



Naslov znanstveno-raziskovalnega projekta: Pametna vadba z umetno inteligenco: dvig uspešnosti in preprečevanje poškodb

Avtor/vodja projekta: Matej Supej

Avtor poročila: Matej Supej

KONČNO VSEBINSKO POROČILO O IZVEDBI PROGRAMA

Uvod

Projekt *Pametna vadba z umetno inteligenco: dvig uspešnosti in preprečevanje poškodb* je bil zastavljen izrazito ambiciozno, kot razvojno usmerjena raziskovalna pobuda, katere glavni cilj je razvoj tehnološko naprednega sistema, ki omogoča v realnem času spremljati gibalne naloge (vadbo), analizirati biomehanske parametre ter podajati povratne informacije športniku ali trenerju. Struktura projekta temelji na šestih vsebinsko zaokroženih in med seboj dopolnjujočih delovnih sklopih, ki se raztezajo od pregleda obstoječih tehnologij in izbora ustrezne rešitve do razvoja funkcionalnega prototipa in njegove validacije. Projekt je ciljal na neposredno uporabo v trenažnem procesu, predvsem pri športnikih, kjer natančnost in učinkovitost vadbe igrata ključno vlogo pri preprečevanju poškodb in doseganju vrhunskih rezultatov.

Poročilo o izvedbi projekta

Projekt je bil s strani Fundacije za šport odobren 13. junija v višini 16.300 EUR. To je posledično pomenilo, da je bil čas za izvedbo projekta močno skrajšan, na manj kot polovico leta do časa za zaključno poročilo. Odobrena sredstva so ravno tako predstavljala manj kot polovico zaprosenih sredstev projekta. V skladu s tem, je bilo nujno pripraviti prilagojen akcijski načrt izvedbe, ki bi kljub omenjenim omejitvam ohranil jedro raziskovalnega projekta, ki je predstavljal izvedbo temeljnih razvojnih aktivnosti sistema pametne vadbe. Namreč brez tega, pametne vadbe ni moč izvajati.

V skladu z odločitvijo, se je delo najprej osredotočilo na **Fazo 1** in **Fazo 2**, ki zajemata pregled obstoječih tehnologij in izbor najprimernejših rešitev. Preverili smo sistem OpenCap, ki je kot odprtokodni sistem delujoč v okolju iOS na voljo v dokončani obliki. Kljub uporabniški prijaznosti in obljubljeni funkcionalnosti se je izkazalo, da ne omogoča analiziranja ali podajanja povratnih informacij v realnem času, kar je bila osnovna zahteva našega sistema. Analize so bile odvisne od obdelave v oblaku z nepredvidljivimi časovnimi zamiki in rezultati, ki so bili občutljivi na vrsto naloge.

Na osnovi pregleda znanstvene literature smo in spletno dostopnih virov smo se odločili nadaljevati s testiranjem sistema AlphaPose, ki ima prednosti v primerjavi z OpenPose. Tako smo AlphaPose s pomočjo repozitorijev GitHub in lastnih razvojnih vložkov implementirali v okolje Biomehanskega laboratorija na namenski delovni postaji z zmogljivo NVIDIA grafično kartico in grafičnim procesorjem s podporo CUDA. Testiranja so pokazala, da sistem sicer omogoča pridobivanje kinematike iz običajnih RGB kamer (Slika 1), vendar ni zadostno hiter ali optimiziran za povratne informacije o kinetiki v realnem času, kar je ključno za takojšnje prilagajanje gibanja med vadbo – torej pametne vadbe s pomočjo umetne inteligence.



Slika 1: Primer prepoznave gibanja telesa z AlphaPose na osnovi RGB video posnetka

Po prenehanju podpore za Azure Kinect s strani Microsofta, smo kot nadomestno možnost izbrali kombinacijo kamer Orbec Femto Bolt (Slika 2), ki vključujejo napredno ToF (time-of-flight) zaznavanje globine ter AI-podprto sledenje telesa. V sodelovanju s podjetjem TvornicaTech d.o.o., ki je izkazalo velik strokovni in razvojni interes, smo začeli oblikovati prototip. Podjetje je zaradi lastnega razvoja na sorodnem področju pristopilo k projektu kot partner z 70 % znižanjem stroškov svojih storitev, kar je bilo odločilno za izvedljivost projektnih nalog ob zmanjšanju financiranja.



Slika 2: ToF kamera Orbec Femto Bolt.

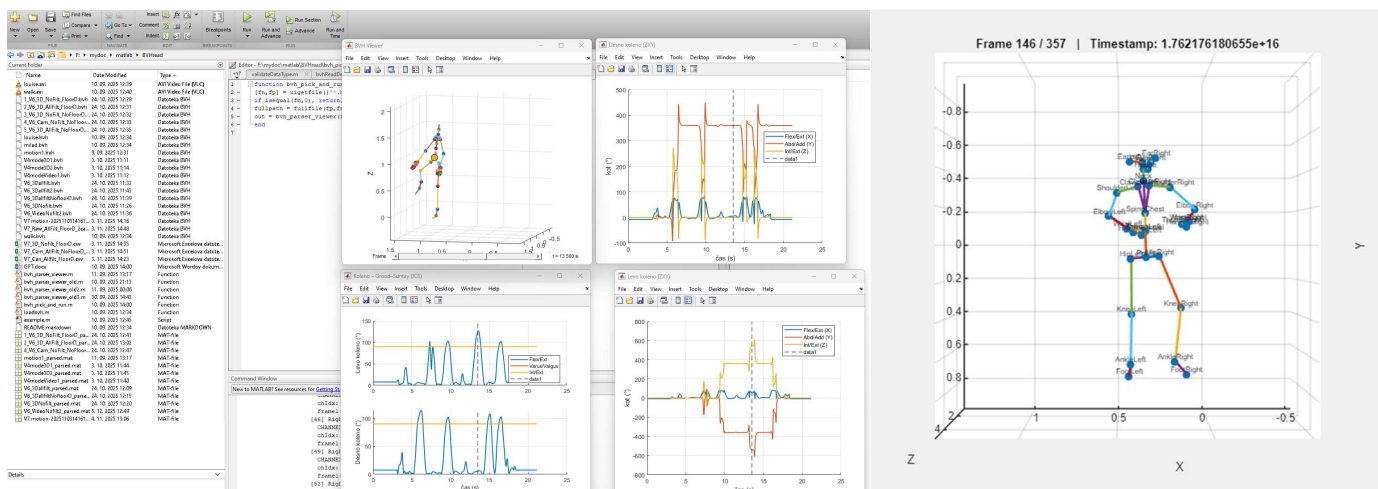
V okviru **Faze 3** smo skupaj z razvijalci iz TvornicaTech d.o.o. razvili sistem v okolju Unity, ki omogoča spremljanje gibanja v realnem času z eno ali dvema Femto Bolt kamerama. Implementirali smo dodatne

Končno poročilo_D5_RR

možnosti, kot so kalibracija v T-pozici, določanje telesne višine merjenca, določitev glavne in pomožne kamere (master/slave), ter izračun kotnih parametrov gibanja (Slika 3). Posebej smo razvili izvozne formate v BVH in CSV, ki smo jih nato analizirali znotraj okolja Matlab, kjer smo zasnovali bralnik in vizualizator gibanja (Slika 4). Ta programski del omogoča analizo časovno prostorskih parametrov gibanja z možnostjo uporabe tudi v nadaljnjih znanstvenih študijah.



Slika 3: 3D animacija avatarja pri izvajanju vadbe v novo razvitem sistemu v programskem okolju Unity.



Slika 4: Program za uvoz pregledovanje, računanje in validacijo podatkov v okolju Matlab (levo BVH, desno vizualizacija CSV).

Vzporedno smo izvedli dve meritvi veljavnosti v primerjavi s sistemom Movella Xsens. Med testi veljavnosti smo opazili, da uporaba inercialne obleke negativno vpliva na kakovost UI prepoznave gibanja (Slika 5). Zaradi tega za objavo pripravljamo še dodatno meritev veljavnosti z optičnim sistemom **Qualisys**, ki uporablja pasivne odsevalne markerje, za katere predvidevamo manjši vpliv na zaznavo silhuete s strani UI-algoritma.



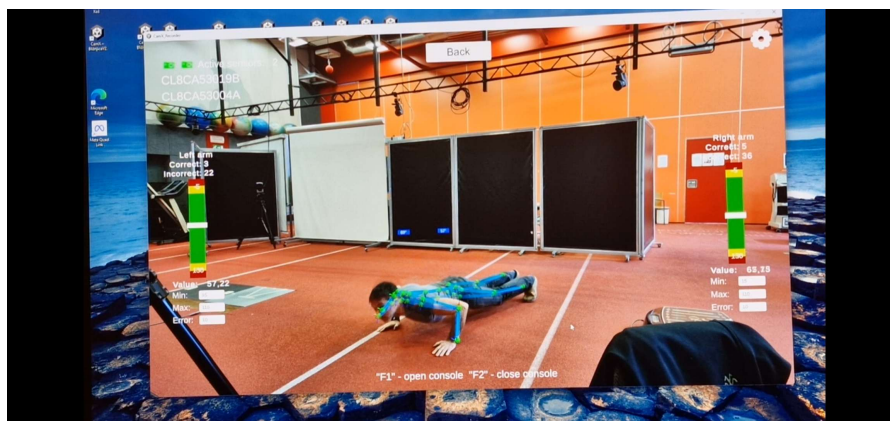
Slika 5: Meritve veljavnosti: sočasno merjenje novo razvite pametne vadbe (Unity) z uveljavljeno inercialno obleko Movella Xsens. Monitor prikazuje sliko v realnem času novo razvitega sistema pametne vadbe z umetno inteligenco na velikem ekranu v laboratoriju za Biomehaniko. V tem primeru je 3D rekonstrukcija prikazana neposredno na vidni sliki Femto Bolt kamer, ki sta postavljeni levo in desno od zaslona.

Za dodatno kvalitativno meritev veljavnosti smo razvili funkcionalnost 3D »overlay« prikaza v okolju Unity (Slika 5), kjer se v realnem času 3D skeletna rekonstrukcija nariše čez zajeti video iz kamere. S tem smo zagotovili kakovostno vizualno ujemanje ter omogočili neposredno kvalitativno presojo delovanja sistema v realnih pogojih.

Nadalje smo zgradili uporabniški vmesnik, ki omogoča prikaz parametrov gibanja v realnem času, tako numerično kot grafično. Npr. pri počepih se kot v kolenskem sklepu prikazuje z barvnim stolpčnim indikatorjem (Slika 6), ki označuje dovoljeno in potrebno območje giba. Sistem omogoča spremljanje gibanja leve in desne strani posebej, šteje ponovitve ter ločuje pravilne in nepravilne izvedbe, kar omogoča tudi analizo simetrije gibanja. Skupno je bilo razvitih 10 verzij programskega paketa, ki so bili na tedenski ravni preverjeni v laboratoriju za Biomehaniko in nato preučeni na sestankih s programerji.

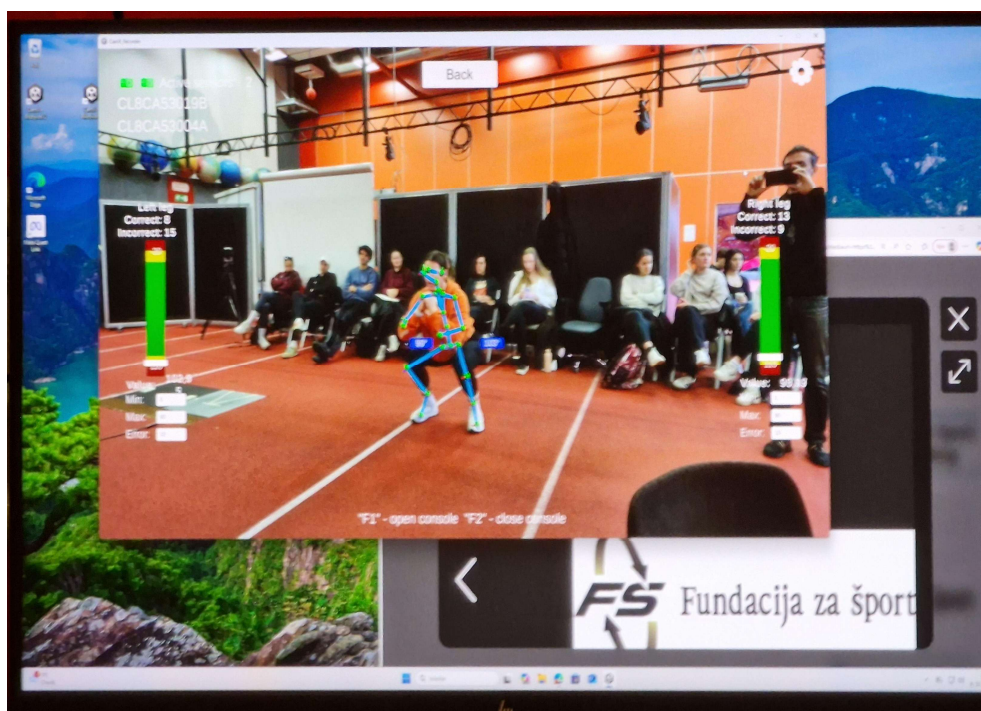
Pripravili smo tudi vlogo za etično komisijo za celoten projekt, ki jo je Komisije za etična vprašanja na področju športa, vadbe in telesne dejavnosti Univerze v Ljubljani Fakultete za šport odobrila dne 4.11.2025 (033-5/2025-20).

V okviru **Faze 4 in 5** smo v sodelovanju s strokovnjaki Fakultete za šport preverjali uporabnost sistema, dopolnjevali funkcionalnosti in z merjenci izvedli testne vadbe. Te so jasno pokazale uporabnost sistema pri učenju pravilne izvedbe. Sistem omogoča takojšnjo zaznavo napačne izvedbe ter s tem sprotno korekcijo, kar se je še posebej izkazalo pri ponovitvah po prekinitvah vadbe ali pri povečanju tempa izvedbe. Razvite funkcionalnosti omogočajo vadečemu vizualno zanesljivo povratno informacijo glede pravilnosti izvedbe, kar doslej v takšni obliki ni bilo na voljo. Na primer, vadeči je na začetku težka dosegal cilje vadbe, po sprotni korekciji sistema pametne vadbe z umetno inteligenco pa je vadeči hitro prišel do pravilne izvedbe, ki jo brez tega sistema trener/strokovnjak najverjetneje sploh ne bi opazil.



Slika 6: Pametna vadba z umetno inteligenco, zgoraj počepi, spodaj sklece. Barvni stolpci na levi in desni strani grafično prikazujejo vrednosti in pravilno izvedbo. Ravno tako so vrednosti še numerično prikazane. Vadeči dobi povratno informacijo pri vsaki izvedeni ponovitvi.

Žal zaradi omejenega financiranja in časovnega okvirja nismo mogli izvesti nadaljevanja projekta v kontekstu vrhunskih športnikov in pripraviti znanstvene objave (**Faza 6**). Vendar smo sistem že uspešno predstavili magistrskim študentom Fakultete za šport, kar predstavlja pomembno okolje z visoko kompetentnimi uporabniki – diplomiranimi kineziologi v procesu nadaljnega strokovnega usposabljanja (Slika 7).



Slika 7: Predstavitev delovanja sistema Pametna vadba z umetno inteligenco magistrskim študentom Fakultete za šport..

Skupno lahko zatrdimo, da smo skoraj v celoti dosegli splošni cilj projekta, saj smo razvili sistem »Pametna vadba z umetno inteligenco« s čimer smo v realnem času omogočili povratno informacijo vadečemu. Sistem se je pokazal za učinkovitega in je pripomogel k pravilni izvedbi vadbe, kar pripomore h kakovostnejšemu trenažnemu procesu z zmanjšanim tveganjem za poškodbe.

Od specifičnih ciljev smo dosegli naslednje cilje:

1. **Pregled in izbor UI-tehnologij za analizo gibanja**
2. **Razvoj pilotnega UI-sistema za spremljanje vadbe**
3. **Preverjanje natančnosti in zanesljivosti sistema**
4. **Pilotna izvedba vadbe na merjencih iz vrst študentov, ki so tudi športniki**

Delno pa smo izvedli tudi cilj:

5. **Evalvacija učinkov UI-podprte vadbe**

Zaradi omejenih sredstev in časa pa nismo dosegli zadnjega cilja.



Zaključek

Projekt, kljub omejenemu času in financam, ocenjujemo kot nadpovprečno uspešen. Vložili smo bistveno več lastnega časa, znanja in sredstev, kot jih je pokrival projekt, kar jasno izkazuje zavezanost k razvoju uporabne tehnologije. Uspešno smo razvili delujoč prototip sistema, ki v realnem času s pomočjo umetne inteligence podaja športnikom informacije o izvedbi vadbe in s tem prispeva k varnejšemu, učinkovitejšemu in bolj individualiziranemu treningu, kar je bil glavni namen in splošni cilj projekta.

Kljub zaključku formalnega financiranja s projektom ne nameravamo zaključiti, saj verjamemo v njegov dolgoročni potencial. Kot je že omenjeno imamo odobritev Komisije za etična vprašanja na področju športa, vadbe in telesne dejavnosti ter bomo na snovi tega nadaljevali z dodatnimi meritvami veljavnosti, nadgradnjo ter širjenjem uporabe sistema v okolju vrhunškega športa, kjer bo tehnologija prispevala k zmanjšanju poškodb in optimizaciji športne uspešnosti, kar je namen tudi znanstveno objaviti kot je bilo načrtovano.

Datum: __9.12.2025__

Kraj: __Ljubljana__