

Senzorski sistem za ocenjevanje agilnosti

Matevž Hribernik, Erik Keš, Anton Umek, Anton Kos

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za elektrotehniko, Tržaška 25, Ljubljana, Slovenija
E-pošta: matevz.hribernik@fe.uni-lj.si

Sensor system for assesment of agility

***Abstract.** Measurement of athletes' physical abilities in different sport disciplines is one of the most important elements in training. The ability to change direction quickly called agility is just one of these abilities. Various agility tests are regularly included in sport test batteries for objective and wide-ranging athletes assessment. This paper presents a new approach to measuring agility using infrared optical gates and kinematic sensors. The combination of timing, position detection and motion recording enables the acquisition of previously inaccessible kinematic and temporal variables. The evaluation of the athletes' agility can be more objective and acquired with much greater certainty than it would be possible with traditional equipment and methods. The described sensor system can be used in various sport settings and tests, including the frequently used T-test presented in this paper.*

1 Uvod

Težnja po uporabi tehnologije v športu za izboljšanje športnikovih sposobnosti je prisotna skozi celotno zgodovino tekmovalnega športa. Nova znanstvena dognanja in tehnologije se usmerjajo v povečanje ciljnih športnikovih sposobnosti, te pa so večinoma vezane na posamezne športe. Nova dognanja in tehnologije pa niso vezane zgolj na profesionalne športnike in tekmovalni šport; enake ali podobne rešitve se uporabljajo pri rekreativnih športnih, spremljanju telesnega razvoja otrok in mladostnikov ter pri fizični rehabilitaciji. Uporaba različnih senzorjev in senzorskih sistemov profesionalnim športnikom omogoča pridobivanje tekmovalne prednosti. Športnikom, trenerjem in znanstvenikom s področja športa nove tehnologije ponujajo informacije, ki jih s tradicionalni orodji ni mogoče pridobiti ali pa jih lahko pridobimo z mnogo manjšo natančnostjo [1].

Tekmovalna uspešnost športnika je v veliki meri odvisna od učinkov dolgotrajnih treningov in telesne priprave, ki jih spremljamo z različnimi testi in meritvami. Agilnost je sposobnost hitrega spreminjanja smeri in je zgolj ena izmed pomembnih veščin, ki je pomembna v številnih skupinskih športih, kot sta košarka in nogomet, ali pri individualnih športih, kot so borilne veščine. Za oceno agilnosti uporabljajo različne teste, ki so usmerjeni na posamezne dele telesa in specifične komponente agilnosti. Mera učinkovitosti je običajno čas, ki je potreben za dokončanje zadane gibalne naloge. Čeprav je takšna informacija za ugotavljanje razlik med športniki dovolj, ne poda informacij o gibanju športnikov med testom.

Agilnost se navadno meri s pomočjo štoparice in izurjenega očesa trenerja ali pa s pomočjo modernih senzorskih sistemov za merjenje časa. Več raziskovalnih skupin je ugotovilo prednosti uporabe optičnih vrat v primerjavi s štoparico [2] oz. Global Navigation Satellite System (GNSS) [3]. Uporaba optičnih vrat za merjenje časa se šteje med najboljše načine merjenja agilnosti pri različnih skupinskih športnih in posamičnih [4], [5]. Senzorsko merjenje časa smo nadgradili z dodatnim merjenjem kinematike gibanja telesa ter tako razvili in izdelali vsestranski več senzorski sistem za merjenje agilnosti. Sistem je v osnovi zamišljen kot univerzalen, pri razvoju in preizkušanju pa smo kot šablonski primer uporabili T-test. Glavni elementi sistema so senzorji, senzorske naprave, sinhronizacijski in komunikacijski protokoli. Osnovne gradnike in programsko logiko je mogoče prilagoditi za uporabo pri različnih testih v športu. S predlaganim sistemom obravnavamo vprašanja natančnega merjenja časa v različnih fazah gibanja, sinhronizacijo številnih senzorskih naprav in prenos signalov in podatkov senzorjev. Poglobljena analiza uspešnosti športnika med testom je mogoča zgolj z združenimi in usklajenimi časovnimi, prostorskimi in kinematičnimi podatki; kar omogoča znatno izboljšanje kakovosti in uporabnosti informacij za trenerje in športnike.

Glavni prispevek našega članka je nov tehnološki pristop k merjenju agilnosti, ki združi kinematične, časovne in prostorske spremenljivke v časovno vrsto.

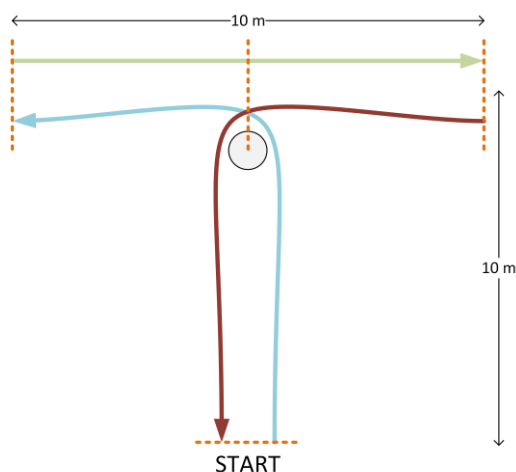
2 Ocenjevanje agilnosti

Agilnost je sposobnost hitrega in učinkovitega spreminjanja položaja telesa (ang. change of direction, COD). Povezana je s fizičnimi lastnostmi, kot sta moč in tehnika, ki jih je mogoče s treningom izboljšati, povezana pa je tudi s kognitivnimi komponentami, kot so tehnika in hitrost vizualnega skeniranja ter predvidevanje [6].

Agilnosti ni mogoče izmeriti z eno samo nalogo, ampak s kombinacijo zaporednih hitrih gibov. Agilnost se oceni z merjenjem časa potrebnega za dokončanje vrste vnaprej določenih nalog. Čeprav je naloga vnaprej določena, lahko vsak trener podaja različne ukaze in čas meri subjektivno. Zato je primerljivost meritev različnih trenerjev omejena.

Obstajajo različni standardni preskusi ocenjevanja agilnosti [7]. Preučili smo najpogosteje uporabljane teste: T-test, X-test, Illinois test in hiter tek na kratke proge. Vsak test je namenjen merjenju in poudarjanju določenih značilnosti športnikovega gibanja. Lahko rečemo, da vsak test ocenjuje različne vidike agilnosti.

Široka uporaba T-testa v različnih panogah je eden od razlogov za njegovo izbiro. T-test je v bistvu preprost, vendar dovolj zapleten za športnika. To nam omogoča načrtovanje in izdelavo gradnikov senzorskega sistema, ki bodo uporabni tudi pri drugih testih agilnosti. T-test, kot ga prikazuje slika 1, se izvede s tekom od začetne črte do sredinskega stožca. Po prečkanju osrednjega stožca, spremenimo smer gibanja in tečemo ali poskakujemo bočno v levo in nato v desno. Ko dosežemo desno stran, se vrnemo bočno do osrednjega stožca in nato vzvratno do začetne linije [8], [9].



Slika 1 Shema izvajanja T-testa. Puščice predstavljajo športnikovo gibanje, siv krog osrednji stožec, oranžne črtkane črte pa pozicijo optičnih vrat in talnih oznak.

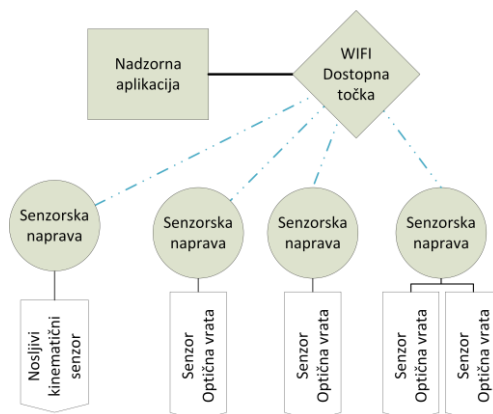
3 Senzorski sistem

3.1 Arhitektura

Arhitektura predlaganega merilnega sistema je prikazana na sliki 2. Vsebuje optična vrata za natančno merjenje časa športnika na določeni lokaciji in kinematični senzor gibanja za merjenje kinematičnih parametrov športnika. Za uspešno delovanje je potreben sinhronizacijski protokol, ki skrbi za časovno usklajenost notranjih ur vseh naprav. Potreben pa je tudi protokol za prenos podatkov preko brezžičnega omrežja in namenska kontrolna aplikacija.

3.2 Delovanje

Elementi sistema morajo biti povezani v isto lokalno omrežje. Brezžične senzorske naprave so lahko povezane na isto ali na različne dostopne točke. Optična vrata so fizično razporejena glede na potrebe testa. Nosljiva senzorska naprava s kinematičnim senzorjem je s pomočjo posebnega pasu pritrjena na ledveni del hrbta športnika, ki predstavlja približno pozicijo težišča človeka. Ko so vse komponente povezane v omrežje, operater sproži postopek sinhronizacije z uporabo nadzorne aplikacije na računalniku. Ko je sinhronizacija končana, se merjenje prične. Prejeti paketi se obdelujejo, zapisujejo v datoteko ter se uporabljajo za vizualizacijo.



Slika 2 Arhitektura senzorskega sistema. Naprave in senzori so povezani z aplikacijo s pomočjo brezžične dostopne točke. Športnik ima nosljivi kinematični senzor nameščen na hrbtu, optična vrata pa so postavljena glede na potrebe testa. Vsaka naprava, lahko vsebuje ena ali več optičnih vrat.

3.3 Optična vrata

Pri izvajanju testov agilnosti nas zanimajo ekstremne točke gibanja, tam postavimo optična infrardeča vrata. Pri T-testu so to položaji: začetek, središče, levi in desni obrat. To nam omogoča, da določimo lokacijo, smer pristopa in potreben čas za izvedbo celotnega testa ali njegovih odsekov.

Ugotovili smo, da je za našo meritev najbolj primerna rešitev z uporabo oddajno-sprejemnega IR senzorja z odsevnikom, ki je sestavljen iz trirobnikov in deluje na potrebni razdalji 2 m. Izbrano integrirano vezje *IS471F* in primerna infrardeča LED (svetleča dioda) ustrežata našim potrebam. Komponente na vezju smo postavili tako, da sta LED in foto-senzor skupaj. Sprejemnik smo zaščitili pred neposrednim signalom iz oddajnika, ki predstavlja motnjo. Ker je oddajni signal moduliran, drugi IR viri kot so sijalke, predstavljajo manjši problem v smislu motenj, direktna sončna svetloba pa vseeno onemogoči delovanje senzorjev.

Senzor je povezan na *Adafruit Feather M0 WiFi z ATWINC1500*. Ker je izhod senzorja logična enica ali ničla, smo uporabili enega ali več digitalnih vhodov (odvisno od števila senzorjev na napravi). Mikrokontroler uporablja prekinitve za spremljanje spremembe stanja na vsakem vhodu. Ob sprožitvi prekinitve, program deluje v skladu s prenosnim protokolom.

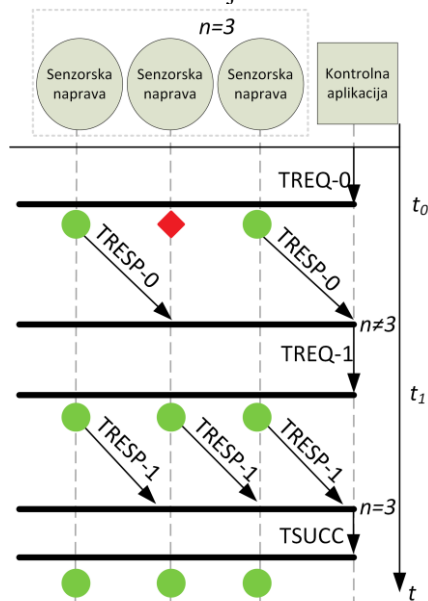
3.4 Nosljivi kinematični senzor

Nosljive naprave se pogosto uporabljajo v športu za merjenje gibanja. Pravilno lociran in pritrjeni senzor gibanja lahko uporabimo za merjenje kinematičnih spremenljivk [10]–[13]. V našem primeru parametre gibanja merimo z eno samo senzorsko napravo pritrjeno na ledveni del hrbta [12], [13] z vzorčevalno frekvenco 200 Hz. Uporabljamo kinematični senzor z vgrajenim pospeškomerom in žiroskopom (*LSM6DS33*). Ta senzor je prav tako pritrjen na *Adafruit Feather M0 WiFi z ATWINC1500*. Skupaj tvorita nosljivo senzorsko

napravo, ki jo napaja Li-ionska baterija. Senzor z mikrokrmilnikom komunicira preko protokola I²C. Senzorski podatki se obdelujejo na mikrokrmilniku in preko brezžičnega omrežja posredujejo nadzorni aplikaciji na računalniku.

3.5 Sinhronizacijski in prenosni protokol

Časovno usklajeno delovanje sistema je osnovna zahteva za več senzorske sisteme, za kar je potrebna aktivna časovna sinhronizacija vseh senzorskih naprav.



Slika 3 Diagram sinhronizacijskega protokola. Aplikacija pošlje na vse naprave zahtevo po sinhronizaciji (TREQ-m) na naslov za razpršeno oddajanje. Naprave odgovorijo s sporočilom TRESP-m. Če strežnik ne sprejme vseh odgovorov s strani naprav, zahteva ponovno sinhronizacijo m+1. Ko vse naprave odgovorijo pritrdilno, aplikacija obvesti vse naprave o začetku merjenja s TSUCC sporočilom.

Zamislili smo si rešitev, ki deluje prek brezžičnih omrežij IEEE 802.11. Ne gre za optimalno rešitev, vendar smo tako združili že obstoječe merilne sisteme [14], [15] z novimi senzorji in optičnimi vrati. Časovni diagram sinhronizacije je prikazan na sliki 3. Sinhronizacijski protokol je relativno preprost in uporablja naslov razpršenega oddajanja (ang. broadcast) internetnega protokola (IP). Delovanje sinhronizacijskega protokola:

1. Kontrolna aplikacija ob času t_0 zahteva izvedbo sinhronizacije z oddajo paketa TREQ-m na naslov razpršenega oddajanja.
2. Ko naprave prejmejo zahtevo, nastavijo spremenljivo ure sinhronizacije na nič, prilagodijo lokalni števec sinhronizacij in strežniku vrnejo potrditveno sporočilo TRESP-m.
3. Strežnik zbira odgovore in če je število odgovorov enako številu naprav in so vrednosti števecv zaporednih sinhronizacij v vseh potrditvenih sporočilih enaki, je bila sinhronizacija uspešna. V nasprotnem primeru strežnik nadaljuje z zahtevami po sinhronizaciji, dokler vse naprave ne odgovorijo na isto zahtevo v določenem časovnem oknu.

Kot protokol transportnega sloja uporabljamo UDP (User Datagram Protocol). Nosljivi kinematični senzor pošlje 200 paketov na sekundo, v vsakem se nahaja en vzorec meritve. Optična vrata zaznavajo in pošiljajo samo spremembe stanja. Vsak paket nosi informacije o notranji in sinhronizirani uri, zaporedni številki vzorca ter ustrezne podatke. Vsi prejeti podatki so urejeni na skupni časovni osi s pomočjo nadzorne aplikacije glede na sinhronizirani sistemski čas.

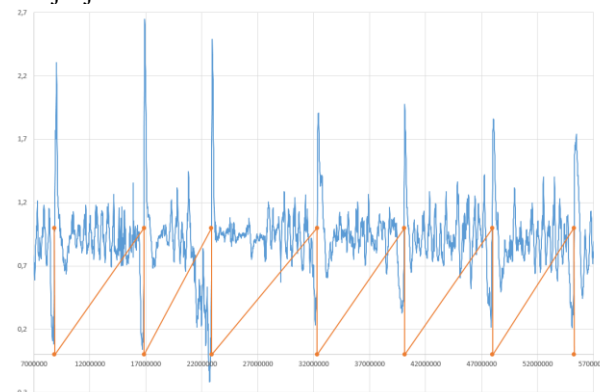
3.6 Aplikacija za nadzor sistema

Nadzor sistema se vrši v okolju LabVIEW v namenski aplikaciji, ki izvaja naslednje naloge: snemanje in analiza senzorskih signalov/podatkov, nadzor in spremljanje stanja sistema, časovna sinhronizacija naprav in inicializacija protokola za prenos podatkov. Operater sistema izvrši sinhronizacijo senzorskih naprav in začne meritve. Ko so podatki s senzorjev prejeti, se obdelajo in shranijo glede na sinhronizacijski čas.

4 Diskusija

S tem sistemom nestandardno opremo in protokole uporabljamo za meritve v realnem času. To pomeni, da je bilo potrebno sistem potrditi in testirati za delovanje v realnih pogojih. S testiranjem smo potrdili, da sistem deluje v okviru zahtev, ima pa tudi pomanjkljivosti.

Prvi problem je bila validacija senzorja optičnih vrat. Z laboratorijskim testom in ob upoštevanju specifikacije proizvajalca smo potrdili, da uspešno zaznamo prekinitve, ki trajajo več kot 1 ms. S tem smo potrdili, da je ločljivost senzorja zadostna za naša merjenja.



Slika 4 Rezultati testa sinhronizacije. Senzor gibanja (modro) smo zamahnili skozi optična vrata (oranžno). Opazimo, da se dogodki zgodijo hkrati. Vrata si sledijo kot v realnem testu: začetna, sredinska, leva, sredinska, desna, sredinska, začetna.

Večji izziv je predstavljal sinhronizacijski protokol. Pri testu sinhronizacije smo zato testirali zakasnitve oz. neskladnost sinhroniziranih ur med napravami. Protokol sam po sebi ima zakasnitve, ki jih zaradi uporabe brezžičnega omrežja IEEE 802.11 ne moremo natančno določiti. Zavedamo se, da vse naprave ne prejmejo zahteve po sinhronizaciji hkrati, in bi bila rešitev z uporabo drugačne brezžične tehnologije vsekakor koristna za sinhronizacijo. Ne moremo izmeriti časa potrebnega za sinhronizacijo, lahko pa izmerimo čas potreben za prejetje vseh odgovorov iz naprav in določili smo mejo, da zaupamo sinhronizacijam z

obhodnim časom manj kot 50 ms. Problem v našem primeru predstavlja neskladnosti notranjih ur, ki jih programsko ne popravljamo, zato sinhronizacijo izvedemo pred vsako meritvijo, a vseeno so rezultati meritev pokazali, da napaka za naše meritve ni usodna. Rezultati takšnega testa so vidni na sliki 4. Ob zamahu kinematičnega senzorja pred optičnimi vrati vrednost težnostnega pospeška pade in hkrati se sprožijo optična vrata. Natančnost je za naše potrebe zadostna. Uporaba brezžične rešitve, ki ne potrebuje sinhronizacije reši vse naše težave, vendar to zahteva spreminjanje celotnega merilnega sistema in osnovnih gradnikov, ki jih uporabljamo v drugih eksperimentih, čemur smo se želeli izogniti.

5 Sklep

Predstavljeni senzorski sistem je univerzalen, saj ga je mogoče uporabiti pri različnih preizkusih agilnosti, prav tako pa je uporaben pri drugih testih v športu, kjer je potrebna lokalizacija in časovna sinhronizacija.

Predlagani sistem omogoča opravljanje mnogo bolj natančnih in objektivnih meritev agilnosti, saj vsebujejo spremenljivke in signale, ki tradicionalno niso del teh testov. Informacija o gibanju, vmesni rezultati ter povezavo med njimi je nemogoče pridobiti zgolj s štoparico in ekspertnim znanjem. Naša rešitev integrira obstoječe tehnologije in nudi nove informacije o športnikovem gibanju. Za optični senzor smo uporabili preprost, cenen integriran senzor, s čimer smo zmanjšali stroške in zapletenost sistema v primerjavi z drugimi rešitvami na trgu.

S sistemom smo opravili nekaj preliminarnih testov in potrdili, da izpolnjuje osnovne zahteve. V tem sistemu smo kombinirali nosljiv kinematični senzor z brezžičnimi optičnimi vrati in s tem pridobili informacije, ki jih je nemogoče zajeti s posameznim senzorjem.

Literatura

- [1] K. Lightman, 'Silicon gets sporty', *IEEE Spectr.*, vol. 53, pp. 48–53, Mar. 2016, doi: 10.1109/MSPEC.2016.7420400.
- [2] R. K. Hetzler, C. D. Stickley, K. M. Lundquist, and I. F. Kimura, 'Reliability and Accuracy of Handheld Stopwatches Compared With Electronic Timing in Measuring Sprint Performance', *J. Strength Cond. Res.*, vol. 22, no. 6, pp. 1969–1976, Nov. 2008, doi: 10.1519/JSC.0b013e318185f36c.
- [3] M. Waldron, P. Worsfold, C. Twist, and K. Lamb, 'Concurrent validity and test–retest reliability of a global positioning system (GPS) and timing gates to assess sprint performance variables', *J. Sports Sci.*, vol. 29, no. 15, pp. 1613–1619, Dec. 2011, doi: 10.1080/02640414.2011.608703.
- [4] R. Healy, M. Norris, I. C. Kenny, and A. J. Harrison, 'A Novel Protocol to Measure Short Sprint Performance', *Procedia Eng.*, vol. 147, pp. 706–711, Jan. 2016, doi: 10.1016/j.proeng.2016.06.252.
- [5] N. Sánchez Aldana, J. Velásquez Gómez, J. Villa Bedoya, and J. M. Marín Correa, 'SpeedMed: device for measuring velocity in track sports', *Rev. Ing. Bioméd.*, vol. 1, no. 1, pp. 33–37, Jun. 2007.
- [6] J. M. Sheppard and W. B. Young, 'Agility literature review: classifications, training and testing', *J. Sports Sci.*, vol. 24, no. 9, pp. 919–932, Sep. 2006, doi: 10.1080/02640410500457109.
- [7] G. Sporis, I. Jukic, L. Milanovic, and V. Vucetic, 'Reliability and Factorial Validity of Agility Tests for Soccer Players', *J. Strength Cond. Res.*, vol. 24, no. 3, p. 679, Mar. 2010, doi: 10.1519/JSC.0b013e3181c4d324.
- [8] K. Pauole, K. Madole, J. Garhammer, M. Lacourse, and R. Rozenek, 'Reliability and Validity of the T-Test as a Measure of Agility, Leg Power, and Leg Speed in College-Aged Men and Women', *J. Strength Cond. Res.*, vol. 14, no. 4, pp. 443–450, Nov. 2000.
- [9] P. F. Stewart, A. N. Turner, and S. C. Miller, 'Reliability, factorial validity, and interrelationships of five commonly used change of direction speed tests', *Scand. J. Med. Sci. Sports*, vol. 24, no. 3, pp. 500–506, Jun. 2014, doi: 10.1111/sms.12019.
- [10] H. Zeng and Y. Zhao, 'Sensing Movement: Microsensors for Body Motion Measurement', *Sensors*, vol. 11, no. 1, pp. 638–660, Jan. 2011, doi: 10.3390/s110100638.
- [11] C.-C. Yang and Y.-L. Hsu, 'A Review of Accelerometry-Based Wearable Motion Detectors for Physical Activity Monitoring', *Sensors*, vol. 10, no. 8, Art. no. 8, Aug. 2010, doi: 10.3390/s100807772.
- [12] A. Kos and A. Umek, 'Wearable Sensor Devices for Prevention and Rehabilitation in Healthcare: Swimming Exercise With Real-Time Therapist Feedback', *IEEE Internet Things J.*, vol. 6, no. 2, pp. 1331–1341, Apr. 2019, doi: 10.1109/JIOT.2018.2850664.
- [13] A. Kos, S. Tomažič, and A. Umek, 'Suitability of Smartphone Inertial Sensors for Real-Time Biofeedback Applications', *Sensors*, vol. 16, no. 3, p. 301, Mar. 2016, doi: 10.3390/s16030301.
- [14] A. Kos, V. Milutinović, and A. Umek, 'Challenges in wireless communication for connected sensors and wearable devices used in sport biofeedback applications', *Future Gener. Comput. Syst.*, vol. 92, pp. 582–592, Mar. 2019, doi: 10.1016/j.future.2018.03.032.
- [15] A. Umek and A. Kos, 'Smart equipment design challenges for real-time feedback support in sport', *Facta Univ. Ser. Mech. Eng.*, vol. 16, no. 3, pp. 389–403, Dec. 2018, doi: 10.22190/FUME171121020U.