

# Pametna športna oprema: smuči z vgrajenimi senzorji in asistenčnim sistemom za posredovanje povratne informacije v realnem času

Anton Umek, Anton Kos

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za elektrotehniko, Tržaška cesta 25, 1000 Ljubljana, Slovenija  
E-pošta: anton.umek@fe.uni-lj.si

**Povzetek.** V športnem treniranju je vse bolj prisotna uporaba tehničnih sistemov. Objektivno povratno informacijo pri športni aktivnosti lahko pridobimo tudi z vgradnjo senzorjev v športno opremo. Članek podaja rezultate raziskav načrtovanja alpskih smuči z integriranimi senzorji in asistenčnega sistema za pomoč pri učenju tehnike smučanja. Predstavljen je senzorski sistem, s katerim je mogoče natančno izmeriti uravnoveženost in dinamičnost obremenitve smuči. Članek predstavi tudi zasnovo asistenčnega sistema, ki ga bo mogoče uporabiti v pomoč pri učenju tehnike alpskega smučanja.

**Ključne besede:** pametna športna oprema, alpske smuči, senzorji sile, kinematični senzorji, poudarjena povratna informacija

## Smart sports equipment: skis with integrated sensors and a real-time feedback assistance system

The use of technical systems is increasingly present in sports coaching. An objective feedback on a sports activity can be obtained by integrating sensors into the sports equipment. The paper presents results of a research for a design of alpine skis with integrated sensors and an assistance system to help learn the skiing technique. A sensor system is presented that accurately measures the balance and dynamics of ski loading, and a design of an assistance system that accelerates learning the technique of alpine skiing is described.

**Keywords:** smart sport equipment, alpine skis, force sensors, kinematic sensors, augmented feedback.

## 1 UVOD

Doba pametnih nosljivih naprav se je začela s pametnimi športnimi zapestnicami in urami, v zadnjem času pa se pojavljajo tudi različne vrste pametnih športnih naprav, prilagojenih specifični uporabi. Pametna športna oprema ima poleg osnovne funkcionalnosti vgrajene različne vrste senzorjev za zajem kinetike in kinematike izvajane aktivnosti. V prvi fazi so bili to predvsem pospeškometri, s katerimi lahko zaznavamo mirovanje in vrsto gibanja ter prepoznamo specifične dogodke v gibanju in dovolj točno merimo njihove čase nastopanja. V številnih integriranih vezjih MEMS (Micro-electro-mechanical Systems) so v paru s pospeškometrom vgrajeni tudi žiroskopi, na istih miniaturnih tiskaninah pa so večkrat priključeni tudi magnetometri. Iz izmerjenih vektorjev pospeška, hitrosti rotacij in jakosti magnetnega polja lahko izračunamo preostale povezane fizikalne količine in tudi pridobimo podatek o absolutni orientaciji

senzorja. Poleg miniaturnih kinematičnih senzorjev se uporabljajo različni senzorji sile, ki delujejo po načelu spremembe upornosti zaradi mehanskega raztezka, uporabljajo piezoelektrični učinek ali pa lastnost spremembe specifične prevodnosti snovi zaradi mehanske napetosti.

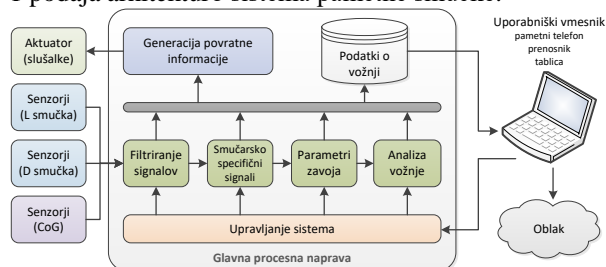
Število športnih pripomočkov, opreme in naprav z vgrajenimi kinematičnimi senzorji in senzorji sile se je v zadnjih letih precej povečalo. Na začetku smo spoznali športne copate z vgrajenimi senzorji, žoge z vgrajenimi senzorji, zaščitne čelade, palice za golf, kije za bejzbol, teniške loparje in drugo [1]. V Laboratoriju za informacijske tehnologije Fakultete za elektrotehniko Univerze v Ljubljani raziskujemo možnosti uporabe različnih senzorjev pri pridobivanju povratne informacije v alpskem smučanju [2]. Koncept pametne smučke poleg senzorjev in merilnega sistema za zajem in analizo signalov vključuje tudi aplikacijo za posredovanje povratne informacije med vožnjo in analizo podatkov o vožnji po zaustavitvi smučarja. Povratno informacijo se lahko smučarju posreduje v obliki zvočnega signala sočasno, med smučanjem, vsi zajeti in shranjeni signali pa omogočajo pridobitev različnih smučarsko specifičnih parametrov in njihovo analizo ter prikaz rezultatov takoj po končani vožnji.

V okviru razvojno raziskovalnega projekta smo v sodelovanju s podjetjem Elan, d. o. o., zasnovali senzorski sistem za vgradnjo v alpske smuči in izdelali prototip smuči z vgrajenimi senzorji. Senzorski merilni sistem smo laboratorijsko testirali in ga uporabili v snežnih testih. Rezultate snežnih testov uporabljamo v raziskavah sistema z biomehansko povratno zanko [3], ki ga želimo uporabiti za pomoč pri učenju smučanja. V

članku je predstavljen senzorski sistem pametne smučke, ki omogoča pridobitev objektivnih parametrov v opisu tehnike izvajanja zavojev v alpskem smučanju. Podana je tudi zasnova asistenčnega sistema z biomehansko povratno zanko, ki ga bo mogoče uporabiti pri učenju tehnike alpskega smučanja.

## 2 KONCEPT PAMETNE SMUČKE

Asistenčni sistem pametne smučke vsebuje poleg senzorske naprave na vsaki smučki tudi glavno procesno napravo, ki se nahaja za pasom ali v žepu smučarja. Slika 1 podaja arhitekturo sistema pametne smučke.

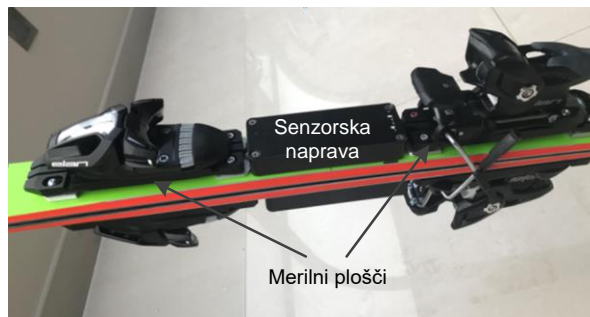


Slika 1: Arhitektura sistema pametne smučke.

Senzorska naprava na smučki skrbi za zajem signalov iz senzorjev in prenos vseh podatkov do glavne procesne naprave. Glavna procesna naprava deluje avtonomno, povezljiva pa je tudi z osebno mobilno napravo, ki nudi uporabniški vmesnik za upravljanje sistema in prikaz rezultatov analize vožnje po zaustavitvi. V ta namen lahko poleg pametne športne ure ali mobilnega telefona uporabimo tudi tablico ali prenosni računalnik. Osebnе komunikacijske naprave so povezane v globalno podatkovno omrežje, kar omogoča tudi prenos vseh podatkov iz merilnega sistema v oblako aplikacijo.

Merilni sistem pametne smučke je zasnovan predvsem za natančno merjenje porazdelitve sile pritiska smučarskega čevlja na smuč. Smučar upravlja smuč z razporejanjem sil pritiska smučarskega čevlja. Porazdelitev sile pritiska med peto in prsti stopala se spreminja s potiskom kolen in naklonom telesa smučarja v smeri vožnje. Pravilna porazdelitev sile pritiska med prsti in peto omogoča dobro vodljivost smuč. V lateralni smeri je pomembna pravilna porazdelitev sil med notranjo in zunanjo smučko v zavoju. Aktivnost smučarja v smislu vertikalnega gibanja se zaznava tudi iz sprememb skupne sile obremenitve smuč. Skupno dinamično silo in različne uravnoteženosti obremenitve (naprej in nazaj, levi in desni robnik, leva in desna smučka) je mogoče natančno izmeriti s senzorji sile, ki so vgrajeni v podložni plošči med vezmi in smučko.

Vse elektronske komponente senzorske naprave na smučki so vgrajene v ohišje, ki je pritrjeno nanjo med podložnima ploščama sprednje in zadnje vezi, kot prikazuje slika 2.



Slika 2: Senzorska naprava je na smučki pritrjena med merilnimi ploščama, nameščenima pod sprednjo in zadnjo vez.

Senzor sile je posebej načrtovana mehanska konstrukcija podložne plošče, ki je pritrjena med vezjo in smučko. Podložne plošče med vezmi in smučko so običajno dodatna oprema smuč s poudarjenim lokom (carving), v našem primeru pa so načrtovane za natančno merjenje porazdelitve sile pritiska smučarskega čevlja. V merilne celice so vgrajeni uporovni senzorji mehanskega raztezka. Prototip smučke z vgrajenimi senzorji sile je bil izdelan in patentiran v sodelovanju z razvojnim laboratorijem podjetja Elan [4].

Poleg senzorjev sile, ki so integrirani v podložnih ploščah vezi, sta v senzorski napravi vgrajena tudi pospeškometer in žiroskop. Iz izmerjenih podatkov sile obremenitve in podatkov kinematičnih senzorjev pridobimo množico smučarsko specifičnih parametrov, ki so razumljivi v analizi tehnike alpskega smučanja.

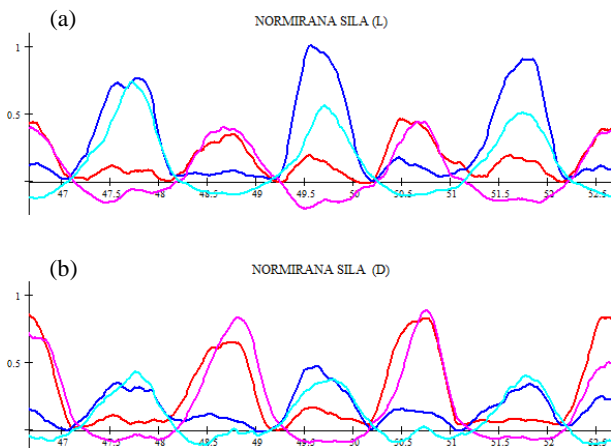
V konceptu sistema pametne smučke je poleg dveh integriranih senzorskih naprav na smučeh dodana glavna procesna naprava, ki sprejema podatke o signalih iz obeh senzorskih naprav na smučeh, v realnem času obdeluje senzorske signale, jih shranjuje za nadaljnjo obdelavo ter generira zvočni povratni signal. Povratni zvočni signal je lahko na primer generiran v povezavi z obremenitvijo zunanje smučke v zavoju ali pa s premikom težišča na zadnji del smuč.

Senzorski napravi na smučeh komunicirata z glavno napravo preko radijskega vmesnika WiFi. V prototipu sistema pametne smučke smo za glavno procesno napravo uporabili univerzalni razvojni sistem MyRIO, programska oprema pa je razvita z orodjem LabView. Glavna procesna naprava sinhronizirano prevzema sprejete podatkovne nize iz obeh senzorskih naprav. Podatkovni pretok je neposredno povezan z nastavitvijo vzorčevalne frekvence senzorjev in formatom zapisa podatkov senzorskih signalov. Paketna komunikacija poteka po protokolu UDP, skupni podatkovni pretok iz vsake senzorske naprave je pri vzorčevalni frekvenci 100 Hz približno 50 kbit/s.

Glavna procesna naprava je avtonomna v delovanju, za upravljanje naprave pa lahko uporabimo uporabniški vmesnik na osebni mobilni napravi: uri, telefonu, tablici ali notesniku.

### 3 IZMERJENI IN IZVEDENI SIGNALI

Smučar lahko smuči upravlja samo s silo pritiska stopal v smučarskih čevljih, ki se v celoti prenaša na senzorsko podložno ploščo. Velikost sile in težišče sile sta odvisna od aktivnosti smučarja in tudi od reliefa snežne površine. Reakcijsko silo podložne plošče zaznavamo v štirih podpornih točkah. Za ločeno zaznavanje sile na levi in desni strani podložne plošče smo uporabili kombinacijo parov dvojnih senzorjev raztezka. Porazdelitev sile pritiska v smeri smučke računamo iz izmerjenih sil merilnih plošč pod sprednjo in zadnjo vezjo. Načrtovana postavitev senzorjev sile omogoča natančno določanje mesta težišča sile pritiska med sprednjo in zadnjo vezjo ter med levim in desnim robom smučī. Slika 3 prikazuje časovni potek signalov osmih senzorjev sile v omejenem časovnem oknu približno šestih sekund, v katerem je smučar opravil serijo kratkih ritmičnih zavojev v zarezni tehniki. Sile obremenitve na sliki 3 so normirane na skupno izmerjeno silo teže v mirovanju. Iz grafov je razvidna cikličnost signalov, opazijo se tudi skoraj popolnoma sinhronizirane razbremenitve. Informacijo o načinu obremenjevanja smučī mnogo lažje razberemo iz izvedenih količin obremenitev smučī: relativne obremenitve leve in desne smučī, relativne obremenitve levih in desnih robnikov smučī in razlike sil pritiska na sprednjo in zadnjo vezi.

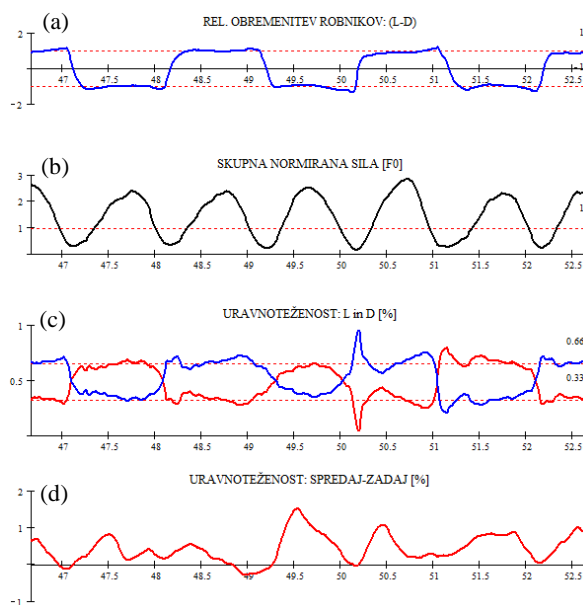


Slika 3: Časovni poteki normiranih senzorskih signalov sile za levo smučko (L) in desno smučko (D). Barvne oznake: rdeče = spredaj levo, vijoličasto = zadaj levo, modro = spredaj desno, turkizno = zadaj desno.

Iz izmerjenih signalov sile lahko izračunamo množico smučarsko specifičnih signalov obremenitve smučī. Iz tako obdelanih izmerjenih signalov sile prepoznamo dogodke in faze izvajanja smučarskega zavoja. Slika 4 podaja množico smučarsko specifičnih signalov, ki so neposredno izračunani iz izmerjenih signalov sile.

Razlika sil obremenitve desnih in levih robnikov smučī na sliki 4 (a) ima pri pravilni ritmični vožnji izrazito stopničasti časovni potek. Sprememba obremenitve robnikov smučī je v smučanju dosežena z majhnim vložkom energije, zato je tudi izvedljiva v zelo kratkem času. Bipolarni signal razlike sil obremenitev

levih in desnih robnikov se lahko uporabi za natančno določitev prehodov med zavoji, merjenje trajanja zavoja in ugotavljanje smernosti zavoja.



Slika 4: Časovni poteki izvedenih smučarsko specifičnih signalov obremenitve smučī: (a) razlika relativne obremenitve levih in desnih robnikov, (b) skupna normirana sila obremenitve smučī, (c) uravnoteženost obremenitve med levo in desno smučko in (d) uravnoteženost obremenitve v smeri naprej/nazaj.

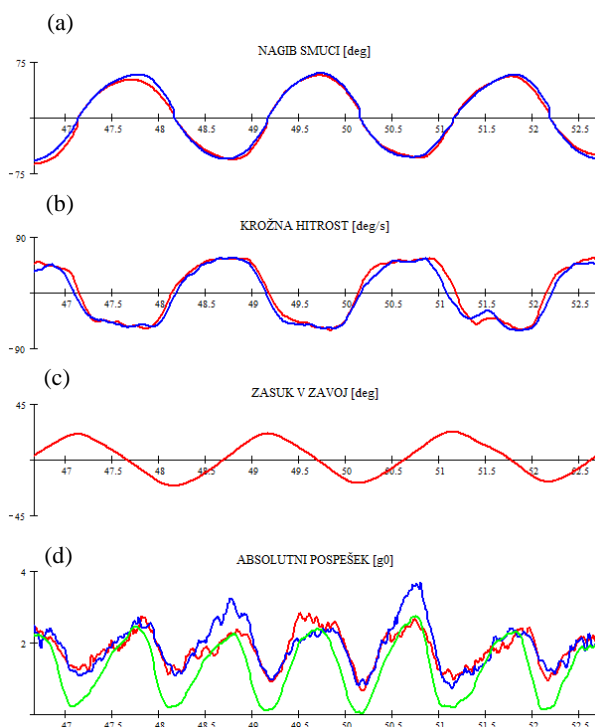
Skupna normirana sila leve in desne smučke na sliki 4 (b) je vsota vseh izmerjenih sil iz slike 3. »Aktivnost« smučarja med zavojem je povezana z vertikalnim gibanjem težišča telesa, s katerim smučar ciklično v zavojih s spustom težišča telesa najprej zmanjšuje pritisk na smučī in potem ciljno v pravi fazi zavoja z zaustavljanjem spusta in odzivom povečuje pritisk na smučī. Aktivnost v smislu vertikalnega gibanja smučarja je posredno merljiva iz razmerja maksimalne in minimalne skupne sile na sliki 4 (b).

Relativni obremenitvi leve in desne smučke v zavojih se spreminjata med levim in desnim zavojem, kjer je leva smučka zunanja v desnem zavoju in obratno. Signala na sliki 4 (c) sta normirana in komplementarna. Zanimivo je spoznanje, razvidno iz testov, da je mnogo smučarjev, tudi najboljših, na osnovi samozaznavanja in subjektivnega ocenjevanja prepričanih, da sta v zarezni tehniki obremenitvi zunanje in notranje smučke dokaj uravnoteženi. Podatki, ki jih pridobimo z natančnimi meritvami, potrjujejo, da je obremenitev zunanje in notranje smučke v zavoju v takšnih primerih bližje razmerju 67/33 kot pa 55/45.

Relativna obremenitev v smeri proti sprednjim vezem podaja informacijo o premiku težišča naprej v smeri vožnje, kar je tudi pogoj za dober nadzor smučī. Izraziti dvigi v signalu na sliki 4 (d) so opazni v prvi tretjini zavoja, spusti pa predvsem v zadnji tretjini zavoja.

Gibanje smuči zaznavamo z vgrajenima pospeškometrom in žiroskopom. Na osnovi signalov pospeška in hitrosti rotacij lahko pridobimo dodatne specifične signale in parametre v analizi tehnike smučarskega zavoja.

Slika 5 prikazuje izbrani nabor izmerjenih signalov in posredno izračunanih signalov iz kinematičnih senzorjev, ki podajajo različne parametre smučarskega zavoja:



Slika 5: Časovni poteki smučarsko specifičnih signalov, ki so pridobljeni iz kinematičnih senzorjev: (a) nagib smuči, (b) krožna hitrost v zavoju, (c) kot zasuka v zavoj [deg] in (d) absolutni pospeški na smučeh in senzorju glavne procesne naprave. Modri signali pripadajo desni, rdeči levi smučki.

Slika 5 (a) podaja časovni potek nagiba smuči med izvajanjem zavoja. Nagib smuči se računa iz izmerjenih hitrosti rotacij okrog vzdolžne osi smuči. Spremembe polaritete nagiba na sliki 5 (a) so povezane s prehodi med zavoji.

Krožno hitrost okrog osi, pravokotne na ravnino smuči na sliki 5 (b), lahko uporabimo za približno oceno hitrosti vožnje v fazi zavoja, kjer se smučka praviloma vodi brez oddrsavanja in sledi približno loku, ki ga določa radij smuči.

Iz izmerjene krožne hitrosti lahko računamo tudi časovni potek kota zasuka v zavoju, ki ga podaja slika 5 (c). Začetek merjenja kota rotacije je določen s prenosom obremenitev med robniki (slika 4 (a)) do zaključka zavoja, ki je pri povezanem vijuganju hkrati začetek naslednjega zavoja.

Koristno dodatno informacijo nudijo tudi trije pospeškometri, ki so vgrajeni v senzorski napravi na smučeh in v glavni procesni napravi, ki jo ima smučar

pritrjeno za pasom. Slika 5 (d) podaja signale izmerjenega absolutnega pospeška na vseh treh senzorjih. Oblika signala absolutnega pospeška iz senzorja za pasom smučarja na sliki 5 (d) se skoraj popolnoma prilega signalu izmerjene skupne normirane sile dinamične obremenitve na sliki 4 (b). To je pričakovano, kadar se pospeškometer nahaja v bližini masnega težišča smučarja.

#### 4 PREPOZNAVA DOGODKOV IN IZRAČUN SMUČARSKO SPECIFIČNIH PARAMETROV

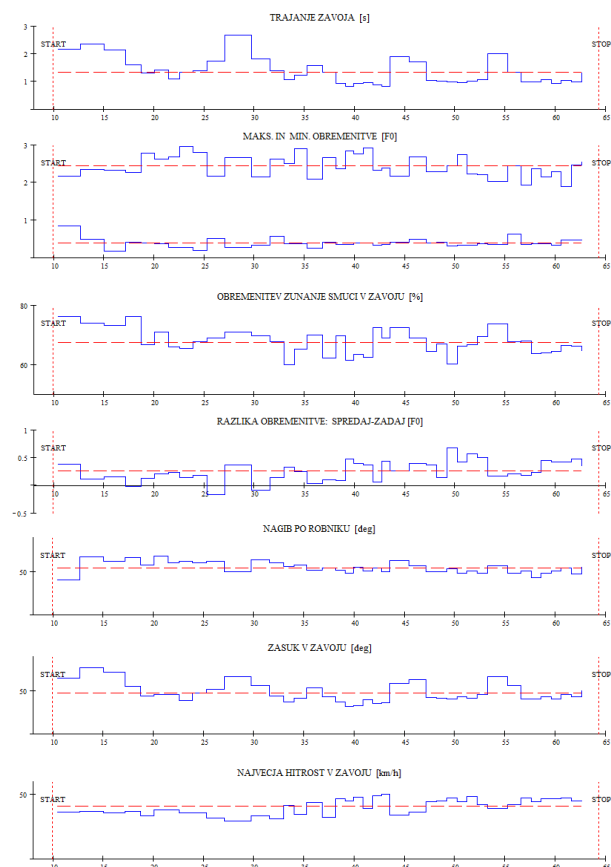
Prehode med izvajanja zaporednih zavojev je mogoče zelo natančno določiti iz izmerjenih signalov sile obremenitev smuči. Drugi dogodki so povezani z dogodkom prehoda v zavoj in značilnimi vrednostmi izbranih smučarsko specifičnih signalov.

Povratna informacija, ki jo pridobimo po zaustavitvi smučarja, vsebuje rezultate analize vseh zavojev v vožnji. Te podatke je mogoče predstaviti v grafični obliki ali pa kot seznam številskih vrednosti različnih specifičnih parametrov smučarskega zavoja. Iz analize senzorskih signalov lahko pridobimo podatke o vožnji, ki so povezani z izmerjenimi parametri posameznih zavojev. Poleg števila zavojev lahko na primer pridobimo podatke o času trajanja zavojev, dinamiki skupne sile obremenitve smuči, relativni obremenitvi zunanje smučke v zavoju, razliki sile pritiska na sprednji in zadnji del smuči, nagibu smuči po robniku, kotu zasuka v zavojih in hitrosti rotacij v zavoju. Za ponazoritev vzemimo podatke meritev iz testne vožnje nacionalnega demonstratorja alpskega smučanja. Vožnja je bila izvedena v zarezni tehniki, potekala je v zaporedjih parov zavojev različnih dolžin. Grafični prikaz rezultatov testne vožnje je v obliki zaporedja vrednosti izračunanih parametrov zavojev v času, kot prikazuje slika 6. Rezultati testne vožnje so številsko v krajši obliki podani s povprečji izmerjenih parametrov v vseh zavojih:

- število zavojev = 40, povprečni čas zavoja = 1.3 s,
- maks. sila obremenitve smuči je 290 %  $F_0$ ,
- min. sila obremenitve smuči je 39 %  $F_0$ ,
- relativna obremenitev zunanje smučke je 67 %,
- razlika obremenitve spredaj in zadaj je 37 %  $F_0$ ,
- nagib smuči v zavoju je 55 stopinj,
- kot rotacije v zavojih je 48 stopinj in
- hitrost v krožnem loku zavojev je 41 km/h.

Poleg navedenih izmerjenih parametrov daje zanimiv vpogled tudi časovna analiza zaporedja dogodkov v izvajanju zavoja, ki jo pridobimo iz natančno izmerjenih časov zabeleženih dogodkov: prehoda med zavoji, najmanjše skupne sile obremenitve smuči, poudarjene obremenitve sprednjega dela smuči, maksimalnega nagiba smuči v zavoju, največje hitrosti rotacije v zavoju, največje skupne sile obremenitve smuči in poudarjene obremenitve zadnjega dela smuči.





Slika 6: Parametri smučarskih zavojev: trajanje zavoja, največja in najmanjša sila obremenitve smučke, delež obremenitve zunanje smučke v zavoj, delež obremenitve sprednjega in zadnjega dela smučke, nagib smučke po robniku, zasuk v zavoj in največja hitrost v krožnem loku zavoja.

## 5 POSREDOVANJE POVRATNE INFORMACIJE

Glavni namen asistenčnega sistema pametne smučke je pridobivanje in posredovanje povratne informacije, ki lahko pomaga pri ocenjevanju in učenju tehnike alpskega smučanja. Povratno informacijo v povezavi z izvajanjem zavojev v alpskem smučanju je glede na časovni vidik mogoče podajati na več načinov:

- nepretrgano in sočasno z gibanjem (concurrent, real-time feedback),
- ciklično s kratko zakasnitvijo po izvedbi zavoja (cyclic feedback),
- po izvedbi vožnje, ko se smučar ustavi (terminal feedback).

V povezavi s časovnim vidikom izbiramo tudi različne načine podajanja povratne informacije, spreminjata pa se prav tako količina podatkov o gibanju in količina povratne informacije, ki jo je mogoče posredovati smučarju.

### 5.1 Sočasna povratna informacija med vožnjo

Pri sočasnem načinu lahko posredujemo majhno količino povratne informacije, način podajanja povratne informacije pa mora biti dobro razumljiv in ne sme preusmerjati pozornosti smučarja, ki mora ostati

osredotočen predvsem na vožnjo. Najprimernejši način sočasnega podajanja informacije med smučanjem je zvočni signal. Povratni zvočni signal je lahko kontinuiran ali pa samo občasno opozarja na določene napake. Zvočni signal je lahko stalno povezan z izbranim signalom (sonifikacija gibanja) ali pa se pojavlja kot opozorilo ob različnih napakah v tehniki smučanja. Uporabnik se mora naučiti razumeti pomen zvočnega signala, koristno je, če so povratni zvočni signali naravni in intuitivno razumljivi. Pri sočasnem podajanju povratne informacije je zaradi dodatne kognitivne obremenitve smučarja med vožnjo smiselno povezovanje zvočnega signala samo z enim izvornim signalom. Aplikacija za posredovanje povratne informacije med gibanjem mora biti v tem primeru načrtovana z naborom lekcij, v katerih so izbrani različni izvorni signali za sonifikacijo. Zvočni povratni signal je na primer lahko povezan (moduliran) s signalom relativne obremenitve zunanje smučke v zavoj, s signalom relativne obremenitve sprednjega dela smučke ali pa s skupno dinamično obremenitvijo smučke. Povratni zvočni signal je v najpreprostejšem primeru lahko frekvenčno in/ali amplitudno moduliran ton ali amplitudno moduliran šum, za nekatere specifične signale na sliki 3 lahko uporabimo tudi stereo zvočni signal. Takšna povratna informacija bo na primer lahko pripomogla k hitrejšemu učenju pravilnega obremenjevanja smučke: zadostne porazdelitve sile pritiska na sprednji del smučke, pravilnega obremenjevanja zunanje smučke v zavoj ali pa dovolj intenzivnega obremenjevanja smučke ob ustreznem vertikalnem gibanju smučarja.

### 5.2 Povratna informacija med zavoji

Mnogo več podatkov o smučanju pridobimo po zaključku vsakega zavoja. Ti podatki so posredno izmerjene vrednosti smučarsko specifičnih parametrov, kot so: uravnoteženost obremenitve smučke med zunanjo in notranjo smučko v zavoj, uravnoteženost obremenitve smučke v smeri spredaj in zadaj, dinamika skupne sile obremenitve smučke in posredno intenzivnost vertikalnega gibanja smučarja, povprečna in maksimalna hitrost v zavoj, kot zasuka v zavoj in bočni naklon smučke v zavoj. Množico podatkov o zavoj lahko predstavimo na zaslonu številsko ali v grafični obliki, vendar pa tak način ni primeren za posredovanje med vožnjo. Količina povratne informacije in način podajanja informacije sta zaradi osredotočenosti smučarja na opazovanje terena med vožnjo zelo omejena. Slikovno povratni kanal sploh ni primeren za podajanje sočasne informacije, zelo omejeno količino informacije pa je mogoče posredovati ciklično ob zavojih. Tudi uporaba posebej prilagojenih smučarskih očal, ki omogočajo projekcijo slike v polju stranskega pogleda, je med vožnjo po zahtevnem terenu moteča za smučarja, hkrati pa je lahko tudi nevarna. Manjšo količino informacij je mogoče varno posredovati s sintetiziranimi glasovnimi sporočili.

### 5.3 Povratna informacija po zaključeni vožnji

Povratna informacija, ki jo smučar lahko prejme takoj po zaustavitvi na varnem mestu ob progi ali na dnu proge, vsebuje rezultate analize vseh zavojev v vožnji, zato je tudi mnogo bolj obsežna. Segment nepretrgane vožnje je najkrajši časovni interval, v katerem lahko podamo končno povratno informacijo. Združevanje podatkov posameznih segmentov pridobi vrednost, če lahko za vsak segment dodamo tudi podatek o geolokaciji (GPS), ki ga je ravno tako mogoče pridobiti iz katere od naprav, ki jo nosi uporabnik.

Podatke o zaključeni vožnji, kot za primer na sliki 6, lahko pregledujemo na zaslonu mobilnega telefona, tablice ali prenosnika. Izbira najustrežnejše naprave za prikaz rezultatov analize takoj po končani vožnji pa je odvisna od ciljne skupine.

Za načrtovanje in vrednotenje sistema za podajanje povratne informacije smo zasnovali prikazovalnik posnetkov voženj, v katerega smo vključili tudi videosignal iz kamere na čeladi smučarja. Slika 7 prikazuje aplikacijsko okno za sinhronizirani prikaz videoposnetka in senzorskih signalov.



Slika 7: Razširjeno aplikacijsko okno za analizo videoposnetka vožnje in časovnih potekov smučarsko specifičnih signalov, ki so povezani z izmerjenimi signali iz senzorjev sile, pospeškometrov in žiroskopov.

### 5.4 Prilagajanje aplikacije ciljni skupini

Izbira načina podajanja povratne informacije je odvisna tudi od namena uporabe asistenčnega sistema. Sistem je lahko namenjen rekreativnim smučarjem z različnimi ravni znanja s ciljem izboljšanja tehnike smučanja ali pa za profesionalno športno treniranje različnih kategorij tekmovalcev.

Aplikacija za rekreativne smučarje bo načrtovana za samostojno uporabo. Rekreativni smučar bo za prikaz rezultatov analize vožnje uporabljal mobilni telefon, ki omogoča tudi povezljivost do oblachne storitve. Mobilni telefon lahko zaradi zadostnih procesnih zmogljivosti pri nadaljnjem razvoju komercialnega produkta pametne smučke v celoti prevzame vse funkcionalnosti glavne procesne naprave.

Pri načrtovanju aplikacije za pomoč v profesionalnem treniranju ne smemo prezreti glavne vloge trenerja, ki presodi, v kolikšni meri bo športnika obremenjeval neposredno s povratnimi informacijami asistenčnega

sistema med vožnjo in katere podatke iz analize vožnje bo uporabil takoj ob prihodu smučarja na cilj. Pri profesionalnem treniranju smučar med vožnjo ne nosi mobilnega telefona, trener pa lahko za prikaz rezultatov analize vožnje uporabi tablico ali prenosnik, ki nudita mnogo večji zaslon. Podatki o vožnji se iz glavne procesne naprave, ki jo smučar nosi za pasom, prenesejo na trenerjev prenosnik ali tablico takoj po vsakokratni vzpostavitvi radijske povezave med napravama.

Prikaz rezultatov analize smučanja kadarkoli pozneje zunaj smučišča je za vse ciljne skupine brez omejitev v izbiri naprave izvedljiv tudi preko oblachne aplikacije.

## 6 SKLEP

Delovanje senzorskega sistema pametne smučke smo uspešno preverili na snežnih testih. Rezultati testov potrjujejo, da lahko z uporabo tehničnega sistema smučke z vgrajenimi senzorji pridobimo objektivno povratno informacijo, ki je lahko koristna dopolnitev samozaznavanju in opazovanju. Z analizo posnetkov izmerjenih signalov iz testnih meritev voženj z različnimi ravni smučarskega znanja je mogoče natančno izračunati smučarsko specifične parametre in tudi pravilno prepoznati različne vrste napak v tehniki smučanja. Nadaljevanje raziskav načrtujemo na področju razvoja sistemov za posredovanje zvočne povratne informacije v realnem času in algoritmov za avtomatizirano analizo voženj in ocenjevanje pravilnosti tehnike smučanja.

## LITERATURA

- [1] Lightman, K. (2016). Silicon gets sporty. *IEEE Spectrum*, 53(3), 48–53.
- [2] Kos, A., & Umek, A. (2018). Smart sport equipment: SmartSki prototype for biofeedback applications in skiing. *Personal and Ubiquitous Computing*, 22(3), 535–544.
- [3] Kos, A., Umek, A. (2018). *Biomechanical biofeedback systems and applications*, Cham: Springer, cop. 2018. XII. ISBN 978-3-319-91348-3.
- [4] Umek, A. Avguštin, V., Kos, A., Mohorič, S. (2019). *Podložna plošča za smučke*: patent SI 25583 A, 2019-07-31. Ljubljana: Urad RS za intelektualno lastnino.

**Anton Umek** je docent na Fakulteti za elektrotehniko Univerze v Ljubljani. Njegova raziskovalna področja vključujejo digitalne komunikacije, digitalno obdelavo signalov, varnost komunikacijskih sistemov in sisteme z biomehansko povratno vezavo.

**Anton Kos** je izredni profesor na Fakulteti za elektrotehniko Univerze v Ljubljani. Njegova raziskovalna področja vključujejo sisteme z biološko povratno vezavo, informacijske sisteme, komunikacijske protokole, varnost informacijsko-komunikacijskih sistemov in podatkovno pretočno računalništvo.