji in izmerili njeno absolutno pozicijo s štirimi različnimi napravami GPS: mobilnima telefonoma Samsung Galaxy in HTC, napravo GPS, ki je na osebni računalnik povezana prek vmesnika USB ter športno uro Garmin. Rezultati omenjenega poskusa so prikazani v tabeli 1. Poudarimo, da smo podatke iz mobilnih telefonov in naprave USB vzorčili v intervalu 1 sekunde. V tabeli prikazujemo povprečja izmerjenih vrednosti v trajanju petih minut (oz. 300 meritev). Športna ura Garmin beleži samo spremembe pozicij športnika v gibanju, zato smo pri tej napravi zabeležili eno samo meritev.

Iz rezultatov lahko razberemo, da vsaka od naprav meri pozicijo drugače. Po nadmorski višini sodeč (merjeno na nadmorski višini 190 metrov) je najbolj točna

Tabela 1: Natančnost različnih naprav GPS.

Naprava	Longituda	St.odst.lon.	Latituda	St.odst.lat.	Nad.višina	St.odst.n.v.	Evk.r.
Galaxy	16.1487511296	1.30E-05	46.6159992529	6.99E-06	247.18	1.82	59.18
HTC	16.1487811983	3.10E-07	46.6160398901	2.53E-06	238.00	0.00	50.00
USB GPS	16.1487606067	2.24E-05	46.6160476200	1.97E-05	247.23	4.02	59.23
Garmin	16.1488530133	0.00E+00	46.6160676442	0.00E+00	188.00	0.00	0.00
Povprečje	16.1487864870	4.61E-05	46.6160386018	2.87E-05	230.10	28.40	42.10

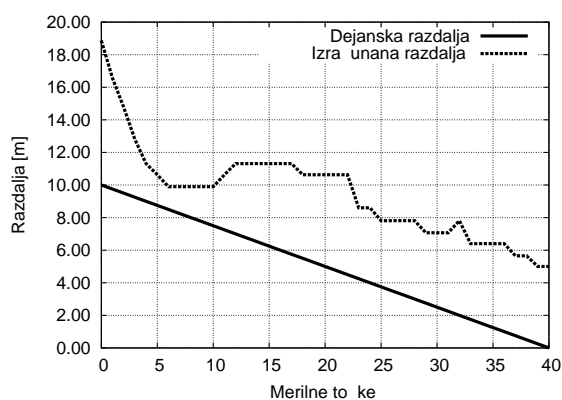
športna ura Garmin. Vse ostale naprave odstopajo od omenjene za več kot 50 metrov, če upoštevamo Evklidsko razdaljo.

V drugem poskusu smo izbrali 11 kolinearnih referenčnih točk (od 0 do 10), ki so bile med seboj oddaljene za en meter. Prvo točko (referenčna točka 0) smo poimenovali izhodiščna točka. Z napravo GPS (mobilna naprava HTC) smo izmerili absolutno pozicijo vsake referenčne točke in izračunali njeno Evklidsko razdaljo do izhodiščne točke. Pri tem smo napravo GPS inicializirali za vsako meritev posebej. Evklidsko razdaljo smo primerjali z dejansko in rezultate predstavili v tabeli 2, kjer oznake kolon pomenijo: *Dej.r.* dejansko razdaljo od izhodiščne točke, *Nad.v.*, *Vzhod* in *Sever* koordinate v koordinatnem sistemu UTM, *Evk.r.* Evklidsko razdaljo do izhodiščne točke in *Rel.n.* relativno napako.

Tabela 2: Merjenje razdalje z napravo HTC.

Dej.r.	Nad.v.	Vzhod	Sever	Evk.r.	Rel.n.
0.00	238.0	587962.0	5163137.4	0.00	0.00
1.00	238.0	587963.0	5163142.0	4.71	3.71
2.00	244.0	587949.8	5163115.8	24.81	11.40
3.00	234.8	587961.8	5163152.8	15.40	4.13
4.00	237.4	587959.4	5163158.2	20.96	4.24
5.00	240.2	587959.0	5163162.8	25.58	4.11
6.00	241.0	587954.0	5163130.2	10.76	0.79
7.00	240.0	587952.0	5163132.4	11.18	0.59
8.00	240.0	587954.0	5163131.0	10.24	0.28
9.00	240.0	587954.0	5163137.0	8.01	0.11
10.00	235.0	587951.4	5163136.6	10.63	0.06

Iz tabele 2 lahko razberemo, da je relativna napaka pri izračunavanju Evklidskih razdalj manjših od pet metrov zelo velika.



Slika 4: Primerjava izračunanih razdalj z dejanskimi.

V tretjem poskusu smo simulirali realno tekmovanje, zato smo izbrali 41 kolinearnih referenčnih točk (od 0 do 40) v oddaljenosti 0,25 metra (dejanska razdalja). V

končno točko (referenčna točka 40) smo postavili mobilno napravo HTC1, z drugo HTC2 pa smo se pomikali iz izhodiščne proti končni točki s hitrostjo 25 cm/sek. Tako smo zabeležili pozicijo vsake referenčne točke in za vsako izračunali Evklidsko razdaljo do pozicije končne točke. Na končni točki bi se Evklidska razdalja med pozicijama z obeh mobilnih naprav morala približati vrednosti nič (slika 4).

Kot lahko vidimo iz slike 4, Evklidska razdalja pozicij, detektiranih z obema mobilnima napravama HTC1 in HTC2, ne pade na nič, ampak na vrednost pet metrov. Iz tega lahko sklepamo, da lahko z mobilnimi napravami danes merimo relativne razdalje med dvema objektoma na zemlji do pet metrov natančno.

5 Zaključek

Rezultati poskusov kažejo, da današnja tehnologija GPS za masovno uporabo še ni dovolj natančna za aplikacije v realnem času pri pozicioniranju objektov na zemlji. Čeprav je predpisana zanesljivost satelitske tehnologije do 20 metrov natančno dovolj za večino aplikacij (Garmin, Polar, ipd.), pa to za odkrivanje vožnje v zavetju ni primerna. Ali to pomeni, da je naša ideja iluzorna? Verjetno ne, saj preciznejša tehnologija pozicioniranja PPS že danes dokazuje, da je mogoče objekte pozicionirati na veliko manj kot na 20 metrov natančno.

Literatura

- [1] D.C. Agnew, K.M. Larson: Finding the repeat times of the GPS constellation, 2007, GPS Solutions, Springer Verlag, Berlin, knj. 11, št. 1, str. 71–76
- [2] G. Alonso, F. Casati, H. Kuno, V. Machiraju: Web Services: Concepts, Architectures and Applications, 2010, Springer Verlag, Berlin
- [3] E. Brunette: Hello, Android: Introducing Google's Mobile Development Platform, 2010, Pragmatic Bookshelf
- [4] P. Misra, P. Enge: Global Positioning System: Signals, Measurements, and Performance, 2010, Ganga-Jamuna Press, Lincoln, Massachusetts, USA
- [5] TM8358.2: The Universal Grids: Universal Transverse Mercator (UTM) and Universal Polar Stereographic (UPS), 1989, Defense Mapping Agency, USA
- [6] R. Prasad, S. Dixit, R. van Nee, T. Ojanpera: Globalization of Mobile and Wireless Communications: Today and in 2020, 2010, Springer Verlag, Berlin
- [7] Coordinate conversions made easy, <http://www.ibm.com/developerworks/java/library/j-coordconvert>
- [8] B. Žalik: An efficient sweep-line Delaunay triangulation algorithm, Computer-Aided Design, 2005, knj. 37, št. 10, str. 1027–1038