

ТЕХНИЧКО РЕШЕЊЕ

Назив	Софтверски пакет HUMANES- “Human Motion Estimator“ за естимацију људских покрета
Аутори	Марија Радмиловић, Институт „Михајло Пупин“, Универзитет у Београду Бранко Лукић, Електротехнички факултет, Универзитет у Београду
Категорија	Ново техничко решење (метода) примењено на националном нивоу (M82) Доказ: Уговор и потврде о коришћењу
Кључне речи	Системи за снимање људских покрета, имитациони процес, естимација људских покрета

За кога је решење рађено (правно лице или грана привреде):
Техничко решење је рађено за Електротехнички факултет у Београду за потребе реализације пројекта финансираног од стране Фонда за науку
Година када је решење компетирано:
2023
Година када је почело да се примењује и од кога:
Примена техничког решења је почела у 2023. години Корисник: Електротехнички факултет у Београду за потребе реализације пројекта финансираног од стране Фонда за науку
Област и научна дисциплина на коју се техничко решење односи:
Техничко-технолошке науке; информационо-комуникационе технологије
Како су резултати верификовани (од стране ког тела):

Технички елаборат:

- Проблем који се техничким решењем решава
- Стање решености тог проблема у свету
- Опис техничког решења са карактеристикама, укључујући пратеће илустрације и техничке цртеже
- Референце
- Допринос аутора

ТЕХНИЧКИ ЕЛАБОРАТ

Проблем који се техничким решењем решава:

Snimanje ljudskih pokreta nalazi široku primenu u različitim aspektima nauke i tehnike koje uključuju zabavu, sportsku analizu, biomehaniku, virtuelnu stvarnost, robotiku i animaciju. Primarna svrha snimanja pokreta je da uhvati i digitalizuje kretanje ljudi ili objekata u stvarnom svetu, omogućavajući tačnu replikaciju u digitalnom okruženju. U oblasti zabave snimanje ljudskih pokreta je našlo široku primenu u filmskoj industriji i video igricama za kreiranje realističnih animacija likova. Osim zabave, snimanje pokreta se koristi u naučnoj vizualizaciji, inženjerskim simulacijama i drugim poljima gde je potrebno realistično kretanje. U sportskim i medicinskim istraživanjima, snimanje pokreta pomaže u analizi i razumevanju ljudskog pokreta radi poboljšanja performansi ili rehabilitacije. U oblasti robotike, snimanje ljudskih pokreta ima za cilj preslikavanje kretanja čoveka na pokrete kolaborativnih i humanoidnih robota radi bolje integracije robota u ljudsko okruženje, imitacije pokreta čoveka sa robotom ili ostvarivanje kolaborativnih radnji čovek-robot.

Trenutno postoje različiti sistemi za snimanje ljudskih pokreta koji su zasnovani na različitim tehnologijama rada. Postojeća hardverska rešenja za snimanje ljudskih pokreta su podržana sa softverskim alatima koji omogućavaju dobijanje informacija o kretanju markera. Dalja obrada rezultata i estimacija ljudskih pokreta zahteva dodatnu obradu dobijenih podataka. Dodatne obrade podataka zahtevaju i dodatna ulaganja u razvoj softverskih rešenja koji se dodatno plaćaju. U okviru ovog tehničkog rešenja predstavljen je softverski paket HUMANES- "Human Motion Estimator" koji ima za cilj da generiše kretanje čoveka na osnovu snimljenih podataka o kretanju markera dobijenih sa sistema za snimanje pokreta. Softverski paket HUMANES predstavlja univerzalni alat za estimaciju ljudskih pokreta podržavajući podatke dobijene od strane 2 sistema za snimanje ljudskih pokreta: ART ili Vicon sistema. Softverski paket HUMANES je namenjen za istraživačke institucije koje poseduju ART ili Vicon sistem za snimanje pokreta sa osnovnim performansama i daje im mogućnost nadogradnje analize snimljenih podataka i estimaciju kretanje gornjeg dela tela čoveka.

Стање решености тог проблема у свету:

1. Snimanje ljudskih pokreta i sistemi za snimanje ljudskih pokreta

Snimanje ljudskih pokreta napreduje zajedno s razvojem dostupnih tehnologija. Danas postoje mnoge tehnike za snimanje i analiziranje ljudskih pokreta, kao što su inercijalni, optički, magnetski, akustični ili mehanički sistemi. Vrsta sistema za snimanje pokreta koji se koristi zavisi od obima merenja, potrebne rezolucije, karakteristika zabeleženih pokreta i okoline u kojoj se pokret izvodi. Najčešće korišćene tehnike za snimanje ljudskog kretanja su zasnovane na primeni markerima. U poređenju s drugim tehnikama, tehnike zasnovane na markerima ne akumuliraju

greške tokom snimanja, pružaju bolju preciznost i rezoluciju, imaju veći obim merenja i nisu osetljive na elektromagnetna polja i šum. Neki od nedostataka ove vrste sistema za snimanje ljudskih pokreta uključuju duže vreme postavljanje markera na ljudsko telo, nemogućnost direktnog postavljanja markera na ljudski skelet radi boljeg prikupljanja podataka, nedostatak fleksibilnosti u lokaciji za snimanje pokreta i obradu podataka izvan mesta snimanja. Komparativne analize različitih sistema za snimanje pokreta su predstavljene u referencama [1-3]. Snimljeni podaci iz sistema za snimanje pokreta neophodno je dalje procesuirati. Sistemi za snimanje pokreta imaju funkcionalnosti za analizu i obradu podataka sa senzora. U okviru osnovnih funkcija Sistema za snimanje ljudskih pokreta su obrade snimljenih pokreta koje uključuju inicijalizaciju, praćenje, procenu položaja i prepoznavanje trajektorija markera. Najčešće korišćeni sistemi za snimanje ljudskih pokreta baziranih na markerima sa navedenim performansama su Advanced Realtime Tracking i Vicon Motion capture System (MCS).

1.1. Advanced Realtime Tracking (ART) MCS

Sistem za snimanje pokreta Advanced Realtime Tracking (ART) sastoji se od hibridnog odela sa 17 setova markera (rigid body) relativno postavljenih na stopalima, potkolenicama, natkolenicama, ramenima, nadlakticama, podlakticama, šakama, glavi, kukovima, leđima i trupu. Za snimanje pokreta koristi se set od 8 infracrvenih (IR) kamera. Hardver za snimanje pokreta podržan je softverima DTrack i ART Human za praćenje i reprodukciju kretanja markera u virtuelnom okruženju. Softver DTrack prikuplja 2D informacije svake IR kamere i obezbeđuje transformacione matrice koordinatnih sistema (KS) svih markera vezane za delove tela u odnosu na globalni referentni KS. Položaji KS zglobova se procenjuju pomoću preseka KS markera definisanih u odnosu na referentni KS. Orijentacije zglobova su date u odnosu na nepoznate lokalne KS i ne mogu se direktno koristiti. Referentni KS se definiše tokom procesa kalibracije prostorije i povezan je sa površinom poda. ART Human koristi informacije koje pruža DTrack i procenjuje položaj KS zglobova ljudskog tela. Uzorkovanje podataka za akviziciju postavljeno je na 100Hz. Sistem za snimanje pokreta može prepoznati i pronaći odgovarajuće segmente tela aktera u uzastopnim frejmovima i pružiti grafički prikaz aktera (avatera) unutar virtuelnog okruženja. Kinematički model avatera realistično predstavlja ljudsko telo i uključuje 60 stepeni slobode (20 zglobova sa 3 stepena slobode po zglobovu). Segmenti tela avatera modelirani su kao trodimenzionalne elipsoidne strukture i imaju dimenzije segmenta ljudskog tela procenjene pomoću ART Human softvera. Budući da kinematički model ljudskog tela ima manje stepeni slobode od avatera i ima samo nekoliko rotacionih zglobova, pokreti avatera ne mogu se direktno koristiti i mora se usvojiti model sa manje stepeni slobode koji omogućava replikaciju ljudskog pokreta.

1.2. Vicon MCS

Vicon je najpoznatiji brend u oblasti tehnologije snimanja pokreta. Vicon-ovi sistemi uglavnom koriste kamere kako bi pratili kretanje reflektujućih markera postavljenih na objektima ili subjektima. Ovi markeri reflektuju infracrvenu svetlost emitovanu od strane kamera, što omogućava visoko precizno i realno praćenje pokreta. Vicon sistemi su poznati po svojoj visokoj preciznosti i tačnosti, što ih čini pogodnim za širok spektar primena, uključujući film i animaciju, analizu sporta, medicinska istraživanja i analizu industrijskog kretanja. Vicon sistemi pružaju

povratnu informaciju u realnom vremenu, što je ključno za aplikacije kao što su sportski trening i nastupi uživo.

Vicon sistemi su modularni i prilagodljivi kako bi odgovarali različitim potrebama. Korisnici mogu odabrati broj i raspored kamera i markera, kao i softverske alate koji im odgovaraju za njihove specifične aplikacije. Nexus je Vicon-ov softverski paket koji je dizajniran za upravljanje, obradu i analizu podataka iz MCS. Ovaj softver omogućava korisnicima da obrade, označe i analiziraju podatke o pokretu, a integriše se i sa softverima za animaciju i 3D modeliranje. Nexus pruža povratnu informaciju u realnom vremenu tokom sesija snimanja pokreta markera, omogućavajući korisnicima da prate i prilagode postavke po potrebi. Nexus nudi niz alata za analizu podataka o pokretu. Korisnici mogu izvoziti podatke o snimanju pokreta markera u različitim formatima za dalju analizu ili upotrebu u softverskim aplikacijama trećih strana, kao što su softveri za 3D animaciju i modeliranje.

2. Imitacioni proces

Informacije dobijene iz MCS koriste se za definisanje karakteristika ljudskog tela i njegovih pokreta u procesu imitacije. Postoji mnogo sistema za snimanje ljudskih pokreta koji proizvode različito strukturirane izlazne podatke, često pružajući informacije o 3D pozicijama markera (Vicon MCS) ili poziciji i orijentaciji seta markera (ART MCS). Takođe, ovi MCS-ovi pružaju 3D reprezentacije modela ljudskog tela (avata) koje se čuvaju u različitim formatima, zavisno o vrsti MCS-a, što otežava razmenu modula avata u celokupnom kinematičkom modelu ljudskog tela. Na osnovu podataka dobijenih snimanjem pokreta ljudi, proces imitacije može se definisati u prostoru spoljašnjih ili unutrašnjih koordinata [4]. U prostoru spoljašnjih koordinata snimaju se pokreti segmenata i zglobova ljudskog tela i uz odgovarajući kinematički model ljudskog tela može se rekonstruisati pokret. U prostoru unutrašnjih koordinata, cilj je omogućiti repliciranje pokreta zglobova ljudskog tela, kroz uglove u zglobovima, prateći konfiguraciju ljudskog tela. Za imitaciju pokreta ljudskog tela sa dve ruke u kontaktnim zadacima, što zahteva da robot interaguje s okolinom koristeći svoje ruke i ima ponašanje slično ljudskom pokretu, proces imitacije mora uključivati proces imitacije pokreta ljudskog tela u prostoru unutrašnjih i spoljašnjih koordinata.

Problem imitacije ljudskog pokreta na kinematičkom nivou rešavali su Ude et al. [5, 6]. Oni su predložili metod za transformaciju snimljene 3D pozicije markera u visokodimenzionalne putanje zglobova humanoidnog robota na osnovu "twist" reprezentacije. Ljudsko telo je modelirano kao skalirani model humanoidnog robota. Ustanovili su odnose između pokreta zglobova robota i pokreta markera koristeći "B-spline wavelets" i tehnike optimizacije velike skale. Metod je primenjen na humanoidnom robotu nazvanom DB.

Gärtner et al. [7] su predstavili algoritam za imitaciju koji može mapirati snimljeni pokret ljudskog tela na pokret robota koristeći pokrete stvarnih i virtualnih markera. Virtualni markeri su definisani kao fiksne i unapred označene tačke na površini antropomorfog modela. Njihov algoritam je definisan kao dve nelinearne optimizacione funkcije sa ograničenjima. U prvom koraku se prenosi prethodno snimljeni pokreti markera na pokret modela Master Motor Map (MMM), koristeći sekvencijalni kvadratni programski pristup. U drugom koraku, se vrši transformacija pokreta

MMM modela u pokret humanoidnog robota ARMAR-III. Mera sličnosti pokreta humanoida i generisanog pokreta MMM modela izračunata je korišćenjem Levenberg-Marquardt pristupa. Dobijeni pokreti humanoida imitiraju prethodno snimljene ljudske pokrete.

Ayusawa et al. [8, 9] su predložili metod za simultano identifikaciju geometrijskih parametara modela ljudskog skeleta na osnovu računanja gradijenta i Newton-Euler metode. Takođe su preslikali ljudski pokret u pokret humanoidnog robota koristeći informacije o snimljenoj poziciji markera. Funkcija evaluacije za reprodukciju ljudskog pokreta predstavlja razliku između izmerene pozicije markera u datom trenutku i pozicije markera pričvršćenih na model ljudskog tela, koja zavisi od uglova zglobova i dimenzija segmenata. Kako bi definisali geometrijske parametre kao što su dužine segmenata i pozicija markera u odnosu na segmente robota, uveli su tzv. translacione zglobove čije vrednosti ostaju nepromenjene tokom celog pokreta.

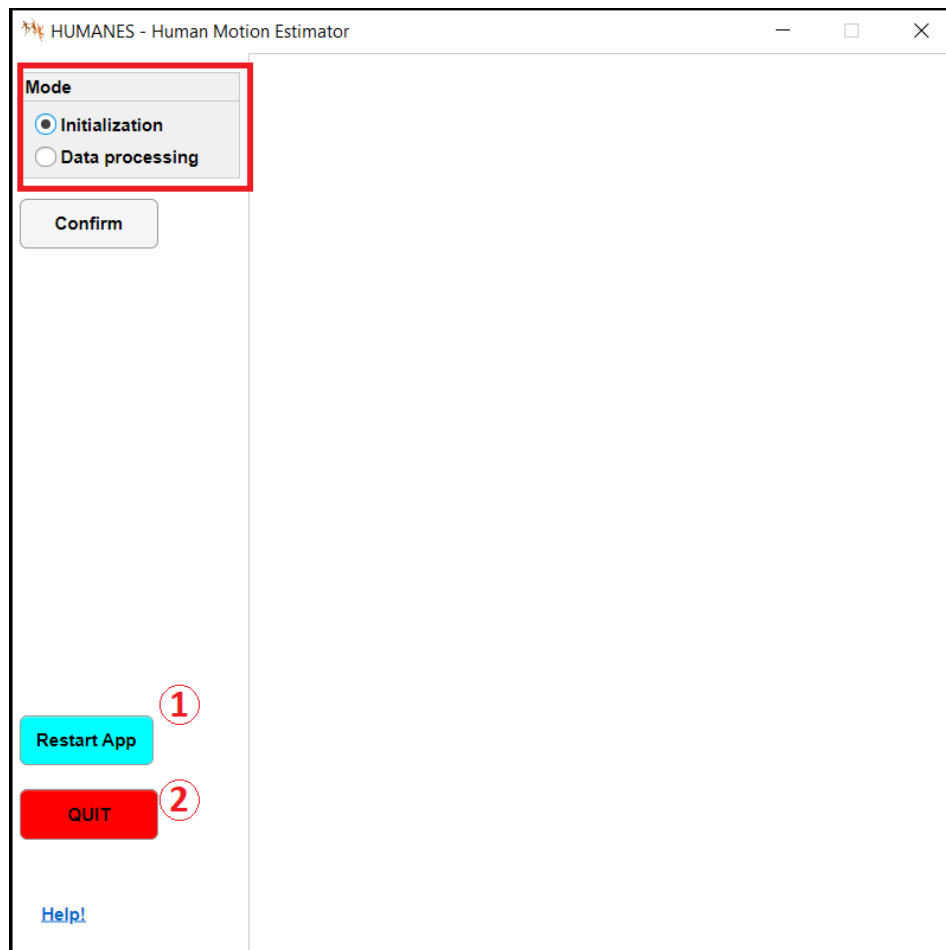
Imitacija snimljenih pokreta u većini slučajeva ne predstavlja jedan-na-jedan preslikavanje ljudskog pokreta na pokret robota. Broj stepeni slobode, opseg pokreta zglobova i ostvarive brzine zglobova današnjih humanoidnih robota su znatno ograničeniji u odnosu na prosečnog ljudskog subjekta. U vezi s tim, Pollard je u svojim radovima predstavio algoritam za imitaciju koji uzima u obzir sve ove ograničenja robota i izvodi kvalitetnu imitaciju [10, 11].

U radu [12] je dizajniran i razvijen novi sveobuhvatan sistem za imitaciju celog tela u realnom vremenu za humanoidne robote. Kako bi se mapirali ljudski pokreti na robota, predložena je analitička metoda nazvana geometrijska analiza zasnovana na vektorskim vezama i virtuelnim zglobovima (GA-LVVJ) za mapiranje ljudskih pokreta na robota na osnovu posmatranih ljudskih podataka. Vektorski nizovi su konstruisani prema snimljenim tačkama skeleta, a virtuelni zglobovi su postavljeni prema vektorskim nizovima i zglobovima robota. Koordinatni sistem za svaki segment skeleta čoveka je definisan kako bi se izračunala pozicija i orijentacija segmenta. Uglovi u zglobovima su izračunati primenom strukturalne analize susednih zglobova. Ovaj algoritam je testiran za režim dvostrukog oslonca, režim jednostrukog oslonca i režim hodanja. Ravnoteža se kontroliše u svakom režimu, a stabilnost sistema omogućava robotu da izvodi neke komplikovane zadatke u realnom vremenu.

Imitacioni proces je našao primenu i u postupcima rehabilitacije u obliku simulacionih softvera. Fok et al. [13] su predložili imitacioni algoritam korišćenjem optimizacione funkcije za generisanje ljudskog pokreta, ali ih nisu mapirali na robota. Njihova studija imala je za cilj da ispita kako će rame funkcionisati nakon operacije i kako će se kinematika i napor mišića promeniti nakon operacije. Umesto stvaranja biomimetičkog profila pokreta za robota, svrha je bila proučavanje ljudskog tela kroz simulaciju. Menichtas et al. [14] su napravili robotski model ljudskog tela koristeći Lijevu algebru. Na osnovu snimljenih podataka ljudskog tela izdvojeni su parametri, kao što su dužine segmenata i centri zglobova, da bi se kreirao model robota i izračunali uglovi zglobova za analizu različitih zadataka u svakodnevnim aktivnostima čoveka.

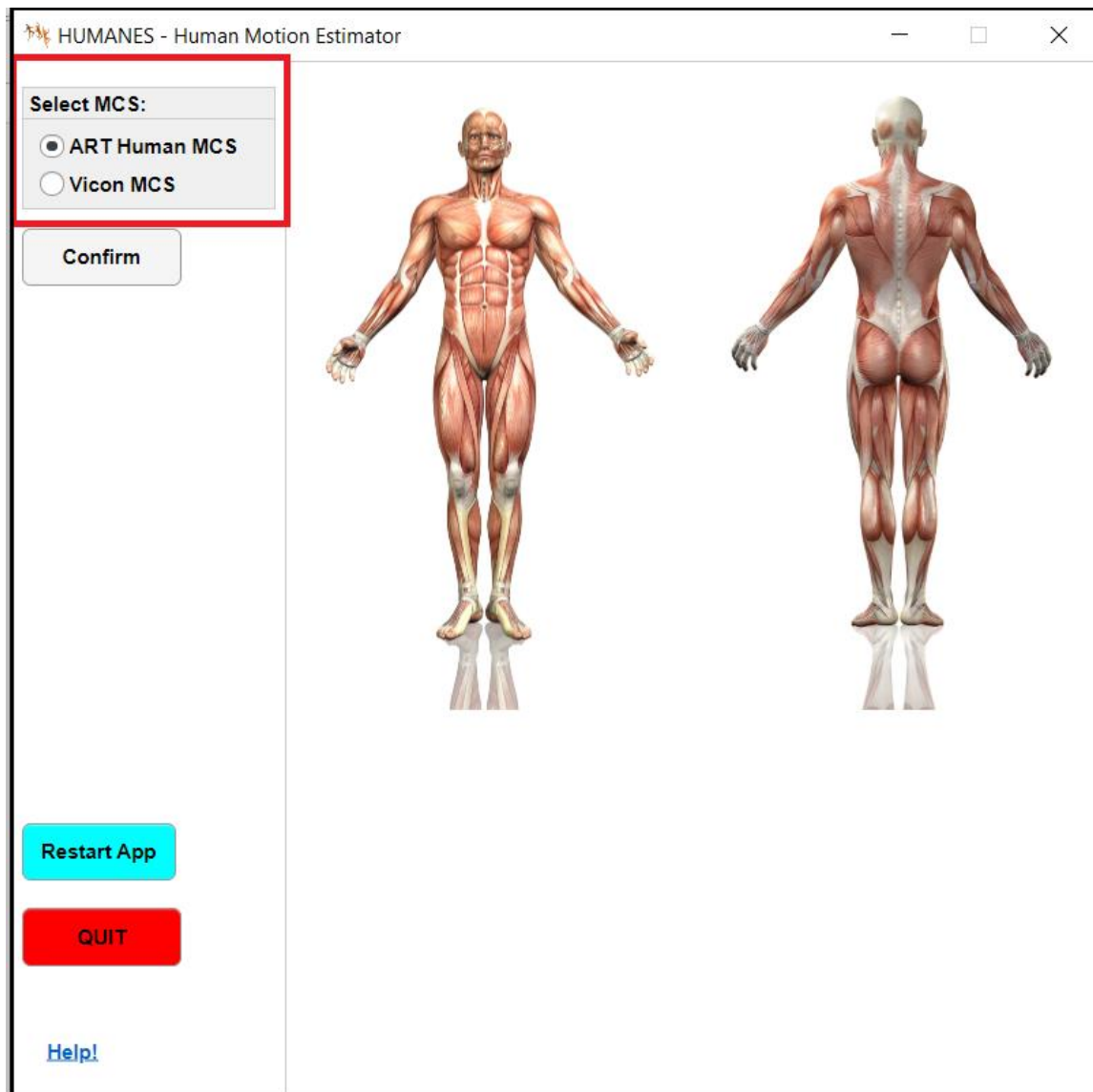
Опис техничког решења са карактеристикама, укључујући пратеће илустрације и техничке цртеже:

Ovo tehničko rešenje, predlože softverski paket Human Motion Estimator - HUMANES za generisanje pokrete čoveka u prostoru unutrašnjih koordinata koristeći podatke dobijene od strane različitih MCS. Aplikacioni softver je razvijen za ART i Vicon MCS. Ovo tehničko rešenje se sastoji od korisničkog interfejsa za definisanje osnovnih parametara kretanja čoveka i algoritama koji ih izračunavaju. Softverski paket se pokreće klikom na ikonu HUMANES.exe. Pokretanjem korisničkog interfejsa, korisnik je u mogućnosti da izabere dva moda rada: inicijalizaciju pritiskom odabirom opcije **Initialization** ili pokretanje algoritama za generisanje ljudskih pokreta odabirom opcije **Data Processing** (Slika 1). Pritiskom na dugme **Restart App** (Slika 1(1)), korisnik je u mogućnosti da se u bilo kom trenutku vrati na početak korisničkog interfejsa i započne željene aktivnosti iznova. Pritiskom na dugme **QUIT** (Slika 1(2)), korisnik je u mogućnosti da isključi korisnički interfejs.



Slika 1. HUMANES korisnički interfejs sa listom modova **Initialization** i **Data processing**

Na samom početku potrebno je da korisnik selektuje mod **Initialization** i pritisne dugme **Confirm** kako bi bio u mogućnosti da odabere koji tip sistema za snimanje pokreta će koristiti ART ili Vicon MCS (slika 2).

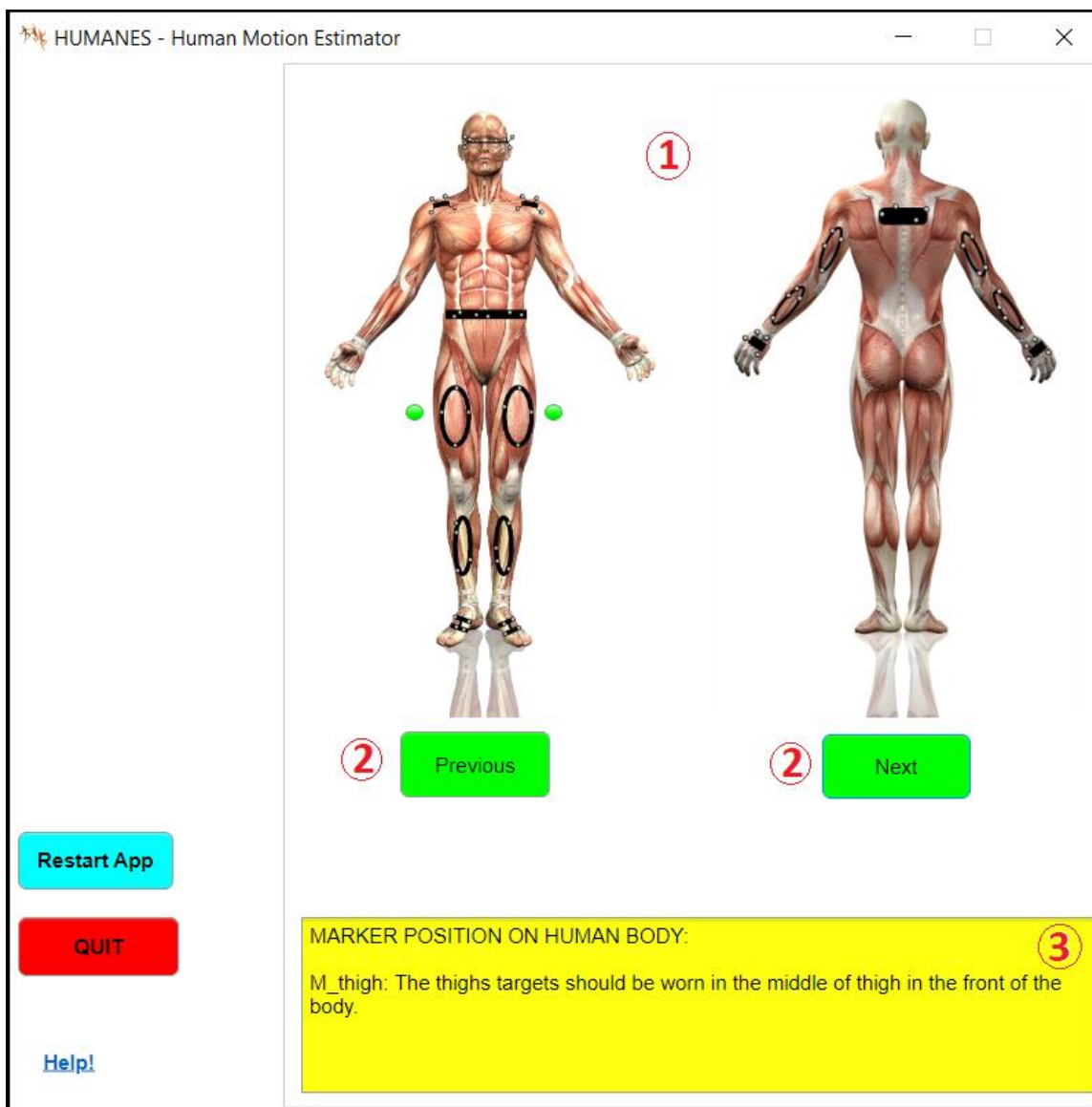


Slika 2. HUMANES korisnički interfejs sa listom MCS

Klikom na željeni MCS pa na dugme **Confirm**, korisnik odabira sistem koji koristi. U zavisnosti od izabranog MCS, korisnik je u mogućnosti da još jednom prođe kroz inicijalne korake postavljanja markera i definisanje inicijalnog položaja čoveka kroz sledeće korake:

Korak 1: Na samom početku korisnik treba da proveli da li su sve relevantne informacije za generisanje pokreta čoveka na adekvatan način snimljene. Sa desne strane korisničkog interfejsa prikazana je slika ljudskog tela sa prednje i zadnje strane sa pozicijama svih markera tela relevantnih za generisanje pokreta čoveka (slika 3(1)). Pritiskom na dugmad **Next** i **Previous**

korisnik je u mogućnosti da odabere željeni marker (zelene tačkice pokazuju trenutno izabran marker).

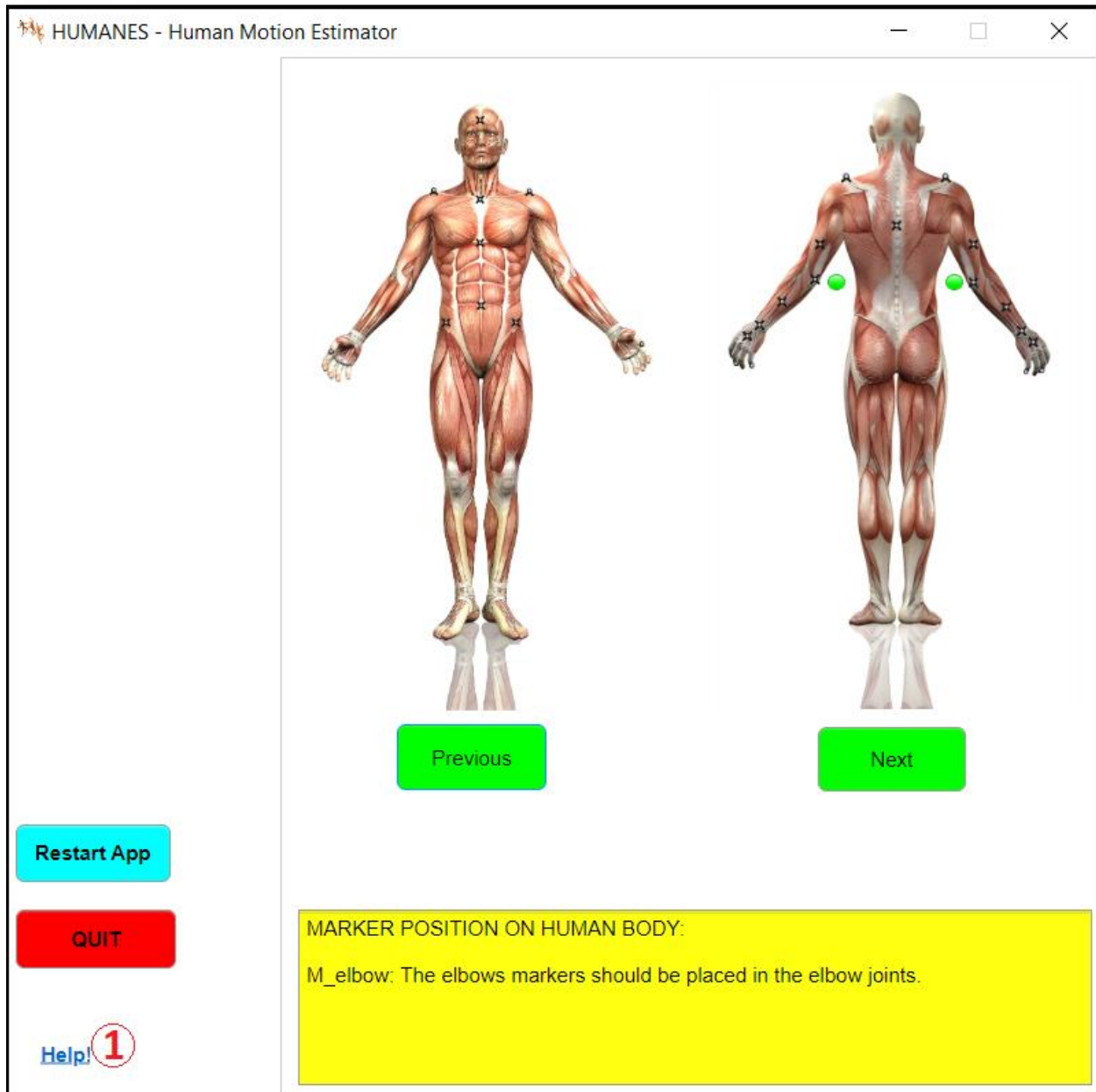


Slika 3. Ljudsko telo sa pozicijama markera (1); Dugmad za selekciju markera (2); dijalog boks sa detaljnim opisom pozicije markera na ljudskom telu (3). Pozicija markera je predstavljena za ART MCS

Klikom na svaki marker korisnik dobija detaljnije informacije o tačnoj poziciji postavljenog markera na ljudskom telu koji je dat u dijalog boksu (Slika 3(3)). Kako bi MCS-i precizno i tačno radili potrebno je da:

- U slučaju ART MCS-a, 17 setova markera budu postavljeni na tačno određenim lokacijama po celom telu aktera kako je naznačeno, prilazano i detaljno objašnjeno u aplikaciji (slika 3(3)).

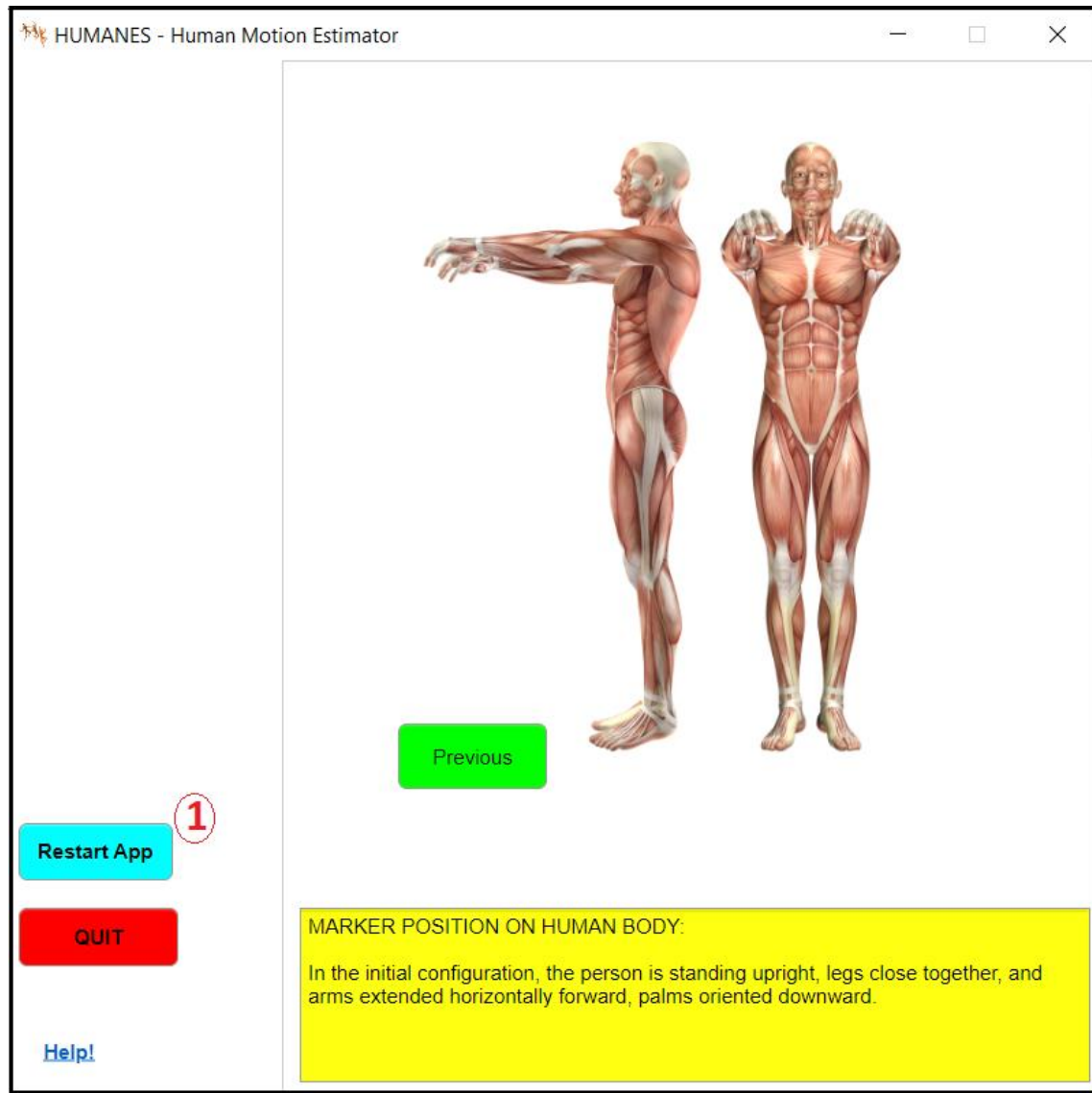
- U slučaju Vicon MCS-a, 25 florescentnih markera treba da bude postavljeno na gornjem delu tela kako je naznačeno i detaljno objašnjeno u korisničkom interfejsu (slika 4).



Slika 4. Ljudsko telo sa pozicijama markera predstavljenih za ART MCS

Detaljnim upustvima za pravilnu upotrebu MCS-a i skladištenje podataka može se pristupiti preko linkova pritiskom na dugme [Help!](#) u korisničkoj aplikaciji (Slika 4(1)). Ako je korisnik siguran da su svi marker postavljeni na tačno određenu lokaciju i da je protokol snimanja uradjen u skladu sa upustvom datom od strane proizvođača MCS-a, algoritam za estimaciju pokreta čoveka može biti aktiviran.

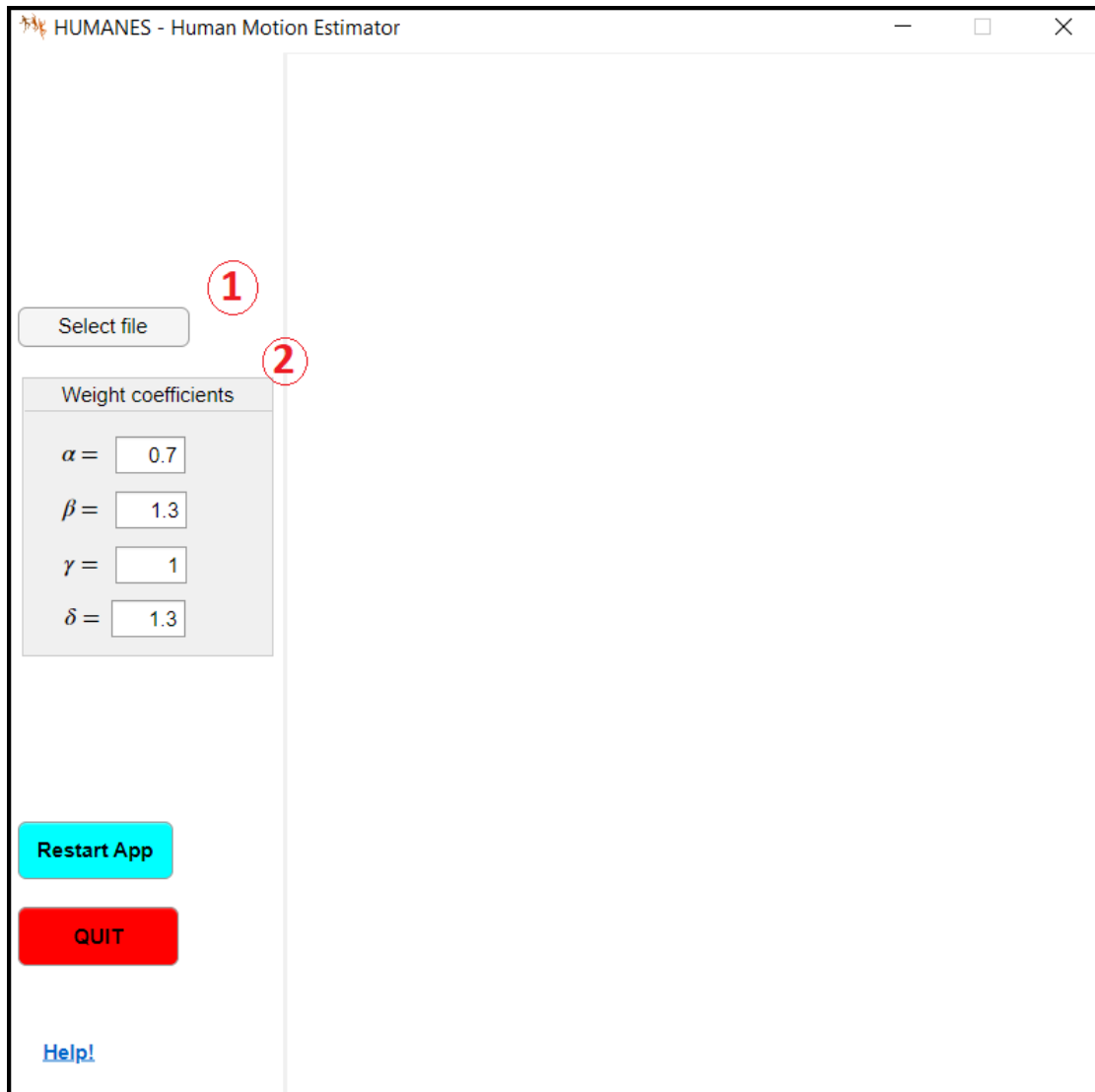
Korak 2: Proces inicijalizacije ima za cilj da definiše inicijalnu konfiguraciju aktera kako bi se kinematski model čoveka precizno skalirao na dimenzije aktera i omogućio najpreciznija estimiranje pokreta. U aplikaciji je predstavljena inicijalna konfiguracija (ruke su horizontalno ispružene napred u visini ramena sa dlanovima okrenutim ka podu) koju akter treba da zauzme na početku svakog snimanja. Ova inicijalna konfiguracija je precizno definisana i lako ostvarljiva (Slika 5).



Slika 5. Prikaz inicijalne konfiguraciju aktera sa detaljnim opisom u dialog boksu

Nakon procesa inicijalizacije koji obuhvata uspešno postavljanjenih markera, ostvarene inicijalne pozicije na početku pokreta i snimanja pokreta uz pomoć MCS, imitacioni proces za generisanje ljudskih pokreta se može pokrenuti.

Pritiskom na dugme **Restart App** (Slika 5(1)) korisnik se vraća u početni meni korisničkog interfejsa (Slika 1) i može pristupiti obradi podataka kroz imitacioni process izborom modula **Data processing**.



Slika 6. HUMANES korisnički interfejs moduo **Data processing**

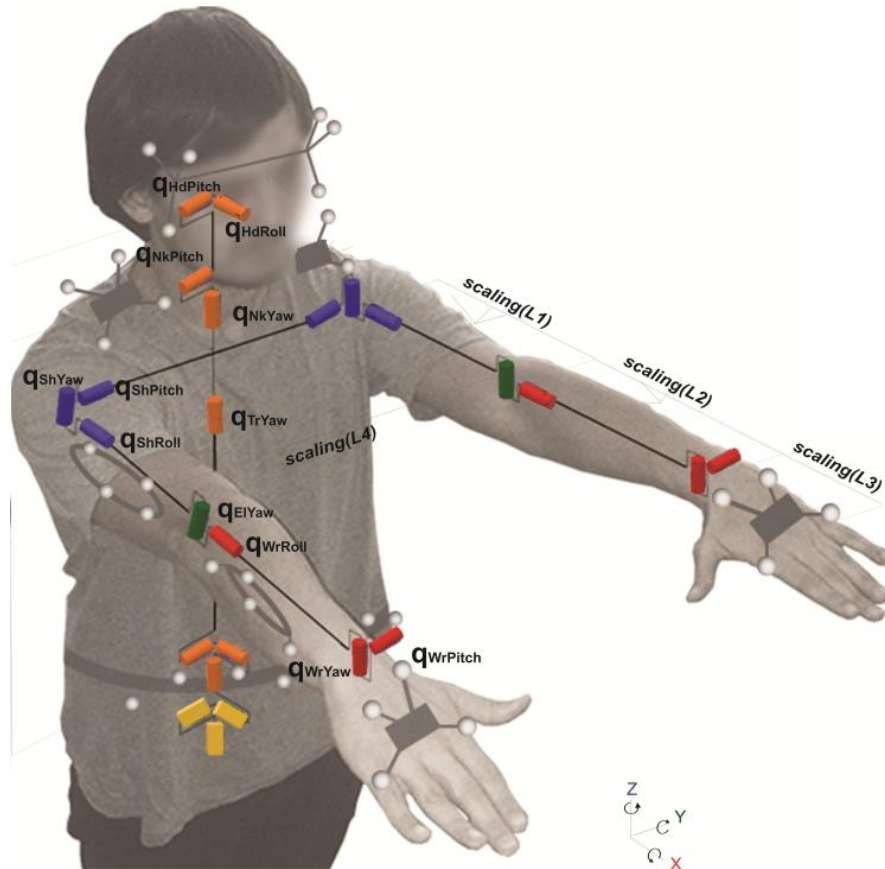
Odabirom željenog MCS-a, korisnik je u mogućnosti da odabere i učita snimljene podatke sa MCS-a pritiskom na dugme **Select File** (Slika 6(1)) i da podesi težinske koeficijente imitacionog process α , β , γ i δ (Slika 6(2)). Imitacioni process se automatski pokreće nakon učitavanja podataka, a rezultati se prikazuju u korisničkom interfejsu.

U okviru imitacionog procesa definisana su dva algoritma koja su univerzalna za oba MCS-a I pokreću se kroz korisnički interfejs:

1. Inicijalizacioni algoritam
2. Imitacioni algoritam

Inicijalizacioni algoritam

Budući da je izuzetno zahtevno kreirati model za svakog pojedinačnog čoveka, usvojen je kinematski model gornjeg dela ljudskog tela (KM) prikazanog na Slici 7 kao univerzalni model.



Slika 7. Univerzalni kinematski model gornjeg dela ljudskog tela

KM ljudskog tela je korišćen u imitacionom algoritmu sa ciljem da se generišu sve informacije u čovekovom kretanju u prostoru unutrašnjih koordinata. Dimenzije kinematskog modela čoveka potrebno je skalirati na dimenzije veličina ljudskih segmenata. Za potrebe procesa skaliranja inicijalna konfiguracija je korišćena. Pozicije zglobova u inicijalnoj konfiguraciji dobijena iz MCS su korišćene za estimiranje dužine segmenata u procesu skaliranja. Dimenzije segmenata su izračunate preko Euklidske udaljenosti između dva susedna zgloba, koristeći podatke dobijene kroz više semplova snimanja dok je akter u inicijalnoj konfiguraciji. Dimenzije uparenih segmenata koji se nalaze s leve i desne strane tela pretpostavljaju se identičnim i izračunate su uzimajući srednju vrednost procenjenih dimenzija segmenata s desne i leve strane. Položaj i orijentacija markera fizički pričvršćenih za telo aktera (Realni Markeri) poznati su i izračunavaju se softverom MCS. Kako bi se koordinatni sistemi Realnih Markera pričvrstili za KM ljudskog tela, inicijalna konfiguracija sa početka pokreta dok akter miruje je korišćena. Pošto se KM postavlja na inicijalnu konfiguraciju ljudskog tela skaliranu na dimenzije aktera, koordinatni sistemi Realnih Markera se lako replikiraju na KM čoveka. Ovi koordinatni sistemi se u daljem tekstu nazivaju se

Virtuelni Markeri. Koordinatni sistemi Virtuelnih Markera definišu se kao fiksirani i unapred obeleženi koordinatni sistemi na površini KM koji se postavljaju unapred. Koordinatni sistemi Virtuelnih Markera se definišu prema koordinatnim sistemima Realnih Markera u početnoj konfiguraciji tokom procesa inicijalizacije i koriste se u imitacionim algoritmima kako bi se sa njima pratilo kretanje Realnih Markera tokom vremena. Proces preslikavanja inicijalne konfiguracije aktera na KM i postavljanje koordinatnih sistema Virtuelnih Markera je izvršen tokom procesa inicijalizacije predstavljenog kroz **Algoritam 1**.

Počevši od osnovne konfiguracije KM q_{basic} , za koju su vrednosti uglova u svim zglobovima jednaki 0 (slika 6), pozicije zglobova skaliranog kinematskog modela čoveka (SKM) treba da odgovaraju snimljenim pozicijama zglobova aktera. Pozicija zglobova aktera je uzete od $t_{i=1}$ do $t_{i=n_{init}}$ vremenskih instance tokom inicijalne konfiguracije aktera. Orijentacija šaka aktera (distalnih zglobova) u inicijalnoj konfiguraciji je preslikana na SKM bez izmene. Shodno tome kriterijumska funkcija koja opisuje proces inicijalizacije i računa inicijalnu konfiguraciju SKM q_{init} je predstavljena jednačinom (1):

$$\min_{q_{init}} \left(\left\| \begin{array}{l} \bar{P}_{ajLeftShoulder} - P_{rjLeftShoulder}(q_{init}) \\ \bar{P}_{ajRightShoulder} - P_{rjRightShoulder}(q_{init}) \\ \bar{P}_{ajLeftElbow} - P_{rjLeftElbow}(q_{init}) \\ \bar{P}_{ajRightElbow} - P_{rjRightElbow}(q_{init}) \\ \bar{P}_{ajLeftWrist} - P_{rjLeftWrist}(q_{init}) \\ \bar{P}_{ajRightWrist} - P_{rjRightWrist}(q_{init}) \\ \Delta \vec{e}_{rjLeftWrist}(q_{init}) \\ \Delta \vec{e}_{rjRightWrist}(q_{init}) \end{array} \right\|^2 \right) \quad (1)$$

gde \bar{P}_{aj_n} predstavlja srednju vrednost pozicije zglobova aktera $P_{aj_n}(t_{i=1..n_{init}})$ $n \in \{LeftShoulder, RightShoulder, LeftElbow, RightElbow, LeftWrist, RightWrist\}$ tokom n_{init} vrenenskih instanci u inicijalnoj konfiguraciji, $P_{r_n}(q_{init})$ je trenutna pozicija SKM, $\Delta \vec{e}_{rjh}$ je greška u orijentaciji šaka $h \in \{LeftWrist, RightWrist\}$ aktera i SKM u inicijalnoj konfiguraciji. Orijentacija šaka predstavljena preko rotacione matrice $R_{rjh}(q)$ je izražena u formi kvaterniona:

$$Q_{rjh}(q) = \begin{bmatrix} Q^1_{rjh}(q) & Q^2_{rjh}(q) & Q^3_{rjh}(q) & Q^4_{rjh}(q) \end{bmatrix}$$

Greška u orijentaciji $\Delta \vec{e}_{rjh}(q_{init})$ je izračunata korišćenjem jednacine:

$$\Delta \vec{e}_{rjh}(q_{init}) = \eta_{rjh}(q_{init}) \cdot \vec{e}_{rjh}(q_{basic}) - \eta_{rjh}(q_{basic}) \cdot \vec{e}_{rjh}(q_{init}) - S(\vec{e}_{rjh}(q_{basic})) \cdot \vec{e}_{vm_{rjh}}(q_{init}) \quad (2)$$

Gde je $\eta_{rjh} = Q^1_{rjh}(q)$, $\bar{e}_{rh} = [Q^2_{rh}(q) \ Q^3_{rjh}(q) \ Q^4_{rjh}(q)]^T$, i $S(\cdot)$ je skew-symmetric vektorski operator.

Uzimajući u obzir da je kod ART MCS orijentacija seta markera poznata, dobijene transformacione matrice iz MCS su direktno korišćene u jednačini 1. Sa druge strane za slučaj Vicon MCS koju daje informaciju o 3D poziciji markera, bez informacije o orijentaciji, transformaciona matrica svakog od markera je generisana dodavanjem rotacionog dela u obliku jedinične matrice.

Početni pogodak za optimizacionu funkciju je q_{basic} . Zglobovi ramena, laktova i šaka su korišćeni u algoritmu, dok su zglobovi glave, trupa i vrata fiksni.

Inicijalna konfiguracija q_{init} je bitna za precizno inicijalno pozicioniranje Virtuelnih Markera na SKM i njihovog povezivanja sa zglobovima SKM. Koordinatni sistemi Virtuelnih Markera (sa transformacionom matricom T_{vmj}), su postavljeni na SKM i povezani sa najbližim proksimalnim koordinatnim sistemom zgloba $T_{rjn}(q_{init})$ preko transformacione matrice ${}^{rjn}T_{vmj}$. Virtuelni Markeri sa proksimalnim zglobovima SKM-a su upareni na sledeći način:

$$\left\{ T_{rjLeftSholder, T_{vmLeftUpperArm}} \right\}, \left\{ T_{rjRightSholder, T_{vmRightUpperArm}} \right\}, \left\{ T_{rjLeftElbow, T_{vmLeftForeArm}} \right\}$$

$$\left\{ T_{rjRightElbow, T_{vmRightForeArm}} \right\}, \left\{ T_{rjLeftWrist, T_{vmLeftHand}} \right\}, \left\{ T_{rjRightWrist, T_{vmRightHand}} \right\}$$

Transformaciona matrica Virtuelnih Markera u inicijalnoj konfiguraciji se izračunava kao srednja vrednost transformacione matrice Realnih Markera $T_{rmj}(t_{i=1..n_{init}})$ u n_{init} vremenskih instanci.

Transformaciona matrica ${}^{rjn}T_{vmj}$ je izračunata za svaki par zglob-marker i ostaje nepromenjena tokom imitacionog algoritma.

Inicijalizacioni algoritam je predstavljen kroz devet koraka u **Algoritam 1**:

Algoritam 1 Inicijalizacioni algoritam

1. **Inicijalizacija:** $q_{basic}, n_{init}, P_{aj}(t_i), T_{rm}(t_i)$, kinematski model čoveka
 2. **Proces skaliranja:** dužina segmenata, skaliranje KM $\leftarrow P_{aj}(t_{i=1..n_{init}})$
 3. $T_{rj}(q_{basic}) \leftarrow DirectKinematics(q_{basic})$
 4. $P_{rj}(q_{basic}), R_{rj}(q_{basic}) \leftarrow T_{rj}(q_{basic})$
 5. $\bar{P}_{aj} \leftarrow mean(P_{aj}(t_{i=1..n_{init}}))$
 6. Optimizacioni algoritam: **fmincon**
 $q_{init} \leftarrow fmincon(\text{kriterijumska funkcija (vidi Jed.(1)), } q_{basic})$
 7. $\bar{T}_{rm} \leftarrow mean(T_{rm}(t_{i=1..n_{init}}))$
-

-
8. $T_{vm} = \bar{T}_{rm}$
 9. ${}^{rj_n}T_{vm_l} = \text{inv}(T_{rj_n}(q_{init}))T_{vm_l}$ gde je
 $l \in \{LeftUpperArm, RightUpperArm, LeftForeArm, RightForeArm, LeftHand, RightHand\}$ i
 $n \in \{LeftShoulder, RightShoulder, LeftElbow, RightElbow, LeftWrist, RightWrist\}$
-

Imitacioni algoritam

Imitacioni algoritam predstavlja optimizacioni algoritam za izračunavanje kretanja čoveka u prostoru unutrašnjih koordinata na osnovu snimljenih pokreta MCS-om. Imitacioni algoritam je formulisan kao optimizacioni algoritam (jednačina 3) koji izračunava unutrašnje koordinate u zglobovima SKM $q_{imitation}(t_i)$ u svakom odbirku u trenutku t_i , gde je $i \in [1 \dots N]$, N predstavlja broj odbiraka snimljenog pokreta.

$$q_{imitation}(t_i) = \min_q(\zeta) \quad (3)$$

Kriterijumska funkcija koju imitacioni algoritam treba da minimizuje se sastoji od greške u praćenju pozicija zglobova SKM P_{ij} i aktera P_{aj} ; grešku u praćenju pozicije Realnih Markera P_{rm} sa Virtuelnim Markerima P_{vm} ; i greške u orijentaciji između Realnih R_{rm} i Viturlnih Markera R_{vm} predstavljenih u jednačinama (4) i (5). Uzimajući u obzir da je preciznost estimacije orijentacije sa MCS manja u odnosu na estimaciju pozicije, samo orijentacija distalnih segmenata je uzeta u obzir i uključena u imitacioni algoritam.

Optimizaciona funkcija je predstavljena relacijom (4):

$$\zeta = \|\varepsilon(t_i, q)\|^2 \quad (4)$$

gde

$$\varepsilon(t_i, q) = \begin{bmatrix} \alpha(\vec{P}_{rm}(t_i) - \vec{P}_{vm}(q)) \\ \beta(\vec{P}_{aj}(t_i) - \vec{P}_{rj}(q)) \\ \gamma(\Delta\vec{e}_{rvmLeftHand}(t_i, q)) \\ \gamma(\Delta\vec{e}_{rvmRightHand}(t_i, q)) \\ \delta(P_{ajLeftHand}(t_i) - P_{rjLeftHand}(q)) \\ \delta(P_{ajRightHand}(t_i) - P_{rjRightHand}(q)) \\ P_{ajBody}(t_i) - P_{rjBody}(q) \end{bmatrix} \quad (5)$$

Gde su α, β, γ i δ težinski faktori, $\bar{P}_{rm}(t_i)$ i $\bar{P}_{aj}(t_i)$ su vektori snimljenih pozicija Realnih Markera i zglobova aktera u vremenskom semplu t_i , respektivno, $\bar{P}_{vm}(q)$ i $\bar{P}_{rj}(q)$ su vektori pozicije Virtualnih Markera i pozicije zglobova SKM u trenutnoj konfiguraciji unutrašnjih koordinata q ; $P_{ajLeftHand}(t_i)$ i $P_{ajRightHand}(t_i)$ su pozicije levog i desnog zgloba šake aktera u trenutku t_i , respektivno, $P_{rjLeftHand}(q)$ i $P_{rjRightHand}(q)$ su pozicije levog i desnog zgloba šake SKM u trenutnoj konfiguraciji unutrašnjih koordinata q ; $P_{ajBody}(t_i)$ je pozicija zgloba tela aktera u vremenskom semplu t_i , $P_{rjBody}(q)$ je pozicija zgloba tela SKM (q_{Traw}) u trenutnoj konfiguraciji unutrašnjih koordinata q ; $\Delta\bar{e}_{rvmLeftHand}$ i $\Delta\bar{e}_{rvmRightHand}$ su greške u praćenju orijentacije između Realnih i Virtualnih Markera zakačenih na levu i desnu šaku u trenutku t_i i u trenutnoj konfiguraciji unutrašnjih koordinata q , respektivno. Greška u orijentaciji je predstavljena preko kvaterniona. Rotacione matrice, $R_{rmLeftHand}(t_i)$ i $R_{vmLeftHand}(q)$ (koje predstavljaju orijentaciju Realnih i Virtualnih Markera leve šake, respektivno) su preko kvaterniona predstavljene kao:

$$Q_{rmLeftHand} = \begin{bmatrix} Q^1_{rmLeftHand}(t_i) & Q^2_{rmLeftHand}(t_i) & Q^3_{rmLeftHand}(t_i) & Q^4_{rmLeftHand}(t_i) \end{bmatrix}$$

$$Q_{vm} = \begin{bmatrix} Q^1_{vmLeftHand}(q) & Q^2_{vmLeftHand}(q) & Q^3_{vmLeftHand}(q) & Q^4_{vmLeftHand}(q) \end{bmatrix},$$

respektivno, gde je

$$\eta_{rmLeftHand} = Q^1_{rmLeftHand}(t_i), \bar{e}_{rmLeftHand} = \begin{bmatrix} Q^2_{rmLeftHand}(t_i) & Q^3_{rmLeftHand}(t_i) & Q^4_{rmLeftHand}(t_i) \end{bmatrix}^T,$$

$$\eta_{vmLeftHand} = Q^1_{vmLeftHand}(q), \bar{e}_{vmLeftHand} = \begin{bmatrix} Q^2_{vmLeftHand}(q) & Q^3_{vmLeftHand}(q) & Q^4_{vmLeftHand}(q) \end{bmatrix}^T.$$

Greška u praćenju orijentacije $\Delta\bar{e}_{rvmLeftHand}$ je izračunata korišćenjem relacije:

$$\Delta\bar{e}_{rvmLeftHand}(t_i, q) = \eta_{vmLeftHand}(q) \cdot \bar{e}_{rmLeftHand}(t_i) - \eta_{rmLeftHand}(t_i) \cdot \bar{e}_{vmLeftHand}(q) - S(\bar{e}_{rmLeftHand}(t_i)) \cdot \bar{e}_{vmLeftHand}(q) \quad (4)$$

Greška u praćenju orijentacije desne šake $\Delta\bar{e}_{rvmRightHand}$ je izračunata na isti način.

1. U slučaju korišćenja ART MCS vektori $\bar{P}_{rm}(t_i)$, $\bar{P}_{aj}(t_i)$, $\bar{P}_{vm}(q)$ i $\bar{P}_{rj}(q)$ su predstavljeni relacijama:

$$\bar{P}_{rm}(t_i) = \begin{bmatrix} P_{rmLeftUpperArm}(t_i) \\ P_{rmRightUpperArm}(t_i) \\ P_{rmLeftForeArm}(t_i) \\ P_{rmRightForeArm}(t_i) \\ P_{rmLeftHand}(t_i) \\ P_{rmRightHand}(t_i) \end{bmatrix}; \bar{P}_{vm}(q) = \begin{bmatrix} P_{vmLeftUpperArm}(q) \\ P_{vmRightUpperArm}(q) \\ P_{vmLeftForeArm}(q) \\ P_{vmRightForeArm}(q) \\ P_{vmLeftHand}(q) \\ P_{vmRightHand}(q) \end{bmatrix}; \bar{P}_{aj}(t_i) = \begin{bmatrix} P_{ajLeftShoulder}(t_i) \\ P_{ajRightShoulder}(t_i) \\ P_{ajLeftElbow}(t_i) \\ P_{ajRightElbow}(t_i) \end{bmatrix}; \bar{P}_{rj}(q) = \begin{bmatrix} P_{rjLeftShoulder}(q) \\ P_{rjRightShoulder}(q) \\ P_{rjLeftElbow}(q) \\ P_{rjRightElbow}(q) \end{bmatrix}$$

2. U slučaju korišćenja Vicon MCS vektori $\bar{P}_{rm}(t_i)$, $\bar{P}_{aj}(t_i)$, $\bar{P}_{vm}(q)$ i $\bar{P}_{rj}(q)$ su predstavljeni relacijama:

$$\vec{P}_{rm}(t_i) = \begin{bmatrix} P_{rmLeftUpperArm}(t_i) \\ P_{rmRightUpperArm}(t_i) \\ P_{rmLeftForeArm}(t_i) \\ P_{rmRightForeArm}(t_i) \\ P_{rmLeftHand}(t_i) \\ P_{rmRightHand}(t_i) \\ P_{rmLeftMiddleFinger}(t_i) \\ P_{rmRightMiddleFinger}(t_i) \\ P_{rmLeftLittleFinger}(t_i) \\ P_{rmRightLittleFinger}(t_i) \\ P_{rmLeftThumb}(t_i) \\ P_{rmRightThumb}(t_i) \end{bmatrix}; \vec{P}_{vm}(q) = \begin{bmatrix} P_{vmLeftUpperArm}(q) \\ P_{vmRightUpperArm}(q) \\ P_{vmLeftForeArm}(q) \\ P_{vmRightForeArm}(q) \\ P_{vmLeftHand}(q) \\ P_{vmRightHand}(q) \\ P_{vmLeftMiddleFinger}(q) \\ P_{vmRightMiddleFinger}(q) \\ P_{vmLeftLittleFinger}(q) \\ P_{vmRightLittleFinger}(q) \\ P_{vmLeftThumb}(q) \\ P_{vmRightThumb}(q) \end{bmatrix};$$

$$\vec{P}_{aj}(t_i) = \begin{bmatrix} P_{ajLeftShoulder}(t_i) \\ P_{ajRightShoulder}(t_i) \\ P_{ajLeftElbow}(t_i) \\ P_{ajRightElbow}(t_i) \end{bmatrix}; \vec{P}_{rj}(q) = \begin{bmatrix} P_{rjLeftShoulder}(q) \\ P_{rjRightShoulder}(q) \\ P_{rjLeftElbow}(q) \\ P_{rjRightElbow}(q) \end{bmatrix}$$

U skladu sa kriterijumskom funkcijom (5) faktori α , β , γ i δ predstavljaju različite nivoe prioriteta u smislu praćenja pozicija markera i zglobova. Sa ciljem da se redukuje uticaj kretanja kože (koje ima direktan uticaj na pomeranje markera) tokom izvođenja pokreta i poveća tačnosti imitacije faktori α i β su uvedeni kako bi dali veći prioritet u praćenju pozicija u zglobovima u odnosu na pozicije markera. Svi težinski faktori su podesivi u aplikaciji. Uzimajući u obzir da imitacija pokreta može da podrazumeva i kontaktne zadatke između šaka i predmeta, težinskim faktorima γ (težinski faktor za poziciju šake) i δ (težinski faktor za orijentaciju šake) treba dodeliti najveće vrednosti.

1. U slučaju korišćenja ART MCS početne vrednosti težinskih faktora su setovani na: $\alpha=0.7$, $\beta=1.3$, $\gamma=1$ i $\delta=1.3$.

2. U slučaju korišćenja Vicon MCS početne vrednosti težinskih faktora su setovani na: $\alpha=1$, $\beta=1.3$, $\gamma = 0$ i $\delta=1.3$, uzimajući u obzir da se orijentacija šaka nepoznata i ostvari se praćenjem pozicija 3D pozicija markera na prstima.

Dobijeni rezultati imitacionog algoritma $q_{imitation}$ moraju biti dodatno procesirani sa ciljem da se eliminiše šum od MCS i dobije glatka trajektorija svih zglobova SKM. U tu svrhu korišćen je Savitzky–Golay filter. Na ovaj način smo dobili glatke trajektorije zglobova SKM $Q_{imitation}$.

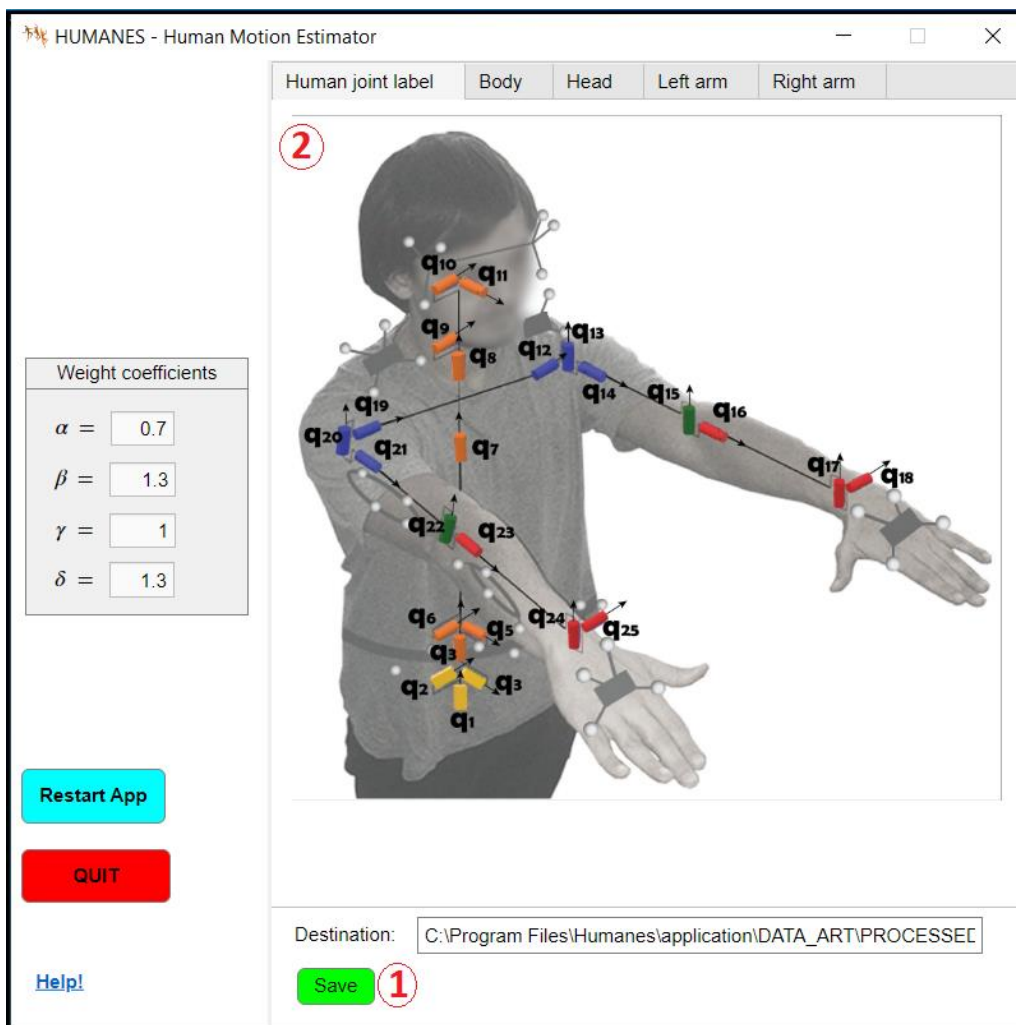
Imitacioni algoritam je predstavljen kroz četrnaest koraka u **Algoritam 2**:

Algoritam 2 Imitacioni algoritam

1. **Inicijalizacioni algoritam (Algoritam 1)**
 2. Definisanje $\alpha, \beta, \gamma, \delta$
 3. **for** $t_i = 1$ to N **do**
 4. $q = q_{init}$
 5. $T_{rj}(q) \leftarrow DirectKinematics(q)$;
 6. $P_{rj}(q) \leftarrow T_{rj}(q)$
 7. $T_{vm}(q) = T_{rj}(q)^{rj} T_{vm}$
 8. $P_{vm}(q), R_{vm}(q) \leftarrow T_{vm}(q)$
 9. $P_{rm}(t_i), R_{rm}(t_i) \leftarrow T_{rm}(t_i)$
 10. Optimizacioni algoritam: **fmincon**
 11. $q_{imitation}(t_i) \leftarrow fmincon(\text{kriterijumska funkcija (vidi Jed. (5), } q_{init})$
 12. $q_{init} = q_{imitation}(t_i)$
 13. $Q_{imitation}(t_i) \leftarrow sgolayfilt(q_{imitation}(t_i))$
 14. **end for**
-

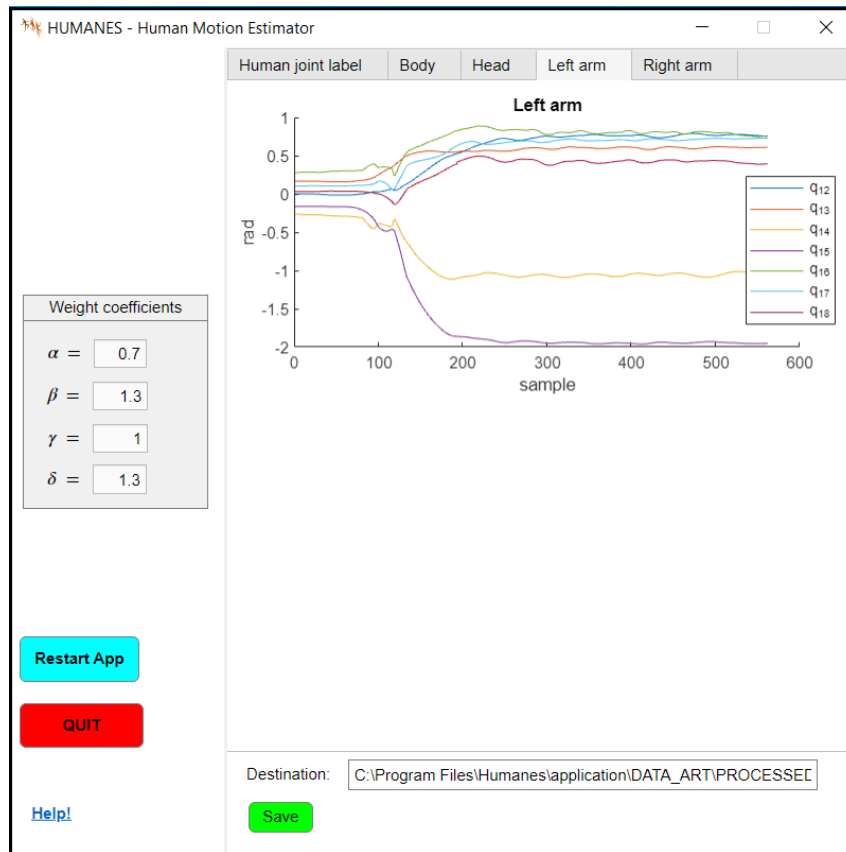
Prikaz rezultata

Imitacionog procesa generiše informacije o estimiranom ljudskom pokretu u obliku trajektorija zglobova $Q_{imitation}$ SKM čoveka. Trajektrije svih zglobova gornjeg dela tela čoveka u obliku unutrašnjih koordinata su grafički predstavljeni u korisničkom interfejsu (Slika 8), dok se numeričke vrednosti trajektorija snimaju u .exel fajlu u odabranoj datoteci u odeljku **Destination**, pritiskom na dugme **Save** (Slika 8(1)).



Slika 8. HUMANES korisnički interfejs snimanje i prikaz rezultata

U cilju lakše analize dobijenih rezultata pritiskom na karticu **Human joint label** (Slika 8(2)) korisniku je data slika KM čoveka sa rasporedom zglobova. Grafički pregled rezultata je dat kroz grafike trajektorija, glave, trupa, leve ruke i desne ruke koje su predstavljene na pojedinačnim karticama. Primer prikazivanja rezultata trajektorija leve ruke je prikazana na Slici 9.



Slika 9. HUMANES grafički prikaz rezultata trajektorija zglobova leve ruke

U konzoli softvera se ispisuje trenutni status rada aplikacije predstavljenog u formi rednog broja odbirka podataka koji se obradjuje u odnosu na ukupan broj odbiraka (Slika 10). Nakon završene obrade podataka u konzoli se ispisuje proteklo vreme za koje je estimacija pokreta izvršena.

```

C:\Program Files\Humanes\application\Humanes.exe
Processing 300/562 samples.
Processing 310/562 samples.
Processing 320/562 samples.
Processing 330/562 samples.
Processing 340/562 samples.
Processing 350/562 samples.
Processing 360/562 samples.
Processing 370/562 samples.
Processing 380/562 samples.
Processing 390/562 samples.
Processing 400/562 samples.
Processing 410/562 samples.
Processing 420/562 samples.
Processing 430/562 samples.
Processing 440/562 samples.
Processing 450/562 samples.
Processing 460/562 samples.
Processing 470/562 samples.
Processing 480/562 samples.
Processing 490/562 samples.
Processing 500/562 samples.
Processing 510/562 samples.
Processing 520/562 samples.
Processing 530/562 samples.
Processing 540/562 samples.
Processing 550/562 samples.
Processing 560/562 samples.
Processing 562/562 samples.
Elapsed time is 701.466196 seconds.

```

Slika 10. Konzolarni prikaz statusa izvršavanja aplikacije.

Референце:

- [1] Ceseracciu, E., Sawacha, Z., & Cobelli, C. (2014). Comparison of markerless and marker-based motion capture technologies through simultaneous data collection during gait: proof of concept. *PloS one*, 9(3), e87640.
- [2] Zhou, H., & Hu, H. (2008). Human motion tracking for rehabilitation—a survey. *Biomedical Signal Processing and Control*, 3(1), 1–18.
- [3] Moeslund, T. B., & Granum, E. (2001). A survey of computer vision-based human motion capture. *Computer vision and image understanding*, 81(3), 231–268.
- [4] Billard, A., Epars, Y., Calinon, S., Schaal, S., & Cheng, G. (2004). Discovering optimal imitation strategies. *Robotics and autonomous systems*, 47(2), 69–77.
- [5] Ude, A., Atkeson, C. G., & Riley, M. (2004). Programming full-body movements for humanoid robots by observation. *Robotics and autonomous systems*, 47(2), 93–108.
- [6] Ude, A., Man, C., Riley, M., & Atkeson, C. G. (2000). Automatic generation of kinematic models for the conversion of human motion capture data into humanoid robot motion (Tech. Rep.). Georgia Institute of Technology.
- [7] Gärtner, S., Do, M., Asfour, T., Dillmann, R., Simonidis, C., & Seemann, W. (2010). Generation of human-like motion for humanoid robots based on marker-based motion capture data. In *Robotics (ISR), 2010 41st international symposium on and 2010 6th german conference on robotics (robotik)* (pp. 1–8).
- [8] Ayusawa, K., Ikegami, Y., & Nakamura, Y. (2014). Simultaneous global inverse kinematics and geometric parameter identification of human skeletal model from motion capture data. *Mechanism and Machine Theory*, 74, 274–284.
- [9] Ayusawa, K., Morisawa, M., & Yoshida, E. (2015). Motion retargeting for humanoid robots based on identification to preserve and reproduce human motion features. In *Intelligent robots and systems (IROS), 2015 IEEE/RSJ international conference on* (pp. 2774–2779).
- [10] Pollard, N. S., Hodgins, J. K., Riley, M. J., & Atkeson, C. G. (2002). Adapting human motion for the control of a humanoid robot. In *Robotics and automation, 2002. Proceedings. ICRA'02. IEEE international conference on* (Vol. 2, pp. 1390–1397).
- [11] Safonova, A., Pollard, N., & Hodgins, J. K. (2003). Optimizing human motion for the control of a humanoid robot. *Proc. Applied Mathematics and Applications of Mathematics*, 78.
- [12] Zhang, Z., Niu, Y., Yan, Z., Lin, S. (2018) Real-Time Whole-Body Imitation by Humanoid Robots and Task-Oriented Teleoperation Using an Analytical Mapping Method and Quantitative Evaluation. *Appl. Sci.*, 8, 2005.
- [13] Fox, A.S., Bonacci, J., Gill, S.D., Page, R.S. (2021) Simulating the effect of glenohumeral capsulorrhaphy on kinematics and muscle function. *J. Orthop. Res.* 2021, 39, 880–890.

[14] Menychtas, D., Carey, S.L., Alqasemi, R., Dubey, R.V. (2019) Upper limb motion simulation algorithm for prosthesis prescription and training. In Proceedings of the 2019 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS), Macau, China, 3–8 November 2019; IEEE: Piscataway, NJ, USA

Допринос аутора:

Marija Radmilović je realizovala imitacioni proces sa inicializacionim i imitacionim algoritmima. Branko Lukić je realizovao korisnički interfejs.

ПРИЛОЗИ

1. Листа раније прихваћених техничких решења (појединачно по аутору и за све ауторе):

Др Марија Радмиловић:

Милош Јовановић, Марија Радмиловић, Александар Рибић, Жељко Деспотовић, Александар Родић, Владимир Квргић, „Мерни и аквизицијски систем универзалне испитне станице за хеликоптерске гасотурбинске моторе“-М82, 2018. године

Др Бранко Лукић:

Аутор нема техничких решења у претходном периоду.

2. Ugovor i potvrde o korišćenju

Фонд за науку Републике Србије
Бр. 1548/2020
08.07. 2020 год.
БЕОГРАД, Немањина бр. 22-26

РЕПУБЛИКА СРБИЈА
УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ
ЕЛЕКТРОТЕХНИЧКИ ФАКУЛТЕТ

Фиди 714
13-07-2020 год.
БЕОГРАД

ИНСТИТУТ МИХАЈЛО ПУПИН Д.О.О.

Бр. 1635/1-20

13 JUL 2020 год.
БЕОГРАД

У оквиру Програма за изврсне пројекте младих истраживача Фонда за науку Републике Србије на који је сагласност дала Влада РС решењем 05 број 660-02-5891/2019 од 13. јуна 2019. године („Службени гласник РС“, број 42/19), који се реализује у складу са Актом о циљевима, начину реализације и условима финансирања пројеката у оквиру Програма за изврсне пројекте младих истраживача број УО- 21-1/2019 од 04.06. 2019. године, а по јавном позиву Фонда за науку Републике Србије од 21. јуна 2019. године за пријаву научноистраживачких пројеката у оквиру Програма за изврсне пројекте младих истраживача – ПРОМИС и одлуке Управног одбора Фонда за науку број УО - 24/2020 од 27.02.2020. године о усвајању коначне листе Пројеката којима се одобрава за финансирање средствима Фонда за науку по Програму ПРОМИС (у даљем тексту: Одлука УО), закључује се

УГОВОР О ФИНАНСИРАЊУ

реализације научноистраживачког Пројекта под називом **MECHANICAL IMPEDANCE ESTIMATION AND PLANNING FOR THE NEXT GENERATION COLLABORATIVE ROBOTS,**

акроним **ForNextCobot**, евиденциони број **6062528.**

у оквиру Програма за изврсне пројекте младих истраживача – ПРОМИС

Фонда за науку Републике Србије

између следећих уговорних страна:

1. **ФОНДА ЗА НАУКУ РЕПУБЛИКЕ СРБИЈЕ**, са регистрованим седиштем у Београду, ул. Немањина 22-26, и адресом обављања делатности у Ул. Масарикова 5/XIX, Београд, матични број 17921410, ПИБ 111343775, број рачуна КЈС 840-670723-30, кога заступа др Милица Ђурић-Јовичић, в.д. директора (у даљем тексту: **Фонд за науку**),

са једне стране,

и

2. Реализатора истраживања/корисника средстава одобрених за финансирање Пројекта (у даљем тексту свако од наведених појединачно означен као **Корисник средстава**, а сви заједнички означени као **Корисници средстава**):

2.1. Акредитована научноистраживачка организација – НИО Електротехнички факултет, Универзитет у Београду, са седиштем на адреси Булевар краља Александра 73, 11120 Београд, ПИБ: 100206130, матични број: 07032498, коју заступа проф. др Мило Томашевић, декан, која је носилац реализације Пројекта (у даљем тексту: **Носилац Пројекта**);

2. 2. Акредитоване научноистраживачке организације – НИО (у даљем тексту: **Учесници Пројекта**):

- 1) Институт Михајло Пупин, Универзитет у Београду, са седиштем на адреси Волгина 15, 11060 Београд, ПИБ: 100008310, матични број: 07014694, коју заступа проф. др Сања Вранеш, директор (у даљем тексту: **Учесник Пројекта**);



3. Коста Јовановић, запослен у НИО Електротехнички факултет, Универзитет у Београду Носиоцу Пројекта (у даљем тексту: **Руководилац Пројекта**),

са друге стране.

Термини изражени у овом Уговору у граматичком мушком роду подразумевају природни мушки и женски род лица на која се односе.

Стране су се споразумеле о следећем:

I ПРЕДМЕТ УГОВОРА

Члан 1.

Овим уговором о финансирању реализације научноистраживачког Пројекта (у даљем тексту: **Уговор**) уређују се међусобна права и обавезе уговорних страна у реализацији и финансирању Пројекта у оквиру Програма за извршне пројекте младих истраживача (у даљем тексту: **ПРОМИС**).

Реализација Пројекта траје 24 месеца од дана ступања на снагу овог Уговора.

Овај Уговор се закључује, извршава и финансира у складу са начелима и одредбама прописа којима се уређују облигационо правни односи, прописа о буџетском и пореском систему, прописа којима се уређују јавне набавке, прописа из области: заштите података о личности; заштите права интелектуалне својине, укључујући и заштиту поверљивих података и пословне тајне; заштите научне слободе и стваралаштва, стандарда науке и етичности у научноистраживачком раду; заштите животне средине, као и одредаба Акта о циљевима, начину реализације и условима финансирања пројеката у оквиру Програма за извршне младе истраживаче (у даљем тексту: **Акт о ПРОМИС-у**) и других прописа и аката којима се уређују питања од значаја за реализацију ПРОМИС-а.

Члан 2.

Саставни део Уговора чине следећи прилози:

- **Прилог 1** – Одобрени Предлог Пројекта;
- **Прилог 2** – Буџет Пројекта и Распоред плаћања;
- **Прилог 3** – Временски оквир Пројекта (Гантограм);
- **Прилог 4** – Списак чланова тима Пројекта укључујући и Руководиоца Пројекта;
- **Прилог 5** – Општи подаци НИО и потврда о стању на Посебним рачунима Пројекта;
- **Прилог 6** – Изјава Носиоца Пројекта/Учесника Пројекта о поштовању обавеза;
- **Прилог 7** – Дефиниције;
- **Прилог 8** – (уколико је потписан) уговор између Носиоца Пројекта и Учесника Пројекта о учешћу у реализацији Пројекта, којим су регулисана њихова међусобна права и обавезе по основу финансирања реализације Пројекта од стране Фонда за науку (у даљем тексту: Конзорцијумски уговор) и остали прилози од значаја за финансирање реализације Пројекта по овом Уговору;
- **Прилог 9** – (уколико је применљиво) етичке сагласности и друге сагласности неопходне за реализацију Пројекта;
- **Прилог 10** – (уколико је применљиво) попуњен упитник о потенцијалним ризицима Пројекта по заштиту животне средине и социјална питања и план за управљање ризицима Пројекта.

Не одступајући од других дефиниција у овом Уговору, поједини термини употребљени у овом Уговору имају значење које је наведено за те термине у Прилогу 7.



II ФИНАНСИРАЊЕ ПРОЈЕКТА

Члан 3.

Фонд за науку је сагласан да финансира реализацију Пројекта у максималном износу од [REDACTED] динара у складу са одобреним Буџетом Пројекта ([REDACTED]), према динамици и у динарским износима утврђеним у Распореду плаћања из Прилога 2.

Финансијска средства за реализацију Пројекта се исплаћују у динарима на кварталном нивоу, у складу са Распоредом плаћања из Прилога 2, на Посебни рачун Пројекта Носиоца Пројекта и Учесника Пројекта који су наведени у прилогу 5 Уговора, и то:

1. Средства за први квартал Пројекта се уплаћују по ступању на снагу овог Уговора.
2. Средства за сваки наредни квартал Пројекта се уплаћују након одобрења Кварталног административно-финансијског извештаја за претходни квартал. Услов за уплату средстава за односни квартал је достављање Кварталног административно-финансијског извештаја за претходни квартал, а уплата може зависити и од исхода надзорне посете од стране Фонда за науку, уколико буде оцењена потреба за њеним спровођењем. Руководилац Пројекта је у обавези да заједно са кварталним административно-финансијским извештајем Фонду за науку упутити захтев за следећу кварталну исплату средстава, узимајући у обзир утрошак средстава из претходног квартала (као и одговарајући претходни извештај) и одобрени Распоред плаћања.

Износ кварталне исплате утврђен у складу са Распоредом плаћања може се прилагодити и ускладити са висином стварних трошкова за односни квартал, нпр. у случајевима када (не)оправдано у потпуности нису искоришћена средства у износу који је исплаћен за претходни квартал или када настану недозвољени трошкови током одређеног периода.

Фонд за науку може умањити уплату средстава за последњи квартал Пројекта за износ до 10% од укупног износа буџета Пројекта у складу са одобреним буџетом (у даљем тексту: задржани износ). Након што Фонд за науку прегледа и одобри Квартални административно-финансијски извештај за последњи квартал (или за дужи период, уколико је одобрено продужење Пројекта) и Завршни извештај о резултатима Пројекта, Фонд ће исплатити задржани износ за све дозвољене трошкове у овом периоду.

III ПРАВА, ОБАВЕЗЕ И ОДГОВОРНОСТ ФОНДА ЗА НАУКУ

Члан 4.

Фонд за науку је у обавези да предузима све активности у циљу омогућавања Корисницима средстава да Пројектни тим на челу са Руководиоцем Пројекта успешно реализује научноистраживачки Пројекат у складу са овим Уговором, а нарочито тако што:

- 1) средства намењена за реализацију Пројекта у периоду трајања Пројекта уплаћује Носиоцу Пројекта и Учесницима Пројекта према одредбама овог Уговора, а у складу са ликвидним могућностима буџета Републике Србије и средствима опредељеним за финансирање ПРОМИС-а;
- 2) надзире и прати реализацију Пројекта оцењивањем извештаја из овог уговора, надзорним посетама Корисницима средстава и евалуацијом резултата Пројекта;
- 3) одлуку о смањењу буџета, обустављању финансирања (делимично или у целини) Пројекта по основу овог Уговора и/или покретању поступка повраћаја примљених средстава може засновати на Евалуацији Пројекта, као и уколико се утврди да Пројекат није реализован у потпуности према Пројекту и/или су средства ненаменски утрошена. Наведене одлуке се примењују као крајња мера, када се утврђене неправилности не могу отклонити на други начин.

Члан 5.

Обавезе плаћања Фонда за науку по основу овог Уговора зависе од износа и динамике пријема средстава која су стављена на располагање Фонду за науку у складу са уговором о начину коришћења,



динамици исплате и контроли наменског трошења средстава буџетске субвенције одобрене Фонду за науку за односну годину, односно другим одговарајућим извором финансирања ПРОМИС-а. У случају да било који износ тих средстава није стављен на располагање Фонду за науку благовремено, или је умањен или ускраћен Фонду за науку на било који други начин, или ако је, као последица курсних разлика, износ расположивих средстава недовољан за финансирање реализације Пројекта, Фонд неће сносити никакву одговорност према Носиоцу Пројекта, Учесницима Пројекта, Руководиоцу Пројекта или било којој трећој страни у вези са било којим трошковима или обавезама проузрокованим од стране наведених лица или било које треће стране у вези са овим Уговором.

Фонд за науку ни на који начин није правно повезан са партнером или подуговарачима Корисника средстава. Корисник средстава је одговоран искључиво Фонду за науку за реализацију Пројекта у складу са условима Уговора. У случају подуговарања ограниченог дела реализације активности Пројекта, та трећа страна нема и не може да стекне својство уговорне стране овог Уговора, нити Фонд за науку може да има својство солидарног дужника или пасивну легитимацију по било ком основу, а за резултате/пропусте/недостатке таквог подуговарања сви Корисници средстава сnose одговорност према Фонду за науку као другој страни овог Уговора.

Фонд за науку не сноси одговорност према Носиоцу Пројекта и/или Учеснику Пројекта и/или Руководиоцу Пројекта, као ни према трећем лицу у случају да у било ком тренутку након датума ступања на снагу Уговора, Посебни рачун Пројекта Носиоца Пројекта и Учесника Пројекта буде блокиран или угашен и сматраће се да је Фонд за науку уредно извршио обавезу у складу са чланом 3. Уговора независно од тога да ли је у моменту исплате или након тога Посебни рачун Пројекта блокиран или угашен (ако је применљиво).

Члан 6.

Фонд за науку задржава право сталног праћења, надзора и евалуације реализације Пројекта, ангажовања Корисника средстава, чланова Пројектног тима, као и праћења наменског и законитог трошења уплаћених финансијских средстава у било које време трајања Пројекта, као и у периоду од 1 године након завршетка свих Пројектних активности.

Фонд за науку има право да врши кварталне, као и ненајављене теренске мониторинг посете Корисницима средстава, у просторијама у којима се обављају Пројектне активности, укључујући и проверу стања и коришћења опреме која је у функцији тих активности.

О извршеном непосредном надзору Фонд за науку сачињава службену белешку која је саставни део архиве Пројекта из одељка VII овог Уговора. У поступку надзора над наменским коришћењем уплаћених финансијских средстава за реализацију Пројекта по овом Уговору, Фонд за науку је овлашћен да непосредно контактира сва правна и физичка лица којима је према расположивој документацији и подацима Корисник средстава уплатио новчана средства која је добио од Фонда за науку за финансирање Пројекта.

IV ПРАВА И ОБАВЕЗЕ КОРИСНИКА СРЕДСТАВА И СВИХ ЧЛАНОВА ТИМА

Члан 7.

Носилац Пројекта, Учесници Пројекта и Руководилац Пројекта се обавезују да реализују Пројекат на властиту одговорност, са дужном пажњом, ефикасно и транспарентно, у складу са најбољим научноистраживачким, етичким, техничким, економским, финансијским, управљачким, еколошким и социјалним стандардима и праксама и у складу са овим Уговором, сагласно закону и прописима из члана 1. став 3. овог Уговора.

Носилац Пројекта, Учесници Пројекта и Руководилац Пројекта се обавезују да средства која су у вези са реализацијом Пројекта троше наменски и у складу са законом, Актом о ПРОМИС-у, Уговором, циљевима Програма, Пројектом и Буџетом Пројекта.



Носилац Пројекта и Руководилац Пројекта потврђују и гарантују да за финансирање кроз ПРОМИС и овај Пројекат нису пријавили трошкове који се већ финансирају или су већ били финансирани у оквиру НИО или кроз неки други програм. Додатно, Руководилац Пројекта и Чланови тима потврђују и гарантују да за финансирање нису пријавили пројекат за који знају да је туђе интелектуално власништво, те да су као резултат Пројекта планирани оригинални научни резултати.

Члан 8.

Током реализације Пројекта, уколико је неопходно, у оквиру укупног Буџета Пројекта могу бити предлагане образложене измене буџета:

1. прерасподеле унутар појединачне категорије буџета, при чему укупна вредност те категорије буџета треба остати непромењена.
2. прерасподеле између категорија буџета у износу до 10% вредности појединачне односне категорије. Прерасподеле буџета морају бити у складу са ограничењима за сваку дозвољену категорију буџета која је дефинисана Актом о ПРОМИС-у.

Свака прерасподела средстава мора бити оправдана и образложена као неопходна за реализацију Пројекта у складу са овим Уговором и таква да би без ње реализација Пројекта у знатној мери била отежана и/или онемогућена, при чему се укупан уговорени износ не може повећати, а може се смањити.

У изузетно оправданим околностима и по правилу највише једном током трајања Пројекта, Фонд може размотрити предлог да се изврши прерасподела буџета која износи више од 10% вредности категорије буџета којој тај трошак припада. Уколико постоји ризик да је без те прерасподеле буџета угрожена даља реализација Пројекта, Фонд за науку може размотрити такав захтев и консултовати стручно тело у погледу оправданости и дозвољености такве измене.

Све прерасподеле или измене буџета мора да одобри Фонд за науку.

Носилац Пројекта, Учесници Пројекта и Руководилац Пројекта у оквиру укупног Буџета Пројекта не могу самостално вршити прерасподеле средстава пре претходног одобрења од стране Фонда за науку.

Члан 9.

Носилац Пројекта и Учесници Пројекта су обавезни да Руководиоцу Пројекта и Члановима Пројектног тима обезбеде доступан одговарајући простор и опрему потребну за реализацију Пројекта, све у складу са Изјавама НИО које су приложене у предлогу Пројекта и које представљају саставни део овог Уговора као Прилог 1.

Носилац Пројекта и Учесници Пројекта су обавезни да заснују радни однос са Руководиоцем Пројекта и Члановима Пројектног тима, уколико радни однос већ није заснован.

Носилац Пројекта и Учесници Пројекта гарантују да Руководилац Пројекта и Чланови Пројектног тима, који су наведени у Прилогу 4, испуњавају све услове прописане Актом о ПРОМИС-у, свако за свог запосленог члана Пројектног тима.

Члан 10.

Носилац Пројекта и Учесник Пројекта ће, без одлагања, писаним путем неодложно обавестити Фонд за науку о свакој блокади Посебног рачуна Пројекта Корисника средстава дужем од два (2) радна дана или о покретању поступка отварања стечаја или ликвидације над Корисником средстава.

Носилац Пројекта и Учесник Пројекта обавестиће писаним путем неодложно Фонд за науку о свакој статусној промени, промени правне форме, као и губитку акредитације, одмах по настанку такве промене.

На захтев Фонда за науку, Носилац Пројекта и Учесник Пројекта омогућиће представницима Фонда за науку и/или одређеном овлашћеном лицу Фонда за науку да посети било који део просторија у којима се врше Пројектне активности, као и приступ опреми која је у функцији тих активности.

За време трајања финансирања или пре почетка финансирања Пројекта, Фонд може захтевати од Носиоца Пројекта и Учесника Пројекта да достави документацију и информације које се односе на трошкове за ставке/категорије Одобреног буџета Пројекта или одобрене активности Пројекта за које постоји сумња да се већ финансирају или су већ били финансирани у оквиру НИО или кроз неки други програм. Носилац



Пројекта и Учесник Пројекта се обавезују да поступе по оваквом захтеву Фонда за науку и доставе захтевану документацију и информације.

Носилац Пројекта и Учесници Пројекта се обавезују да ће уредно и благовремено исплаћивати средства/накнаде/зараде – Руководиоцу Пројекта, члановима Пројектног тима и трећим лицима у складу са динамиком реализације активности на Пројекту, Распоредом плаћања, Буџетом Пројекта, овим Уговором и законом.

V ПРАВА И ОБАВЕЗЕ РУКОВОДИОЦА ПРОЈЕКТА

Члан 11.

Руководилац Пројекта има својство координатора Пројектних активности и контакт особе у комуникацији са Фондом за науку поводом реализације овог Уговора и овлашћен је да представља Пројекат у јавности, на стручним и научним скуповима и у медијима, у земљи и иностранству.

Члан 12.

Руководилац Пројекта је у обавези да управља Пројектом савесно, одговорно и у сагласности са прописима којима се уређују наука и истраживање, заштита животне средине, заштита интелектуалне својине, заштита података о личности, спречавање сукоба интереса и другим прописима од значаја за законито спровођење Пројектних активности.

Руководилац Пројекта планира и организује рад, усмерава истраживања и предузима мере за реализацију планираних резултата истраживања и управља Пројектним активностима и Пројектним тимом, нарочито тако што:

- 1) стара се о извршавању активности Пројекта у утврђеним роковима, обезбеђивању истраживања на Пројекту у складу са Уговором и свим његовим прилозима, наменском трошењу примљених средстава Пројекта, као и о тачности свих података и потпуности документације коју прилаже у својству Руководиоца Пројекта, као и документације коју прилажу руководиоци организација као Корисника средстава;
- 2) прати реализацију права и обавеза преузетих овим Уговором у односу на Носиоца Пројекта, Учесника Пројекта и чланове Пројектног тима, и писаним путем: указује Носиоцу Пројекта, Учеснику Пројекта и члановима Пројектног тима на начин отклањања уочених пропуста и/или недостатака, и такође одговора на захтеве Носиоца Пројекта, Учесника Пројекта и чланова Пројектног тима;
- 3) у сарадњи са Корисницима средстава сачињава и потписује заједничко обавештење које одмах, а најкасније у року од 7 дана од дана сазнања за околности које су од утицаја на реализацију обавеза преузетих овим Уговором¹, доставља Фонду за науку и предлаже начин отклањања уочених проблема/застоја.
- 4) редовно прикупља податке од Учесника Пројекта и чланова Пројектног тима и саставља извештаје о реализацији пројекта према динамици утврђеној овим Уговором, комуницира са Фондом за науку и одговара на све упите који су део спровођења надзора над реализацијом Пројекта.

¹ Као што су промене које су од утицаја на финансирање средствима Фонда за науку по основу овог Уговора: исплате научноистраживачког рада чланова Пројектног тима; престанак радног ангажовања или промена у основу/обиму радног ангажовања истраживача код било ког реализатора истраживања; околности у односу на избор/реизбор у звање или одузимање звања; одсуство истраживача ангажованог у Пројектном тиму по било ком основу које је дужи од три месеца у једној години; не/плаћено одсуство истраживача са рада по основу прописа о раду, дужи од петнаест радних дана у једној години, које није у функцији научноистраживачког рада на Пројекту; привремена спреченост за рад истраживача по прописима о здравственом осигурању дужи од 30 дана; одсуство истраживача са рада због упућивања на војну вежбу или због служења војног рока; одсуство истраживача са рада по прописима о заштити материнства, породилског одсуства, одсуства са рада ради неге детета или посебне неге детета или друге особе; промена статуса Корисника средстава (нпр. престанак акредитације НИО; брисање из Регистра научноистраживачких организација и Регистра иновационе делатности) код кога је истраживач запослен.



Члан 13.

Руководилац Пројекта се обавезује да све чланове Пројектног тима, Носиоца Пројекта и, када је то применљиво, Учеснике Пројекта благовремено и потпуно обавештава о току реализације овог Уговора, о обавезама и одговорностима у току његове реализације, као и последицама непоступања у складу са истима.

Изузетно, уколико је потребно да се током реализације Пројекта замени Члан Пројектног тима или Учесник Пројекта другим учесником, Руководилац Пројекта о томе мора да добије писану сагласност Фонда за науку. Нови Члан Пројектног тима и/или Учесник Пројекта мора испуњавати све услове који су прописане Актом о ПРОМИС-у, при чему његово искуство и квалификације морају одговарати потребама Пројекта и, по правилу, морају бити једнаки или бољи од квалификација и искуства Члана Пројектног тима/Учесника Пројекта којег замењује.

VI НАБАВКА ДОБАРА И УСЛУГА

Члан 14.

Набавке добара и услуга који су у вези са реализацијом Пројекта чије је финансирање одобрено обављају се у складу са важећим прописима којима су регулисане јавне набавке, а тако да се обезбеди да се средства Пројекта користе искључиво за добра и услуге који су неопходни и одобрени за реализацију Пројекта.

Избор врсте поступка и обавезе спровођења поступка јавне набавке или набавке на коју се Закон о јавним набавкама не примењује (у даљем тексту: набавке), одређује се у складу са одредбама тог закона, а имајући у виду врсту и динамику реализације активности Пројекта, Буџет Пројекта и Распоред плаћања. За примену Закона о јавним набавкама одговорна је НИО, било да је Носилац Пројекта или Учесник Пројекта која спроводи поступак набавке.

Члан 15.

Сваки Корисник средстава који спроводи набавку добара и услуга које су у вези са реализацијом Пројекта дужан је да припреми, архивира и чува целокупну документацију у вези са тим набавкама, у складу са законом којим су регулисане јавне набавке, која ће се сматрати саставним делом архиве Пројекта у складу са одељком VII овог Уговора.

Фонд за науку од Корисника средстава и Руководиоца Пројекта може затражити достављање целокупне документације набавки, за потребе оцене Кварталног административно-финансијског извештаја, Годишњег извештаја о напретку Пројекта или Завршног извештаја о резултатима Пројекта, као и у оквиру спровођења надзора над реализацијом Пројекта.

Корисник средстава и Руководилац Пројекта су у обавези да, на захтев Фонда за науку, доставе целокупну документацију набавки које су у вези са реализацијом Пројекта, као и све додатне информације, документа и објашњења у вези са планираним и реализованим набавкама на Пројекту.

Члан 16.

Власник добара која су набављена из Буџета Пројекта је Носилац Пројекта, односно Учесник Пројекта који је спровео поступак набавке, осим уколико је другачије уговорено у складу са законом.

Члан 17.

Уколико Фонд за науку у поступку оцењивања утврди да су добро или услуга набављени уз кршење одредби Закона о јавним набавкама, та средства ће Фонд за науку третирати као недозвољени трошак и неће их признати. Фонд за науку може у зависности од тежине повреде важећег Закона о јавним набавкама или умањити износ средстава за недозвољени трошак и тако умањени износ уплатити за наредни квартал, или обуставити финансирање реализације Пројекта и раскинути овај Уговор у складу са одељком X и XXIV овог Уговора.

Све неправилности у спровођењу набавки у складу са овим Уговором, Буџетом Пројекта, прописима о јавним набавкама и законом могу се сматрати Повредом, услед које Фонд за науку може обуставити финансирање реализације Пројекта и раскинути овај Уговор у складу са одељком X и XXIV овог Уговора.



VII АРХИВА ПРОЈЕКТА, ФИНАНСИЈСКА И ДРУГА ДОКУМЕНТАЦИЈА

Члан 18.

Носилац Пројекта и Учесници Пројекта ће оформити архиву Пројекта, у оквиру које ће водити прецизне и редовне евиденције у вези са реализацијом Пројекта, користећи одговарајуће системе у складу са рачуноводственим прописима, финансијским прописима и прописима о јавним набавкама.

Носилац Пројекта и Учесници Пројекта ће осигурати да сваки финансијски извештај (квартални, годишњи, завршни) буде примерено и једноставно усклађен и са рачуноводственим и књиговодственим системом корисника и основним рачуноводственим и другим релевантним евиденцијама. У ту сврху, Носилац Пројекта и Учесници Пројекта ће припремити и одржавати одговарајућа усаглашавања, пратеће планове, анализе и прегледе по ставкама за надзор и проверу.

Носилац Пројекта и Учесници Пројекта имају обавезу чувања свих евиденција, рачуноводствене и пратеће документације у вези са овим Уговором, у складу са својим актима којима је регулисано архивско пословање и листе категорија регистратурског материјала са роковима чувања, а најкраће 5 (пет) година након последњег извршеног плаћања или све док траје поступак контроле, односно надзора од стране Фонда за науку или поступци који се воде пред надлежним органима (судови, комисије, ревизије и др).

Носилац Пројекта и/или Учесник Пројекта који је спровео поступак јавне набавке и/или набавке има обавезу чувања документације у складу са важећим законом о јавним набавкама.

Члан 19.

Носилац Пројекта и Учесници Пројекта су дужни да воде тачну и редовну финансијску евиденцију у вези са имплементацијом Пројекта, користећи одговарајуће рачуноводствене и књиговодствене политике које се примењују у Републици Србији.

Све евиденције, рачуноводствена и пратећа документација о радњама у складу са овим Уговором морају бити лако доступни, подобни да буду идентификовани у оквиру пословних и финансијских евиденција и архивирани на начин који омогућава једноставан преглед, а Носилац Пројекта и Корисник средстава су дужни да Фонд за науку обавесте о њиховој тачној локацији. Ови документи морају бити попуњени на начин који олакшава њихово прегледање у оригиналном облику (укључујући електронску форму), или у облику копија.

Носилац Пројекта је обавезан да за време трајања Пројекта држи финансијску евиденцију о Пројекту одвојено од других постојећих и/или будућих пројеката.

Током трајања овог Уговора, Фонд за науку може испитати, или тражити да се испитају, финансијске и рачуноводствене евиденције или било која друга документа Носиоца Пројекта и/или Учесника Пројекта која се односе на овај Уговор у разумно време и у интервалима и по оправданом захтеву, а што су Носилац Пројекта и Учесник Пројекта у обавези да омогуће.

Члан 20.

Корисници средстава су дужни да обавезно чувају следећу документацију коју чине:

1. пријава предлога Пројекта и пратећа документација;
2. званична комуникација и документација која је размењена између страна овог Уговора током периода пријављивања;
3. званична комуникација и документација која је размењена између страна овог Уговора током имплементације Пројекта;
4. сви извештаји које Фонд за науку захтева и који су поднети Фонду за науку;
5. све фактуре, потврде и пратећа финансијска документација у вези са доказима о куповини и исплатама са Посебног рачуна Пројекта (укључујући али не ограничавајући се на доказе о пруженим услугама, као што су одобрени извештаји, извештаји о сатницама, сертификати итд.; доказе о пријему робе, као што су доставнице од добављача; записници; доказе о плаћањима, као што су изводи из банке);



6. документација о набавкама у складу са чланом 15. овог Уговора;
7. уговори са трећим лицима и наруџбенице, као доказ постојећих обавеза;
8. рачуноводствене евиденције, компјутеризоване или ручне (као што су главна књига, помоћне књиге, рачуни у вези са обрачуном зарада, евиденције основних средстава и друге релевантне рачуноводствене информације);
9. евиденције о Руководиоцу Пројекта и члановима Пројектног тима и евиденције о плаћањима, као што су уговори о раду/уговори о ангажовању, исплатне листе и друга релевантна документа везана за та лица.

Непоступање Носиоца Пројекта, Учесника Пројекта и Руководиоца Пројекта у складу са одредбама овог члана сматраће се Повредом, услед које Фонд за науку може обуставити финансирање реализације Пројекта и раскинути овај Уговор у складу са одељцима X и XXIV овог Уговора.

VIII ТЕХНИЧКЕ И ФИНАНСИЈСКЕ ПРОВЕРЕ

Члан 21.

Носилац Пројекта и Учесници Пројекта су обавезни да омогуће Фонду за науку, интерној контроли коју наложи министарство надлежно за научноистраживачку и иновациону делатност, инспекторима буџетске инспекције министарства надлежног за послове финансија и свим ревизорима који обављају провере/ надзор у складу са законом, да на лицу места обаве надзор и провере реализацију Пројекта и по потреби спроведу ревизију финансијских извештаја у складу са законом, односно ревизију пратеће документације за рачуноводствене евиденције, рачуноводствене документације и свих осталих докумената релевантних за финансирање Пројекта (укључујући доказе о поступцима јавних набавки, обавезама, испорученим услугама, пријему робе, куповини, уплатама, евиденцији о запосленима и њиховим платама).

У односу на обавезу из става 1. овог члана, Носилац Пројекта и Учесници Пројекта ће омогућити приступ особљу или представницима Фонда за науку, интерној контроли министарства надлежног за научноистраживачку делатност, буџетској инспекцији министарства надлежног за послове финансија, као и свим овлашћеним ревизорима који врше ревизију финансијских извештаја у складу са законом, објектима и локацијама на којима се реализује Пројекат, укључујући приступ његовим информатичким системима, као и свим документима и базама података везаним за техничко и финансијско управљање Пројектом, и предузети све мере да олакша њихов рад.

Овај приступ ће се примењивати у поверљивости у односу на треће стране, у складу са прописима о заштити пословне тајне.

IX ЕВАЛУАЦИЈА ПРОЈЕКТА ТОКОМ РЕАЛИЗАЦИЈЕ

Члан 22.

Остварени резултати Пројекта евалуирају се током реализације Пројекта. Фонд за науку редовно надзире и прати реализацију Пројекта оцењивањем поднетих извештаја, непосредним праћењем појединих Пројектних активности и надзорним посетама по потреби.

У циљу евалуације, Руководилац Пројекта пријављује резултате Пројекта достављањем одговарајућег извештаја. Фонд за науку може ангажовати бар једног независног међународног рецензента који ће учествовати у обављању годишње, ванредне евалуације и евалуације на крају реализације Пројекта.

Евалуација Пројекта укључује поређење предложених и реализованих циљева истраживања, остварене научне резултате, оцену реализације средстава, оцену система управљања Пројектом, процену усклађености динамике реализације активности и потрошње средстава, оцену остварених резултата Пројекта у односу на предложене активности Пројекта и друге релевантне показатеље.

Члан 23.



Уколико доступна документација Пројекта и информације приказане у достављеним извештајима нису довољни, потпуни или адекватни да би се извршила одговарајућа евалуација Пројекта, Фонд за науку има право да од Носиоца Пројекта, Учесника Пројекта или Руководиоца Пројекта затражи достављање додатних података и докумената потребних за спровођење евалуације Пројекта, укључујући али не ограничавајући се на документацију прикупљену од стране Корисника средстава у вези са Пројектом, базе података, софтвере, алгоритме за обраду и све друге врсте података и интелектуалних творевина проистеклих из Пројекта или засноване на Пројекту и његовим резултатима.

Носилац Пројекта, Учесник Пројекта и Руководилац Пројекта су дужни да поступе по захтеву из претходног става овог члана и Фонду за науку доставе захтевану документацију, податке и интелектуалне творевине проистекле из Пројекта или засноване на Пројекту и његовим резултатима.

Носилац Пројекта, Учесник Пројекта, Руководилац Пројекта и Чланови Пројектног тима су сагласни да се у односу на документацију, информације и интелектуалне творевине чије достављање захтева Фонд за науку, а који су потребни за вршење евалуације Пројекта, према Фонду за науку не могу позивати на заштиту пословне тајне или поверљивост података услед трајања процеса објављивања рада, патента, спровођења комерцијализације или из било ког другог разлога.

Са друге стране, Фонд за науку се обавезује да све податке, документацију и интелектуалне творевине достављене у складу са овим чланом третира као поверљиве и чува у складу са прописима о заштити пословне тајне.

Фонд за науку задржава право да изврши евалуацију Пројекта у сваком моменту током трајања Пројекта и једну годину након његовог окончања.

X ИЗВЕШТАВАЊЕ

Члан 24.

Руководилац Пројекта се обавезује да Фонду за науку доставља тачне, благовремене и потпуне извештаје, заједно са пратећом документацијом, у складу са Актом о ПРОМИС-у и овим Уговором, као и све друге информације и податке у вези са реализацијом Пројекта на захтев Фонда за науку.

Руководилац Пројекта, Носилац Пројекта и Учесници Пројекта ће омогућити Фонду за науку да изврши увид у имплементацију Пројекта, његове активности и све релевантне записе и документа и да припреми и Фонду за науку достави све информације, у року и на начин одређен захтевом/налогом Фонда за науку.

Руководилац Пројекта је обавезан да Фонду за науку достави потписани:

1. Квартални административно-финансијски извештај у року од 15 (петнаест) од дана истека квартала за који се подноси извештај;
2. Годишњи извештај о напретку Пројекта у року од 30 (тридесет) дана од дана истека 12 месеци реализације Пројекта;
3. Завршни извештај о резултатима Пројекта у року од 45 (четрдесет пет) дана од дана окончања свих пројектних активности.

Носилац Пројекта и Учесници Пројекта су у обавези да благовремено, у складу са интерно договореним роковима, доставе Руководиоцу Пројекта све информације и пратеће документе неопходне за састављање извештаја.

Извештаје из става 3. овог члана Руководилац Пројекта сачињава у сарадњи са Носиоцем Пројекта, Учесницима Пројекта и Члановима пројектног тима.

Члан 25.

Квартални административно-финансијски извештај се доставља са свом пратећом документацијом којом се правдају трошкови и доказују реализоване активности у том периоду.



Исплата средстава у наредном периоду биће одобрена и извршена под условом да квартални административно-финансијски извештаји (укључујући и целокупну пратећу документацију) буду одобрени (тј. позитивно оцењени) и да исход Надзорне посете буде позитиван (уколико посета буде обављена).

Руководилац Пројекта је у обавези да ажурира Квартални административно-финансијски извештај и поново га достави Фонду за науку, у складу са писаним налогом Фонда за науку у примереном року који одреди Фонд за науку, ако Фонд за науку утврди било који пропуст, ненамерно одступање и/или техничку грешку. Исплата за наредни квартал биће извршена тек након што Фонд за науку одобри (тј. позитивно оцени) ажурирани Квартални административно-финансијски извештај.

Члан 26.

Сви извештаји се подносе путем поште или непосредном предајом у штампаном облику, као и електронским путем - електронском поштом или другим путем који буде одредио Фонд за науку. Извештај мора бити потписан од стране Корисника средстава (Руководиоца Пројекта, Носилац пројекта и Учесника пројекта), својеручно или електронски.

Остварени резултати Пројекта евалуирају се током реализације Пројекта. Фонд за науку редовно надзире и прати реализацију Пројекта оцењивањем поднетих кварталних извештаја, оцењивањем Годишњег извештаја о напретку Пројекта, надзорним посетама учесницима пројекта уколико Фонд за науку утврди да су потребне и непосредним праћењем појединих Пројектних активности, као и оцењивањем Завршног извештаја о резултатима Пројекта.

Члан 27.

По указаној потреби, реализација и наменско трошење средстава у складу са одобреним буџетом Пројекта могу се евалуирати и ванредно на иницијативу Фонда за науку или на основу образложеног захтева Носиоца Пројекта или Учесника Пројекта или Руководиоца Пројекта.

Уколико Руководилац Пројекта не достави извештаје у роковима одређеним овим Уговором, то се може сматрати Повредом овог Уговора и може бити разлог за обустављање исплате средстава и/или раскид Уговора, осим када је кашњење проузроковано непредвиђеним околностима о којима је Фонд за науку благовремено обавештен.

Руководилац Пројекта је, без обзира на извештаје, обавезан да писаним путем обавести Фонд за науку о свим значајним догађајима на Пројекту, било да су позитивни или негативни, како би Фонд за науку био обавештен о статусу Пројекта и омогућио потенцијалне промене у активностима Пројекта, укључујући и промену временског оквира Пројекта, прераспodelу буџета и промене чланова Пројектног тима. Све такве промене захтевају писану сагласност Фонда за науку и не могу се спровести пре давања те сагласности.

XI ОДГОВОРНОСТ ЗА ШТЕТУ

Члан 28.

Фонд за науку не сноси одговорност, непосредну или посредну, за материјалну или нематеријалну штету или за повреду насталу у односу на особље, опрему или другу имовину током реализације Пројекта или насталу као последица након реализације Пројекта, и не може одобрити као основано потраживање за надокнаду таквих трошкова или прераспodelу или повећање износа из Буџета Пројекта на име плаћања у вези са насталом штетом или повредом.

Члан 29.

Корисник средстава не може на Фонд за науку пренети одговорност, односно обавезу надокнаде штете која проистиче из потраживања, активности или пропуштања предузетих као последица кршења правила или прописа од стране Корисника средстава.



XII ТУЖБЕ ПРОТИВ ФОНДА ЗА НАУКУ

Члан 30.

Носилац Пројекта ће, на начин и расположивим средствима у складу са законом, заступати интересе Фонда за науку и пружити правну заштиту у случају свих захтева, тужби и других поступака против Фонда за науку и његових запослених, а који би настали из или у вези са реализацијом овог Уговора и/или ПРОМИС-а или услед производње, продаје, дистрибуције или употребе резултата Пројекта.

XIII ОДГОВОРНОСТ ЗА ЗАКОНИТО ПОСЛОВАЊЕ

Члан 31.

Корисник средстава је у односу на реализацију активности и финансирање Пројекта по овом Уговору, одговоран за законито пословање у складу са прописима, укључујући и:

1. измиривање доспелих пореза, доприноса и других јавних дажбина у складу са прописима Републике Србије;
2. поштовање обавеза које произлазе из важећих прописа о заштити на раду, запошљавању и условима рада;
3. поштовање обавеза које произилазе из важећих прописа Републике Србије о контроли државне помоћи;
4. одговорност за поштовање обавеза које произилазе из важећих прописа о заштити животне средине.

XIV СУКОБ ИНТЕРЕСА

Члан 32.

Носилац Пројекта, Учесник Пројекта, Руководилац Пројекта и чланови Пројектног тима се обавезују да спрече да извршење овог Уговора буде угрожено и да избегну сукоб интереса по било ком основу, било да произилази из економских интереса, политичких склоности, породичних или емоционалних односа или сличног. Носилац Пројекта, Учесник Пројекта, Руководилац Пројекта и чланови Пројектног тима ће без одлагања у писаној форми обавестити Фонд о свим ситуацијама које представљају сукоб интереса по било ком основу, као и ситуацијама/околностима које би могле довести до таквог сукоба, у складу са законом.

Члан 33.

У случају утврђеног постојања сукоба интереса у извршењу Уговора, Фонд за науку ће тражити од Носиоца Пројекта и/или Учесника Пројекта да, без одлагања, а најкасније у року који не може бити дужи од 30 дана, предузме потребне радње које је наложио Фонд за науку како би се отклонио сукоб интереса у реализацији пројекта.

У сваком случају, на захтев Фонда, Носилац Пројекта и/или Учесник Пројекта замениће било ког члана свог особља који је у сукобу интереса.

XV ПОВЕРЉИВЕ ИНФОРМАЦИЈЕ

Члан 34.

Информације достављене Фонду за науку од стране Носиоца Пројекта, Учесника Пројекта и Руководиоца Пројекта сматраће се поверљивим информацијама, односно подацима заштићеним као пословна тајна, у складу са прописима којима је регулисана та област.

Ништа у напред наведеном неће ограничити право Фонда за науку да објави опште информације о подршци коју Фонд за науку пружа Пројекту, а у складу са прописима којима је регулисана заштита пословне тајне и подаци о личности.



Под условом да одредбама овог уговора није другачије предвиђено, Уговорне стране ће чувати тајност информација у вези са извршењем овог Уговора (без обзира на то да ли су им те информације саопштене усмено или писмено) и оних информација које су у писаној форми идентификоване као поверљиве најмање пет година након завршне последње исплате по овом Уговору. Носилац Пројекта, Учесник Пројекта, Руководилац Пројекта и чланови Пројектног тима користе такве поверљиве информације само у сврху испуњавања својих обавеза из Уговора.

XVI ПРОМОЦИЈА, ЈАВНОСТ И ВИДЉИВОСТ

Члан 35.

Руководилац Пројекта је обавезан да током реализације Пројекта обезбеди промоцију Пројекта и видљивост резултата учествовањем на конференцијама, објављивањем научних публикација, организовањем скупова и семинара, промоцијом у медијима и на друштвеним мрежама, организовањем посета Пројектном тиму и лабораторији и на друге начине. Приликом објављивања резултата у научним публикацијама (часописи, зборници, постери, презентације, монографије и било која друга врста или категорија приказа резултата) потребно је на одговарајућем и јасно видљивом месту у публикацији (попут Захвалнице/Acknowledgment одељка у раду) навести: „Истраживање спроведено уз подршку Фонда за науку Републике Србије, ПРОМИС, #БРОЈ ПРОЈЕКТА, АКРОНИМ / This research was supported by the Science Fund of the Republic of Serbia, PROMIS, #GRANT No, ACRONYM.

На исти начин је потребно обележити и било који други штампани материјал (као и дигитални и мултимедијални материјал, на начин на који је то примењиво) који се користи за промоцију и видљивост Пројекта или резултата Пројекта. Приликом промоције или приказивања резултата Пројекта у материјалима или медијима који садрже графичке елементе (постери, флајер, банери, ролупови, сајтови, филмови и анимације, публикације, монографије и друго) у оквиру приказа захвалнице поред наведеног потребно је користити и лого Фонда за науку.

Приликом објављивања резултата пројекта или приказивања активности пројекта на друштвеним мрежама осим наведене Захвалнице/Acknowledgment потребно је користити и одговарајуће ознаке (eng. hashtags): #fondznanuku, #promis, #akronimprojekta.

Члан 36.

Опрема набављена у оквиру реализације Пројекта, односно финансирана средствима Пројекта мора да буде обележена налепницом која садржи лого Фонда за науку, назив програма (ПРОМИС) идентификациони број (ИД) пројекта и следећу изјаву: „Ова опрема је финансирана средствима финансијске подршке од стране Фонда за науку Републике Србије“, а може садржати и пописни број инвентара, у складу са правилима НИО која је и власник опреме.

Члан 37.

Све публикације у вези са реализацијом Пројекта, у било ком облику и преко било којег медија, укључујући и интернет, морају садржати следећу изјаву: „Овај [назив или врста документа] је израђен средствима финансијске подршке од стране Фонда за науку. За садржину ове публикације искључиво је одговоран [Назив Корисника средстава] и та садржина не изражава ставове Фонда за науку Републике Србије“.

Члан 38.

Пожељно је да се радови објављују у водећим међународним часописима. У свим радовима објављеним у часописима и приказаним на конференцијама, као и другим приказивањима резултата или активности Пројекта, Руководилац Пројекта и чланови Пројектног тима су у обавези су да наведу да су резултати проистекли из Пројекта који финансира Фонд за науку.

Члан 39.

У циљу повећања квалитета и видљивости научног рада, Руководилац Пројекта је дужан да обезбеди да се истраживање у оквиру Пројекта спроведе у складу са принципима отворене науке и да, у складу са тим:



- 1) у било ком тренутку трајања Пројекта, као и најмање годину дана након тога, омогући заинтересованим лицима приступ резултатима Пројекта, у складу са добром академском праксом, заштитом ауторских права и заштитом самих података;
- 2) обезбеди да примарни истраживачки подаци прикупљени током реализације Пројекта буду припремљени, систематизовани, структурирани и електронски форматирани. Препоручује се да се за такве податке омогући отворени приступ (енг. *open data*) у складу са законом којим се уређује област науке и истраживања, а према препорукама и смерницама Фонда за науку.

Корисник средстава је сагласан да Фонд за науку користи и објављује достављене фотографије, текстове, видео и аудио записе настале у контактима са медијима у вези са реализацијом Пројекта, а у циљу промоције успешне реализације програма ПРОМИС и доприноса развоју науке и научноистраживачке делатности у Републици Србији.

Уколико Корисници средстава, укључујући и Руководиоца пројекта и чланове тима Пројекта прекрше обавезе прописане у одељку XVI, Фонд за науку задржава право да не прихватити те резултате као резултате Пројекта, што може утицати на целокупну евалуацију и наставак финансирања Пројекта.

XVII ИНТЕЛЕКТУАЛНА СВОЈИНА

Члан 40.

Носилац Пројекта и/или Учесник Пројекта потврђује да поседује сва интелектуална права и сва *know-how* права која се користе током реализације Пројекта и да ниједна трећа страна нема, нити може поставити захтев у односу на ова права. Руководилац Пројекта се обавезује да достави доказе у вези са овим правима и *know-how*, укључујући али не ограничавајући се на: уговоре о лиценцирању и друге споразуме, ако их има, на основу којих је било коме дато право да стекне неко право или интерес у вези са било којим повезаним правом интелектуалне својине.

Права на основу све нове интелектуалне својине и *know-how*, који могу бити створени током извођења Пројекта, према закону којим се уређује област науке и истраживања припадају Носиоцу Пројекта, осим ако Руководилац Пројекта и Носилац Пројекта не уговоре другачије, о чему морају писаним путем обавестити Фонд и доставити копију споразума/уговора/документа који то регулише.

Комерцијализација резултата се остварује на основу закона и правилника Носиоца Пројекта и Учесника Пројекта, у складу са прописима којим се уређује област науке и истраживања.

Носилац Пројекта и Учесник Пројекта је у обавези да осигура права интелектуалне својине и *know-how* у уговорима закљученим са било којим трећим лицем.

Носилац Пројекта и/или Учесник Пројекта и Руководилац Пројекта сагласни су да Фонд за науку може користити, складиштити, модификовати, преводити, приказивати, репродуковати било којим техничким поступком, објавити или саопштити путем било ког медија сва документа која произлазе из Пројекта без обзира на њихову форму, под условом да такве радње не крше постојећа права на интелектуалну својину Носиоца Пројекта или било које треће стране.

XVIII ЗАШТИТА ПОДАТАКА О ЛИЧНОСТИ

Члан 41.

Сви подаци о личности прикупљани од стране Фонда за науку користиће се искључиво у сврху извршавања и надзора овог Уговора, и праћења и анализе програма ПРОМИС.

Фонд за науку ће ограничити приступ и употребу података о личности на меру која је неопходна за извршавање и надзор овог Уговора како би се обезбедила њихова заштита у складу са законом.

Фонд за науку ће обавестити Руководиоца Пројекта у случају да се лични подаци прослеђују трећим странама и прибавити писану сагласност особе(а) којој поменути подаци припадају пре него што они буду прослеђени.



XIX ЗАШТИТА ЖИВОТНЕ СРЕДИНЕ

Члан 42.

Корисник средстава се обавезује да се придржава највиших стандарда о заштити животне средине и да примењује Оквирни план за управљање заштитом животне средине и социјалним утицајем (*Environmental and Social Management Framework*).

Корисник средстава се обавезује да ће Фонду за науку доставити све захтеване информације и потребне дозволе на увид, као и да благовремено предузме све мере како би омогућио Фонду за науку да врши надзор над применом прописа о заштити животне средине.

XX ПОСТУПАК У СЛУЧАЈУ ПОВРЕДЕ УГОВОРА

Члан 43.

Уколико се током реализације Пројекта установи да Пројекат није реализован у потпуности према Одобреном Предлогу Пројекта и одобреним изменама Пројекта током његове реализације, Фонд за науку може покренути поступак пред надлежним органима Фонда за науку ради доношења одлуке о смањењу буџета опредељеног Уговором или потпуну обуставу финансирања Пројекта, укључујући и покретање поступка за повраћај ненаменски или незаконито утрошених примљених средстава.

Члан 44.

Уколико је Повреда таква да штетне последице које је проузроковала могу бити отклоњене поступањем Корисника средстава, Фонд за науку ће, пре обустављања финансирања реализације Пројекта, послати писано обавештење Руководиоцу Пројекта са информацијама о идентификованом недостатку или уоченој Повреди, са захтевом да се предузму наложене корективне мере и отклони Повреда најкасније у року од тридесет (30) дана након датума пријема обавештења.

У случају да Корисник средстава не отклони Повреду у остављеном року и на захтевани начин или се не достави задовољавајуће објашњење у року из става 1. овог члана, Фонд за науку може обуставити даље финансирање Пројекта и једнострано раскинути Уговор.

Члан 45.

Уколико је Повреда одредби овог Уговора таква да њене штетне последице не могу бити отклоњене поступањем Корисника средстава, Фонд за науку може једнострано раскинути Уговор, а нарочито у следећим случајевима:

а) када је против Корисника средстава покренут стечајни поступак, односно поступак ликвидације, или судови управљају његовим пословима, или је у поступку нагодбе са повериоцима или у другом сродном поступку према важећим прописима;

б) када је Кориснику средстава, партнеру, подуговарачу или особи овлашћеној за заступање Корисника средстава изречена мера забране обављања делатности;

в) када је Корисник средстава, партнер, подуговарач или особа овлашћена за заступање Корисника средстава правоснажно осуђена за неко од следећих кривичних дела: неко од кривичних дела као члан организоване криминалне групе, кривична дела против привреде, кривична дела против животне средине, кривична дела против имовине злоупотреба обављања дужности државне власти, противзаконито посредовање, осим ако је наступила рехабилитација у складу са законом;

г) када Корисник средстава изврши статусну промену или промени правну форму, осим ако не постоји документ из ког произилази да је о тој промени благовремено и тачно обавестио Фонд за науку и уколико та промена није од утицаја на својство Корисника средстава;

д) када Корисник средстава настави да поступа супротно одредбама Уговора у вези са сукобом интереса, преносом права и техничком и финансијском провером пројекта;



ђ) када Корисник средстава даје неверодостојне или непотпуне изјаве, податке, информације и документацију, или ако доставља неверодостојне извештаје у намери да омогући наставак финансирања по овом Уговору;

е) када Корисник средстава поступа супротно одредбама о заштити животне средине у складу са законом и овим Уговором, а имајући у виду природу и врсту активности у оквиру реализације Пројекта и делатност Корисника средстава;

ж) када Корисник средстава у реализацији Пројекта поступа супротно начелу етике, научног и истраживачког рада и принципима добре научне праксе;

з) када се утврди, по оцени Фонда за науку, да је Корисник средстава укључен у коруптивно и преварно поступање, довођење у заблуду, противправне радње и поступке опструкције приликом извршавања овог Уговора и спровођења Пројекта;

и) када Корисник средстава ненаменски или незаконито троши средства Пројекта.

Члан 46.

Фонд за науку може једнострано раскинути Уговор уколико се утврди да је Корисник средстава:

1. у пријави на јавни позив Фонда за науку Републике Србије од 21. јуна 2019. године за финансирање пројекта по ПРОМИС-у навео нетачне и/или непотпуне изјаве, податке, информације или документацију; или
2. у реализацији Пројекта по овом Уговору прекршио обавезе предвиђене Уговором; или
3. за финансирање кроз ПРОМИС и овај Пројекат пријавио трошкове који се већ финансирају или су већ били финансирани у оквиру НИО или кроз неки други програм.

Члан 47.

У случају раскида Уговора, а у зависности од врсте и тежине Повреде, Фонд за науку може захтевати повраћај целокупног износа исплаћених средстава или само ненаменски или незаконито утрошених средстава, са припадајућом затезном каматом.

Пре или уместо раскида Уговора у складу са ставом 1. овог члана, као и у случају сумње на постојање разлога за раскид Уговора у складу са овим чланом, Фонд за науку задржава право да не изврши доспелу исплату, без претходног обавештења Корисника средстава о предузетој мери опреза.

XXI ПРОДУЖЕЊЕ ПЕРИОДА РЕАЛИЗАЦИЈЕ УГОВОРА

Члан 48.

Трајање Пројекта из члана 1. став 2. овог Уговора може се продужити само у изузетним околностима (као што су непредвиђена кашњења у имплементацији Пројекта узрокована административним, финансијским или другим процедуралним разлозима и догађајима више силе).

Руководилац Пројекта мора поднети образложени захтев за продужење Пројекта најкасније тридесет (30) дана пре првобитног датума завршетка Пројекта. Продужење периода реализације Уговора, односно Пројекта мора бити одобрено од стране Фонда за науку.

Период имплементације Пројекта може бити продужен за период једнак трајању застоја у реализацији Пројекта/обуставе у извршењу Уговора из ст.1–2. овог члана.

Настајање околности које су разлози за продужење трајања Пројекта нису од утицаја на право Фонда за науку да раскине Уговор у случају постојања значајних грешака, неправилности или преваре у вези са процедуром одобрења финансирања Пројекта или у случају повреде Уговора од стране Носиоца Пројекта и/или Учесника Пројекта и/или Руководиоца Пројекта.



XXII ВИША СИЛА

Члан 49.

Виша сила подразумева било који ванредан и непредвидив спољашњи догађај или изузетну ситуацију насталу након склапања Уговора, а пре завршетка Пројекта, која се у време склапања Уговора није могла предвидети, нити ју је уговорна страна могла спречити, избећи или отклонити, и за коју стога није одговорна ни једна, ни друга страна, а која спречава било коју од њих да испуни своје уговорне обавезе, при чему се не могу приписати грешци, непажњи или немару са њихове стране (или од стране њихових подуговарача, заступника или запослених), а покажу се као непремостиве. Неисправна опрема или материјали или кашњење у њиховој достави, радни сукоби, штрајкови или финансијски проблеми које је Носилац Пројекта и/или Учесник Пројекта и/или Руководилац Пројекта могао предвидети или избећи, не могу се наводити као виша сила.

Неће се сматрати да је уговорна страна прекршила своје уговорне обавезе ако је спречена да испуни те обавезе због више силе. Уговорна страна суочена са вишом силом без одлагања ће о томе обавестити другу уговорну страну, наводећи природу, вероватно трајање и предвидиве последице проблема, и предузети све потребне мере да штету сведе на најмању могућу меру.

XXIII ИЗМЕНЕ И ДОПУНЕ УГОВОРА

Члан 50.

Корисници средстава су у обавези да у писаном облику неодложно обавештавају Фонд за науку о свакој ситуацији која настане током реализације овог Уговора, како оној која не захтева измене и/или допуне, тако и о оној која по значају захтева закључивање анекса овог Уговора.

Ако измене и допуне предлаже Руководилац Пројекта или Корисник средстава, обавезан је да захтев за измену или допуну Уговора достави Фонду за науку најмање 30 дана пре него што би требало да се реализује радња због које се предлаже измена или допуна, осим ако не постоје посебне околности које је Корисник средстава/Руководилац Пројекта оправдано образложио, а Фонд за науку прихватио.

Ни у ком случају радња која се предлаже изменом и допуном сене може се реализовати пре него је одобри Фонд за науку. Свака измена уговорних обавеза мора бити затражена и одобрена у писаном облику.

Све измене и допуне овог уговора се сачињавају у писаној форми.

Члан 51.

У случају да се захтевају мање измене/допуне које не захтевају потписивање анекса овог Уговора, Фонд за науку се писаним путем саглашава/усваја предложене измене.

Мање измене подразумевају измене Буџета Пројекта унутар исте буџетске категорије, измене Буџета Пројекта између буџетских категорија мање од 10 % вредности категорије; замена члана Пројектног тима; промена Посебног рачуна Пројекта; промена адресе или других контаката корисника; мале промене описа Пројекта које не утичу на његов обим и циљеве, већ се састоје у нпр. у временском прераспореду реализације појединих активности и сл.

Члан 52.

У случају да се захтевају веће измене/допуне које значајно утичу на обим и циљеве Пројекта, Фонд за науку може консултовати стручно тело надлежно за разматрање таквог захтева, и уколико се захтев одобри, приступа се закључивању анекса овог Уговора.

Члан 53.

У случају да се захтева одређивање другог лица за Руководиоца Пројекта или се на други начин утврди потреба за таквом заменом, због тога што актуелни Руководилац Пројекта не испуњава обавезе утврђене овим Уговором или из другог оправданог разлога, одлуку о одређивању другог лица за Руководиоца



Пројекта доноси Фонд за науку, уз прибављено образложено писано мишљење руководиоца свих Корисника средстава који су потписници овог Уговора.

Нови Руководилац Пројекта мора испуњавати све услове који су прописане Актом о ПРОМИС-у, при чему његово искуство и квалификације морају одговарати потребама Пројекта и, по правилу, морају бити једнаке или боље од квалификација и искуства Руководиоца Пројекта којег замењује.

Уколико Корисник средстава, на писани захтев Фонд за науку, не достави мишљење у року од 8 радних дана, сматраће се да је мишљење о предлогу за одређивање другог Руководиоца Пројекта позитивно, а одлука Фонда за науку се прилаже овом Уговору као његов саставни део – Прилог 7.

Члан 54.

Корисници средстава су дужни да обезбеде одговарајуће информације и документа за екстерну ревизију Пројекта уколико Фонд за науку то затражи.

Фонд за науку задржава право да спроведе екстерну ревизију, уколико се за тим укаже потреба на основу надзора реализације Пројекта и евалуације пројектних резултата.

XXIV РАСКИД УГОВОРА

Члан 55.

Фонд за науку може раскинути Уговор у случају Повреде и у складу са одељком XX овог уговора.

У случају раскида Уговора услед Повреде, а у зависности од врсте и тежине Повреде, Фонд за науку може захтевати повраћај целокупног износа исплаћених средстава или само ненаменски или незаконито утрошених средстава, са припадајућом затезном каматом.

Уколико Носилац Пројекта, Учесник Пројекта или Руководилац Пројекта раскине Уговор или напусти Пројекат, дужан је да врати целокупни износ средстава исплаћен од стране Фонда за науку на основу овог Уговора, осим у нарочито оправданим случајевима попут болести и друго.

Уколико, по раскиду Уговора из било ког разлога, није потрошен целокупни износ средстава исплаћен од стране Фонда за науку, Носилац Пројекта има обавезу да Фонду за науку врати тај непотрошени износ исплаћених средстава, у року који одреди Фонд за науку. Уколико непотрошени износ исплаћених средстава не буде уплаћен Фонду за науку у утврђеном року, на тај износ ће бити обрачуната законска затезна камата.

Без обзира на остале одредбе у овом Уговору којима је уговорено супротно, Фонд за науку има право да раскине Уговор и неће сносити било какву одговорност према другој уговорној страни или према трећим лицима у вези са овим Уговором ако финансирање Фонда за науку или његових активности буде заустављено или окончано из било ког разлога.

У случају раскида, одредбе овог Уговора које се односе на заштиту интелектуалне својине и поверљивост остају на снази.

XXV ЗАВРШНЕ ОДРЕДБЕ

Члан 56.

Фонд за науку не гарантује, тиме што финансира Пројекат у складу са овим Уговором, безбедност, вредност или коришћење резултата Пројекта или предузетог посла, нити ће се чињеница да Фонд за науку учествује, финансира или остварује овде дефинисана права, сматрати подршком резултатима Пројекта или Носиоцу Пројекта, Учеснику Пројекта, Руководиоцу Пројекта и члану Пројектног тима, нити име Фонда за науку сме бити коришћено у промотивне или рекламне сврхе, нити објављивано од стране Носиоца Пројекта, Учесника Пројекта, Руководиоца Пројекта и члана Пројектног тима, осим у оквирима и за сврхе наведене овим Уговором.



Носилац Пројекта, Учесник Пројекта и Руководилац Пројекта је искључиво одговоран за било какву штету и/или повреду коју је претрпело особље и/или имовина Носиоца Пројекта и/или Учесника Пројекта и/или трећа лица током имплементације или у вези са Пројектом и овим уговором. Фонд за науку неће прихватити било какав захтев за надокнаду штете или повећање износа плаћања у вези са таквом штетом или повредом.

Друга уговорна страна не може уступити овај уговор или било који посао извршен у складу са овим уговором без претходне писане сагласности Фонда за науку.

Члан 57.

Обавештења, комуникација и извештаји достављаће се лично или/и слати имејлом или/и препорученом поштом са повратницом, на следеће адресе:

Фонд за науку Републике Србије, Масарикова 5, 11000 Београд, Србија, имејл: promis@fondzanauku.gov.rs.

Члан 58.

Овај уговор је сачињен у 4 примерака, од којих 1 (један) за Фонд за науку, 1 (један) за Носиоца Пројекта, и по 1 (један) за Учеснике Пројекта и 1 (један) за Руководиоца Пројекта.

Овај Уговор ступа на снагу даном потписивања од стране овлашћених лица свих уговорних страна.

Датум ступања на снагу Уговора 20.7.2020. (уписује се последњи датум са којим је потписан Уговор).

Фонд за науку Републике Србије
Београд
Милица Бурић-Јовичић
Милица Бурић-Јовичић, в.д. директора
Датум потписа: 08.07.2020.

Потписи овлашћених лица НИО и Руководиоца Пројекта

1. _____	13-07-2020
Носилац Пројекта	Датум потписа
2. <u>К. Јовановић</u>	<u>20.7.2020</u>
Руководилац Пројекта	Датум потписа
3. _____	<u>13.7.2020</u>
Учесник Пројекта	Датум потписа
4. _____	_____
Учесник Пројекта	Датум потписа
5. _____	_____
Учесник Пројекта	Датум потписа



XXVI ПРИЛОЗИ

Саставни део Уговора чине следећи прилози:

- **Прилог 1** – Одобрени Предлог Пројекта;
- **Прилог 2** – Буџет Пројекта и Распоред плаћања;
- **Прилог 3** – Временски оквир Пројекта (Гантограм);
- **Прилог 4** – Списак чланова тима Пројекта укључујући и Руководиоца Пројекта;
- **Прилог 5** – Општи подаци НИО и потврда о стању на Посебним рачунима Пројекта;
- **Прилог 6** – Изјава Носиоца Пројекта/Учесника Пројекта о поштовању обавеза;
- **Прилог 7** – Дефиниције;
- **Прилог 8** – (уколико је потписан) уговор између Носиоца Пројекта и Учесника Пројекта о учешћу у реализацији Пројекта, којим су регулисана њихова међусобна права и обавезе по основу финансирања реализације Пројекта од стране Фонда за науку (у даљем тексту: Конзорцијумски уговор) и остали прилози од значаја за финансирање реализације Пројекта по овом Уговору;
- **Прилог 9** – (уколико је применљиво) етичке сагласности и друге сагласности неопходне за реализацију Пројекта;
- **Прилог 10** – (уколико је применљиво) попуњен упитник о потенцијалним ризицима Пројекта по заштиту животне средине и социјална питања и план за управљање ризицима Пројекта.



Прилог 1 – Одобрени Предлог Пројекта



Project Description

Project proposal title: Mechanical Impedance Estimation and Planning for the Next Generation Collaborative Robots

Acronym: ForNextCobot

Principal Investigator (PI): Kosta Jovanovic

Research field of the Project: Robotics (Physical Human-Robot Interaction)

1. Excellence

1.1. Objectives

According to Executive Summary on industrial robotics from the International Federation of Robotics¹, robotic technology dominates in factories with 400.000 installed industrial robots and an increase of about 30% annually. Although contemporary robots offer high performances, payloads, repeatability, and velocities, they occupy a lot of working space due to safety issues. Nowadays, it is becoming evident that factories of the future will be founded on effective collaboration between robots and humans. Accordingly, the latest robot generation, collaborative robots, has been developed to work safer alongside humans, and can be fully integrated into workbenches. However, contemporary collaborative robots still have rigid connections between their actuators and joints/links while safety is increased by sensors – collisions can be promptly and accurately identified, and the robot stopped to prevent damage. Although collaborative robots of this kind have already entered a commercial market, the next generation of collaborative robots has been intensively planned and designed. This new robot generation will exploit performances of current stiff robots and bring new safety level by introducing compliance in the actuators! To be able to do these trade-offs between performances, safety, and energy efficiency new generation of robots will be built around new actuation technology – variable impedance/stiffness actuators² (VIA/VSA). In order to achieve their safe interaction within anthropic environment, many variations of soft robot manipulators have recently been developed in European Commission FP6, FP7 and Horizon2020 projects (STIFF, Viactors, ECCEROBOT, ERC grant – SPEAR, PHRIENDS, SAPHARI, Softhands, SoftPro and SOMA) sharing the common concept of variable joint impedance (impedance includes mass, stiffness and damping factors). As a result, which also supports the potential of this research direction, a number of published papers with key words variable stiffness/impedance actuators grows exponentially as presented in². While comprehensive interaction requires analysis of mechanical impedance, most of the projects and research activities focus on stiffness and extend towards damping, so we will use the same principle and therefore stiffness is often used instead of impedance through the text.

Although many VIA design and control have been extensively presented in the research community, widely accepted guidelines about robot impedance/stiffness planning are still missing. Furthermore, since impedance/stiffness is not directly measured parameter, its estimation is still open research issue which is supposed to enable new closed-loop control approaches of VIA and Cartesian robot impedance. This project targets above-mentioned research challenges through the three main tasks: understanding impedance planning of humans as a reference point for impedance planning of robots and a tool for collaborative human-robot tasks (objective of TASK1), development of robot impedance estimators which will advance methods for impedance robot control (objective of TASK2), and finally development of impedance robot planning for new generation of collaborative robots which will be actuated by VIA and combine it with kinematic redundancy for effective Cartesian robot control (objective of TASK3). The research objectives are firmly based on ongoing research by the PI and the group. Therefore, project results combined with already existing research achievements of the group and available hardware resources will be evaluated and verified on the latest robots (VIA driven and collaborative) which will provide additional value to the project research outcomes.

As stiffness and damping are not measurable variables, yet very necessary for the new generation of robots, we aim at developing twofold impedance estimators. The first one will be focused on estimating the Cartesian impedance, which is the measure of interaction between robot end-effector and environment, while the second one will estimate impedance of each joint for cases when contact might happen also sideways. The big impact of this research is expected for the very actual topic in robotics - control of robots with variable impedance actuators. To that end, suggested estimators will provide information about impedance/stiffness and enable further development of closed-loop impedance/stiffness

¹ https://ifr.org/downloads/press2018/Executive_Summary_WR_2018_Industrial_Robots.pdf

² Grioli, G. et al. (2015) "Variable stiffness actuators: The user's point of view", *Int. J. Robotics Res.*, 34(6), pp. 727–743.



control of robots with variable impedance actuators. Although control is not subject of this project, the estimators will be verified on different robots control in TASK4. In parallel with that, we will aim at developing effective online estimator of human impedance and gaining insight into the way how humans plan stiffness. The application of effective human impedance estimator would be of great importance for the teleoperation, as it would allow robots to easily mimic and reproduce human's delicate movements by understanding the biomechanics of humans. Initially, we will recapitulate state-of-the-art methods for impedance estimation and use obtained results as a benchmark for estimators developed during the project. The common objective will be to develop an estimator that requires minimal information from sensors and that is reliable for various use-cases. The performance of estimator will be examined with respect to ground-truth results obtained from datasheet or force/torque sensors mounted on end-effector, joints or drive.

With the further development of design and control of VIA, robots will have better flexibility and will increase their adaptability to the human-centered environment since they will become able to better execute human challenges and mimic human behavior patterns. By analysis of human mechanical impedance in interaction tasks (co-contraction of antagonistic muscles for impedance and kinematic reconfiguration for motion), we will learn about patterns for human-like impedance shaping mastered through the centuries. This study will enhance the understanding of humans as robot collaborators, but also help Cartesian stiffness shaping by combining both kinematic reconfiguration (change of position) and change of stiffness in joints. Following experience about the study on humans, the objective of the stiffness planning project challenge is to develop algorithms for Cartesian stiffness shaping based on kinematic reconfiguration, algorithms based on joint stiffness shaping, and, finally, algorithms which combine both approaches through the optimization. All developed algorithms will be evaluated on already existing robot simulation models and also on the state-of-the-art physical robots (collaborative with the possibility to emulate variable joint stiffness – Panda, and robots with real VIA - QB). The specific challenge of this project is to provide firm fundamentals in interaction planning and estimation as prerequisites for adequate robot control in interaction tasks while ensuring unobtrusive adaptation to the task dynamics and the interactions with the human or the environment which is uncompromisingly safe for all involved partners.

On top of the presented objectives, the aim of the project is to position and profile the project group in the robotics research community in this promising area of research. Topics of impedance estimation and planning are not only very relevant for next-generation collaborative robots, but also for healthcare robotics (especially surgical and rehabilitation robotics which requires physical interaction with humans). Although very young, all researchers have already been involved in European projects and PI and three researchers have worked as visiting researchers in European institutions, so the project objectives could be easily communicated and exploited in the wider European research activities.

1.2. Concept and methodology

With an ultimate goal to contribute to physical human-robot interaction and enable robot impedance planning and control of collaborative human-robot tasks, the concept of this project is to face the most current challenges in this direction: Cartesian impedance estimation and impedance planning through the joint position and impedance/stiffness planning (since simultaneous stiffness/position control of VIA has already been tackled successfully by the project group and many other researchers). Besides a solid theoretical background which project team poses in the field of design and control of VIA and robot motion planning, we will look at humans as an inspiration for new generation collaborative robots' behavior. Fig 1. presents a general concept of human inspiration for robot impedance planning but also for the planning of robot's behavior in collaborative tasks with humans where human impedance has to be predicted and encountered by the robot. The presented ideas and methods which will be targeted in the project are illustratively depicted in Fig 2.

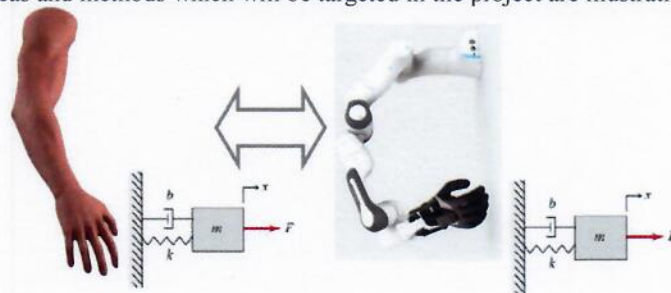


Figure 1 – Human-inspired robot impedance for the robot behavior planning in challenging interaction tasks and collaborative tasks with humans planning where human impedance has to be predicted and encountered by the robot

Our idea is to develop reliable online estimators of both robot's and human's joint and Cartesian impedance by acquiring minimum possible information from sensors. With the knowledge of a robot's impedance in real-time, a firm basis could be made for planning and control of new generation robots' impedance. That would allow tasks such as object manipulation, walking and grasping to be performed in a more energy-efficient, intuitive, and human-like way with the increased safety. On the other hand, the insight of human biomechanics evaluated through the impedance in real-time would be useful in human-robot collaborative tasks or teleoperation tasks, as a robot is able to successfully finish delicate

tasks only when it is equipped with the information of human's impedance. Nevertheless, the estimation of human impedance would provide researchers with an important tool for the understanding of Parkinson disease and/or other motor control illnesses.

Methods for the stiffness estimation arise from the main concept of joint stiffness estimation which is based on finding the first derivative of flexibility torque with respect to the flexible transmission. The online non-parametric joint stiffness estimator³ directly estimates robot joint stiffness from the link side by exploiting information of torque and position sensors mounted on the link. However, the observability issue prevents this method to estimate stiffness when the link is in the steady-state. A different perspective on this challenge relies on information from the drive side⁴. In this case, stiffness estimator has two phases: first, flexibility torque that acts on each motor is estimated using residuals and then Recursive Least Square algorithm is applied to find torque and stiffness approximations, which are parameterized with respect to the flexible transmission. As this approach requires the knowledge of motor speed, estimated by Modified Kinetic Kalman Filter, the main drawback is the necessity to tune multiple parameters of Kalman filter. Direct stiffness estimation with proven convergence of the algorithm has been proposed⁵, however to the best of our knowledge, it has not been applied to control stiffness in the closed-loop yet. Furthermore, a few works have been done in the field of impedance estimation⁶. Regarding Cartesian impedance of robots, estimation of contact impedance during the interaction of a robot with the unstructured environment has been achieved⁷, while human arm's Cartesian stiffness has been identified through the interaction with robot's end-effector equipped with force sensor for the final purpose of teleoperation⁸. We will aim at developing a reliable method for joint impedance estimation, which will require only the knowledge of drive and link positions. Actually, our methodology will combine abundant and promising results from the theory of observers with the practical necessity of impedance estimation.

As we have already done in our previous research⁹, the simulation model of QB robot actuated by QB Move maker pro VSA in the antagonistic setup will initially be used for validating impedance estimators. For the sake of testing experimental joint impedance estimation results, we will use QB robot with 4DoF driven by a QB Move maker pro VSA in the antagonistic setup, where 6-axis force/torque sensor ATI Mini 45 will be mounted for obtaining the ground-truth data. Furthermore, the industrial robot (ABB brand) in the lab with an external force/torque sensor will be used for the verification of Cartesian impedance estimation. Regarding human impedance estimator, first Hill's and Huxley's model of muscles¹⁰ will be used for the simulation test of the estimator. Then, estimator will process data from wearable motion and EMG sensors mounted on the human subject, which will be used to measure the position and velocity of joints and electrical activity of muscles. For the initial phase of the project activities on impedance estimation, we will assume that the electrical motor dynamics can be linearized, and we will adopt a linearized model of the human arm in order to simplify and accelerate computations.

With the further development of VSA actuators, it will be possible to shape next-generation robots' performances such as speed, precision, the safety of interaction and actuator limitations, following patterns similar to human ones. It is a biologically inspired approach where the increase of human's muscle contraction is equivalent to the increase of VSA stiffness. Guided by this principle, we will observe the Cartesian stiffness of the robot's end-effector, a variable of great significance, that depends on the stiffness in the joints, and in the case of the kinematic redundancy of the robot, also on its configuration. Therefore, the first step is to explore how desired Cartesian impedance can be achieved through kinematic redundancy (by reconfiguring joints positions) and then in the second step to examine and develop methods for achieving Cartesian stiffness by changing the impedance of individual robot joints. Finally, we aim at controlling a robot arm's impedance and position similarly to humans by combining these two approaches. We will achieve this by applying methods for the simultaneous position and impedance control at the level of single VSA actuator/joint¹¹.

³ G. Grioli and A. Bicchi (2010), "A non-invasive, real-time method for measuring variable stiffness,".

⁴ F. Flacco, et al. (2012), "On-line estimation of variable stiffness in flexible robot joints," *Int. J. Robotics Res.*, 31(13), pp. 1556–1577.

⁵ T. Menard, G. Grioli, and A. Bicchi, (2013) "A real time robust observer for an agonist-antagonist variable stiffness actuator," in *2013 IEEE International Conference on Robotics and Automation*, pp. 3988–3993.

⁶ B. Siciliano and O. Khatib, (2016) "Actuators for soft robotics," in *Springer Handbook of robotics*, J. Fagerberg, D. C. Mowery, and R. R. Nelson, Eds. Springer, ch. 21, pp. 243–282.

⁷ N. Diolaiti, C. Melchiorri, and S. Stramigioli, "Contact impedance estimation for robotic systems," *IEEE Trans. Robot.*, vol. 21, no. 5, pp. 925–935, 2005.

⁸ Ajoudani, A., Tsagarakis, N., & Bicchi, A. (2012). "Tele-impedance: Teleoperation with impedance regulation using a body-machine interface". *Int. J. Robotics Res.*, 31(13), pp.1642-1656.

⁹ Jovanović, K., Lukić, B., & Potkonjak, V. (2017). "Feedback linearization for decoupled position/stiffness control of bidirectional antagonistic drives". *Facta Universitatis, Series: Electronics and Energetics*, 31(1), pp. 51-61.

¹⁰ Jovanović, K., Vranić, J., & Miljković, N. (2015). Hill's and Huxley's muscle models: Tools for simulations in biomechanics. *Serb. J. Electr. Eng.*, 12(1), 53-67.

¹¹ Lukic B., Jovanovic K. and Sekara T., (2019) Cascade Control of Antagonistic VSA - an Engineering Control Approach to a Bio-inspired Robot Actuator. *Front. Neurobotics* 13:69. doi: 10.3389/fnbot.2019.00069



A method for optimizing the passive stiffness of a robot's end-effector through an iterative procedure¹² is achieved in a way that passive stiffness (mechanically introduced) is combined with the active one (introduced by control) to obtain the desired behavior of the end-effector. The disadvantage of iterative procedures is that the (maximum) number of iterations which will lead to the optimal solution is not known in advance. Furthermore, in order to enable an algorithm to work in a real-time, a computer with specific performances (enough computation speed) is required. The need for robot's reconfiguration during task execution has already been recognized in the industry when a robot is reconfigured in order to achieve higher stiffness and consequently higher precision. Initial work done by one part of this project team has been presented at the RAAD 2019 conference¹³. It considers control and optimization of redundant robot's end-effector Cartesian stiffness by changing kinematic configuration and has the potential to work in a real-time and rapidly reach locally optimal solution. This paper was awarded as the best paper in the student category, which proves the quality of the research as well as the attractiveness of the topic covered in the paper. Furthermore, a promising method for end-effector stiffness optimization based on machine learning¹⁴ has been proposed by part of the project team. The starting point for optimization will be the continuation of work related to robot reconfiguration using the gradient and motion in the null-space of the robot¹³, where optimization is viewed as a control problem. Also, the extensions of the approach presented in¹² will be considered where joint impedance optimization would be included in the iterative optimization algorithm. One of the possible optimization algorithms to be analyzed is quadratic programming and its extension to more complex functions with nonlinearities and constraints - *Sequential quadratic programming*¹⁵.

The impedance planning activities in the project are well covered by existing resources and models. QB robot with 4DoF driven by a QB Move maker pro VIA (as an antagonistic tendon-driven VIA), an industrial robot (ABB IRB 120) with the external 6-axes Force/Torque sensor are all available in the laboratory. Within the ECCEROBOT project and the PI's doctoral dissertation, software for the simulation model of humanoid robot's trunk with VIA (antagonistic drive) is developed and it is at the disposal. Testing of the algorithms within simulations will be implemented in MuJoCo HAPTIX graphical environment. There is already a model of Panda robot, which is an antropomorphic collaborative robot with 7 DoF, planned for a final evaluation of the contribution of this project. Panda robot and its MuJoCo HAPTIX model which was developed at the Jozef Stefan Institute in Ljubljana, with whom we have established collaboration and common bilateral scientific project. The visit of the project team to the Institute Jozef Stefan is planned for the purpose of fast and efficient training on working with Panda robot. Mentioned collaborative robot does not have VIA actuators, but with the help of force and torque sensors, it provides the ability to emulate the behavior of the robot with VIA by control.

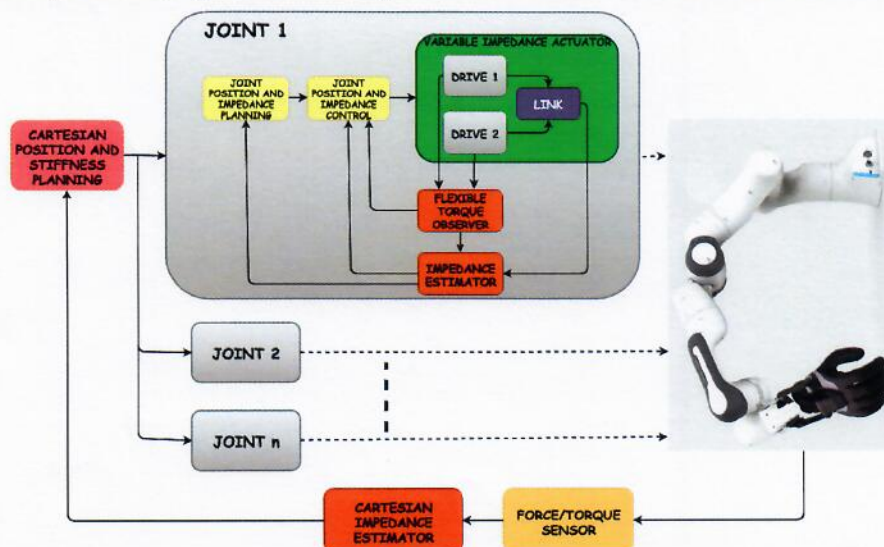


Figure 2 – Functional scheme of the concept end methodology of robot impedance planning and estimation for control of a new generation of collaborative robots

Proposed objectives and methods will help to face the outlined challenges resulted from the previous research activities of the PI and the project team. The interest of Kosta Jovanovic (PI) for physical human-robot interaction and variable impedance actuators/compliant actuators started during his first project engagement on Embodied in Cognition

¹² Petit, Florian, and Alin Albu-Schäffer. (2011) "Cartesian impedance control for a variable stiffness robot arm." *In 2011 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*. pp. 4180-4186

¹³ Lukić, Branko, et al.(2019) "KUKA LWR Robot Cartesian Stiffness Control Based on Kinematic Redundancy." *Int. Conf. on Robotics in Alpe-Adria Danube Region*. Springer, Cham.. pp. 310-318

¹⁴ Nikola Knežević, Branko Lukić, and Kosta Jovanović. (2019)"Feedforward Control Approaches to Bidirectional Antagonistic Actuators Based on Learning." *Int. Conf. on Robotics in Alpe-Adria Danube Region*. Springer, Cham pp. 337-345

¹⁵ Boggs, Paul T., and Jon W. Tolle. (1995) "Sequential quadratic programming." *Acta numerica*, 4: pp. 1-51.

Compliantly Engineered Robot – ECCEROBOT (2009-2011, FP7 funded project). The role of the ETF team and PI as project participants was modeling and control of the anthropomorphic compliant robot in contact and non-contact tasks. The fruitful engagement of the PI on the ECCEROBOT project resulted in 14 publications (4 journal papers with impact factor). During 2013, PI spent 6 months as visiting researcher at DLR Institute of Robotics and Mechatronics as one of the leading European groups in VIA (VIA robotic system: DLR hand-arm-system, projects STIFF, Viactors, PHRIENDS, SAPHARI) where he was engaged in human-like VIA antagonistic system development under supervision of Dr. Alin Abu Schaffer. PI is coordinating project of bilateral scientific collaboration between Republic of Serbia and Slovenia (PI Dr. Tadej Petric) entitled: “Establishing new tools to facilitate new generation humanoid robot capabilities for collaborative human-robot object manipulation” (2018-2019, Funded by Serbian Ministry of Education, Science and Technological Development). Within this project Cartesian stiffness control has been investigated intensively and it presents solid background of involved Serbian researcher for this project – Dr. Marija Radmilovic (Subtask3.1, Subtask3.3) and Branko Lukic (Subtask2.1, Subtask 3.2). Kosta Jovanovic (PI) was coordinated Horizont2020 cascading project “Reconfigurable Assembly of Airport Signalization Lights using Collaborative Robots” (9/2018 – 2/2019, under ReconCell H2020 project), where involved project members gained significant hands-on experience with collaborative robot which is important for the experimental section of the project - Branko Lukic (Subtask4.1, Subtask 4.3), Nikola Knezevic (Subtask4.1), Marija Radmilovic (4.2), and Nenad Jovicic (4.3). At the same time, Dr. Kosta Jovanovic, Dr. Marija Radmilovic, Branko Lukic and Nikola Knezevic are members of the project “Research and development of intelligent service robots of anthropomorphic characteristics” (2011-2019, Funded by Serbian Ministry of Education, Science and Technological Development) which contributed to the understanding of needs and challenges in service robot development for human-centered environment. Dr. Marija Radmilovic and Dr. Sofija Spasojevic are members of the group from Mihajlo Pupin Institute which is involved in the project of bilateral scientific collaboration with the Republic of China “Next Generation Technology for Ubiquitous Collaborative Robotics (UbiCbot)” (2018-2019) gaining hands-on experience with collaborative Universal Robots UR5. Team expertise is amended with Dr. Sofija Spasojevic’s project experience in wearable sensors (Task1) on the project of bilateral scientific collaboration with Portugal, Institute Superior Technico, “COLBAR – Synthesis of collaborative behavior attributes with service robots based on visually-motor human-machine interaction” (2013-2014) and project of bilateral cooperation with Republic of Slovenia “Advanced Perception and Learning for Cognitive Heterogenous Robots” (2015). Dr. Nenad Jovicic has reach experience in projects with the ETF group Biomedical Instrumentation and Technologies - BMIT, just to name the most important BMIT project related to the project topic – “Human behavioral Modeling for enhancing learning by Optimizing Human-Robot interaction (HUMOUR)”, very relevant to the Task1. Finally, the best recognition for the research and innovation results and potential of ETF robotics researchers Dr. Kosta Jovanovic, Dr. Nenad Jovicic, Branko Lukic, Nikola Knezevic is engagement on two Horizont2020 projects which gathered regional competence centers in robotics to support robotics innovations in industry: DIH-HERO – Digital Innovation Hubs in Healthcare Robotics (2019-2022, Horizon2020 funded) and DIH² - A pan European Network of Robotics DIHs for Agile Production (2019-2022, Horizon2020 funded).

1.3. Ambition

The objectives of the project are ambitious. However, we can be confident that most of the objectives will be achieved since the concept and methodology of the project rely on existing research activities and results (see Section 3.1), and project experience (see the last paragraph in Section 1.2) of the project team. However, the full concept of a fully autonomous robot partner which can plan and control the impedance to match its human collaborator (based on the estimated impedance value) is yet to be reached in the further research, which we hope to contribute significantly in this project.

Collaborative robots, a technology that has not yet achieved its maximum level of maturity, has been studied by most researchers in industrial and service robotics. The high potential of the proposed project is the enhancement of physical human-robot collaboration by improving the safety at the control level and at the level of new-generation, safe, and efficient actuators with variable impedance introduced passively (actuators compliance). Such a robot will prevent damage during the impact since the inertia of the end-effector is decoupled from the rest of the robot by elastic element in the actuator which makes it safer. Furthermore, a robot will be more energy-efficient due to the ability to absorb and recover energy in elastic elements, and at the same time to outperform the rigid robot in repetitive tasks by exploiting mechanical resonance as a phenomenon. Although a lot of effort will be invested and project initiated in this field, we would like to tackle and contribute to the three key challenges: impedance estimators, mapping Cartesian impedance to joint impedance and kinematic configurations, and human-like impedance with the aim to achieve efficient human-robot collaborative tasks.

Finally, we would like to point out the main concepts and approaches to be developed within the project which have not been presented in the research community with a success so far. Firstly, although a large number of papers were published and research has been done in stiffness/impedance control, they are almost exclusively done either in the open-loop or information about the stiffness is provided by the mathematical model. The main reason for it lays in the fact that impedance is not a measurable variable, so reliable and fast impedance estimators are primarily needed for the successful control of impedance. While there are recent results of stiffness estimation, almost no work has been done about VSA



damping estimation, so we are confident that our project idea of exploiting abundant observer theory can significantly contribute to the research society. The knowledge of stiffness, damping terms and impedance in total would affect positively the development of closed-loop impedance control laws, increasing the overall safety and efficiency of future factories. Secondly, physical interaction shaped through Cartesian impedance between robots and environment can be obtained by exploiting active compliance (compliance introduced by impedance control, such as Hogan's). In this project, we will take advantage of the increasing trend in the design and control of VIAs and set the desired Cartesian robot stiffness by changing robot joint positions (in order to keep the end-effector position unperturbed we will exploit redundancy) and joints' impedances which are variable because of VIA. Although this approach was introduced on the conceptual level and has a lot of constraints by Albu Schaffer¹⁶, computer hardware and software resources and new methods in control of VIA now allow us to execute impedance planning for robots with passive compliance. Methods which we aim to use in the project, and which should support the real-time implementation are explained in Section 1.2.

The specific ambition of the proposed research is to profile the project group as a respectable group in the area of impedance planning and estimation. With proposed project results, gained additional knowledge during the project execution, and already significant presence of the group members in European robotics community, we are very confident about the potential the project group will have on the European level for shaping the further research in collaborative robotics and physical human-robot interaction as a core competences to factories, hospitals and homes of the future.

2. Impact

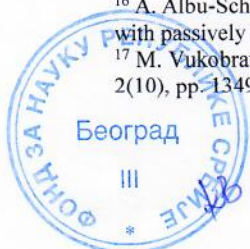
2.1. Expected impact

Although the project topic itself should provide new perspectives and opportunities to human-robot interaction as a foundation for breakthroughs in science and industry, it impacts probably, even more, the Serbian scientific community for gathering young researchers in the promising field of robotics. Project members are from two leading robotics institutions in Belgrade (ETF and IMP) and they are researchers with European perspectives due to already significant track on research visits to renowned robotics group (at DLR, TUM, Uni of Kaiserslautern; Jozef Stefan Institute, Toronto Rehabilitation Institute), project collaborations (with University of Twente, Fraunhofer IPA, ETH Zurich, Italian Institute of Technology, Imperial College London, VTT Finland, etc.) and dual PhD degrees between ETF and important European robotics institutions (Marija Radmilovic, Sofija Spasojevic). The project team is built on joint activities of the researchers on project and publications, but this project is unique opportunity to exploit their knowledge and establish national competence center in human-robot interaction and collaborative robotics as a promising area of research impacting the industry, healthcare, and everyday lives. Combining biomedical engineering (human behavior/motion analysis) and robotics will create a new knowledge base and open new possibilities for learning techniques and artificial intelligence which are at the moment out of the scope of this project. Built on the origins of famous Belgrade School of Robotics¹⁷ lead by Academicians Miomir Vukobratovic and Rajko Tomovic in the 1970s and Academician Dejan Popovic and Veljko Potkonjak in 1990s who are still active scientific leaders in the field supporting the group, the group will easily reach its recognition and reputation in the robotics community. With already respectable visibility of the PI on EU projects (2 Horizon 2020 IA, 2 Horizon cascading), and very reach international connections of the researchers (research stays and dual PhD degrees) with reputable European institutions who are project leaders in VIA, soft robotics, industrial, service and healthcare robotics, and gained additional knowledge during the project execution, the group will have significant EU project consortium potential since the project targets impedance estimation and planning as a complementary field of research towards next-generation collaborative robots driven by VIA as well as factories, hospitals, and homes of future. Finally, the impact of the project and establishing the group around it, could provide new opportunities for next-generation roboticists in Belgrade and prevent brain drain (or even reverse it) which was present in last year in Serbian robotics (5 researchers left from ETF and IMP to ETH Zurich, EPFL Lausanne, KTH Stockholm).

With the recent trend of development and control of variable impedance actuators (VIA) in scientific community evidenced in EU projects and number of publications (see Paragraph 1 in Section 1.1), and industry needs for more space-requiring, inherently safe but still fast and precise robots, there are no doubts that the next generation of collaborative robots will be driven by VIA. Concerning robot impedance estimation, it will mainly and crucially influence the development of novel control laws when the loop is closed on impedance. As previously noted, impedance is not a measurable quantity and this fact has decelerated the progress of system control theory in the field of soft robotics. To the best of our knowledge, there have been no experimentally validated control laws when joints' stiffness or damping are known in real-time. However, if we would empower the scientific community with the tool of impedance estimation, we will witness a great expansion of control laws applied to soft robotic systems and, consequently, robots with the ability to perform tasks exceptionally in terms of dexterity, energy-optimization, and safety. With more demanding requirements

¹⁶ A. Albu-Schaffer, M. Fischer, G. Schreiber, F. Schoepp and G. Hirzinger (2004), "Soft robotics: what Cartesian stiffness can obtain with passively compliant, uncoupled joints?," *IEEE/RSJ Int. Conf. on Intelligent Robots and Systems (IROS)* Sendai, pp. 3295-3301

¹⁷ M. Vukobratovic (2000), "Belgrade School of Robotics", *Facta Universitatis: Series: Mechanics, Automatic Control and Robotics* 2(10), pp. 1349 - 1376



in healthcare and industry, efficient impedance estimations will be necessary, outperforming models provided by manufacturers, as those might not suit the actual impedance due to exploitation. Then, the industry will be the first to benefit from superior robots that can work safely side-by-side to humans. Besides, methods and knowledge base in human impedance estimation will allow new studies in ergonomics of workplaces, but even more behavior pattern of humans as collaborators of robots which should adjust their behavior for efficient and safe human-robot collaborative tasks. On the other hand, the insight of the robot's impedance estimation will benefit to the research of human arm's impedance by yielding the ideas for necessary sensor information. Even more significantly, it will allow healthcare robots to be better rehabilitation partners adjusting impedance to support and follow different level in the rehabilitation process. And on the top of the project impacts to the healthcare, development, and adoption of surgical robots is directly related to robots' ability to plan, estimate and control the impedance of the end-effector. With Panda robot as a leading collaborative robot running on robot operating system (ROS), as a standard open-source platform for unification of robots and robotic components communication and control, new research and education opportunities will be provided for the project team but also new students and researchers at the institutions. With already existing pieces of equipment (UR5 robots, QB robot, VIA, force/torque sensors) and new equipment purchased for the project purpose, the group will become a leading regional research and educational center for collaborative robots and human-robot interaction. These promising research areas will significantly upgrade the competences in robotics where PI's institution and his research group has already been recognized as the regional competence center (DIH) in industrial (H2020 project DIH²) and healthcare robotics (H2020 project DIH-HERO).

2.2. Dissemination of results

Since the proposed research has two main target groups: science and industry, dissemination of results will be primarily focused to them, but also available to practitioners and wider audience interesting in the development of the robotics as a technology. Research achievements will be presented (as also planned in the project budget) to the national science community at IcETRAN conference as a leading conference with robotics section in Serbia (June 2020, June 2021), to leading regional robotics conference Int. Conf. on Robotics in Alpe-Adria-Danube Region RAAD (Poitiers, France in July 2020; Linz, Austria in July 2021) as well as at one of the leading global conferences in robotics IEEE Intelligent Robots and Systems IROS (Prague, Czech Republic on October 2021). It is expected that three main research directions (knowledge acquisition on human impedance, impedance estimation and planning) result in three journal papers which will be submitted to leading journals with scope in robotics and biomechanics which will be selected as either open access journals or journals with possibility for publishing with open access rights in compliance with European initiative for open science. One of the papers will present data collected on human impedance estimation (Subtask1.3) as an open data set for research on human-robot interaction, the second will be focused on novelties in robot impedance estimation, and the third one will present algorithms for Cartesian impedance planning by redundant robot reconfiguration and shaping of joint stiffness. Since the experimental evaluation of the algorithms will be done on UR5 (Subtask4.2) and Panda robot (Subtask4.3) in ROS (open source meta operating system), the results will be also uploaded freely available to ROS community for others to collaborate, contribute and reuse results, building the reputation of our project team in this fast-growing community. The project results will be communicated to the industry through the communication channels which are being built by European leading competence centers in robotics within ongoing Horizon 200 innovation actions with participation of ETF as a regional competence center. Within DIH², project MARKETPLACE has been set up which will serve to present best practices and prospective research results primarily to companies in agile production (manufacturing). Within DIH-HERO project an Online Service Catalog has been set up by the consortium members to expose research achievement which can advance current level of European healthcare robotics. Participation of ETF in these two EU projects will significantly contribute to possibility to present project results to manufacturing and healthcare industry across Europe. Furthermore, since leading European research institution is involved in MARKETPLACE and Online Service Catalog, they will be aware of the project achievement which we find very important for future European project activities. Research results will be also presented to local industry, education sector, and wider audience at fairs where our group and institutions (both ETF and IMP) take part annually: International Fair of Technology and Technical Achievements (May) and Fair of Education (October). Project roll-ups and flyers are planned for fairs and conferences in the project budget. Finally, as explained in the first paragraph of the Section 2.1 the group of Belgrade roboticists from two leading institutions will be gathered and the website will be launched to promote primarily the group results, competencies and potentials, but also the project results.

3. Implementation

3.1. Credentials of PI and members of Project team

Thanks to the constant support of his mentor, prof. Potkonjak, **Kosta Jovanovic (PI)** had an opportunity to work on EU projects in robotics from the very first professional engagement (FP7 project ECCEROBOT, 2010), and since then he has been constantly involved in project activities and even coordinating local group activities (two Horizon 2020 IA for innovations in industrial and healthcare robotics, two more Horizon 2020 cascading grants regarding use of collaborative robots). Although PI finished his Ph.D. in 2016, he has already published 11 papers in journals with impact factor and



has significant citations for the age of 33 – more than 500 (source Google Scholar) or 300 (source Scopus). During his Ph.D. studies, he was visiting researcher at Technical University of Munich (2 months) and DLR Institute of Robotics and Mechatronics (6 months) which was at the same time pioneering institution in collaborative robotics contributing to the first collaborative KUKA robot. His research interests (all verified in publications) are modeling and control of compliant robots in contact and non-contact tasks. In this field of research, he has already supervised six Ph.D. thesis (one finished, five ongoing). He has been awarded for his academic and scientific work from his Faculty - best graduate student, University of Belgrade - the best student research paper in technical sciences at University, Nikola Tesla Foundation - Junior Achievement Award for the outstanding achievements of young people, as well as 4 best paper awards at domestic and international conferences in robotics. He was also awarded as the best Serbian young scientist by SUPERSTE and YOUTH HERO portals and finally awarded by American Chamber of Commerce in Serbia for Excellence in Serbian Society (category: Science and Education). PI has already successfully organized Special sessions “Advance in Human-Robot Interaction”¹⁸, at 28th RAAD conference in Kaiserslautern, Germany and Special issue “Human-Like Advances in Humanoid Robotics: Motion, Actuation, Sensing, Cognition and Control” in *Frontiers in Neurobotics* journal (IF=3.000), both very relevant for the project. **Dr. Marija Radmilovic (P1)** gained her Ph.D. (2018) in bilateral degree between Ecole Centrale de Nantes (France) and University of Belgrade, under co-supervision of project PI. The topic of her Ph.D. degree, as well as key publications, are based on dual-arm robot manipulation inspired by human skill with extensive record in human motion planning and tracking (relevant for Subtask 1.2 - look at Table 3.2), robot manipulation tasks planning based on the inversed kinematic and inverse optimal control (3.1, 3.3). **Dr. Sofija Spasojevic (P2)** gained her Ph.D. (2018) in bilateral degree between Institute Superior Technico (Portugal) and the University of Belgrade with the topic of quantitative human movement analysis using wearable sensors in rehabilitation where the impedance is one of the important indicators (1.1, 2.2). For this research, she was awarded Silver best researcher award at International Workshop on New Trends in Medical and Service Robotics in 2018. **Branko Lukic (P4)** is a Ph.D. student (PI is a supervisor) in the field of Cartesian impedance control and simultaneous stiffness and position control of VIA (2.1, 3.2) working on QB robot (4.1) and 7DoF collaborative KUKA robot as target systems (4.3). His research work has already been proven in publications with the most significant award – young researcher award for work on new approaches to Cartesian control by RAAD2019 conference (2.1, 3.2). **Nikola Knezevic (P5)** is a freshman Ph.D. student and teaching assistant (PI is supervisor) in the field of collaborative robot and impedance control based on learning techniques (3.1, 3.3) verified already with first publications. **Dr. Nenad Jovicic (P3)** gained his Ph.D. at the University of Belgrade (2013) in electronics applied in biomedical engineering. In his career, he participated in a number of projects in wearable sensors where he was leading hardware and software design researcher (see project history in the biography). Although his main contribution to the project according to his reach practical experience is experimental activities, he has very solid publication record with papers on development of wearable sensors in reputable journals and more than 150 citations (source Scopus). All project members have significant history of working on joint projects and European collaboration in the field of collaborative robots, robot control, motion planning and tracking, wearable sensors and related project topics which are considered as one of the strongest points of this proposal (please see last paragraph in Section 1.2). The project team is very young (age P1-33, P1-32, P2-32, P3-42, P4-29, and P5-26), but very competent for the proposed research since all involved researchers have very focused research track in the field of their project engagement from the beginning of their career: physical human-robot interaction (PI, P1, P4), robot and VIA control (PI, P4, P5), human-like motion planning (P1, P2), biomedical engineering focused on wearable sensors (P2, P3) and motion tracking (P1, P2).

3.2. Implementation plan

The implementation plan of the project has three partially correlated lines of activities and a comprehensive experimental evaluation section which make four tasks in total. TASK1 - Assessment of human impedance, considers tools, scenarios and finally an experimental section with knowledge acquisition about impedance behavior of humans. The role of the TASK1 is twofold: as a reference point for robot impedance planning and as a tool for efficient human-robot collaborative tasks. TASK2 – Robot impedance estimators, aims to reconsider and propose new methods for estimating mechanical impedance of the robot which is not a measurable parameter, but still a key one to control physical robot interaction. The role of TASK2 is also twofold: to develop instruments which will enable the development of advanced closed-loop impedance/stiffness control and to enable tracking of achieved values of the desired Cartesian robot impedance and consequently joint impedance. TASK 3 - Robot impedance planning will exploit current level of hardware (variable impedance actuators, fast robot controllers) and software/methods (optimization techniques) to plan kinematic configuration and joint impedance of the robot necessary to achieve desired Cartesian impedance while preserving the desired Cartesian position. The role of TASK3 is to develop algorithms for Cartesian impedance planning based on either kinematic reconfiguration of a redundant robot through the null space or planning in robot joint stiffness or a combination of both. TASK 4 - Experimental evaluation of robot impedance planning and estimation, will verify the outputs of TASK1, TASK2, and TASK3 on real collaborative robots (which are able to emulate variable mechanical impedance by control) and robots with VIA (prototypes of new generation collaborative robots). The following paragraphs explain the work plan with the description, resources, and outputs of each of Subtasks, while methods are explained in previous Section 1.2. Checkpoints (milestones) and deliverable documents resulting from specific tasks are pointed out as well.

¹⁸ <https://agrosy.informatik.uni-kl.de/raad/#accepted%20special%20sessions>



TASK1 (M1-M15) – Assessment of human impedance (Milestones: M1.1 – M7, M1.2 – M15, Deliverables: D1.1 – M9, D1.2 – M15)

The aim of the task is to provide human-like impedance behavior of a robot. Although a lot of research effort has been invested, projects are done and papers are published about Cartesian impedance robot control and variable stiffness actuators, stiffness planning guidelines are still missing. This task will comprehensively investigate Cartesian and corresponding joint impedance behavior of humans together, as a reference point for robot impedance planning and a tool for efficient human-robot collaborative tasks based on understanding and predicting human actions

Subtask 1.1 (M1-M9) – Human impedance estimators: Estimating human arm's impedance without actively perturbing the observed arm has been a great challenge since we are physically unable to obtain information crucial for the estimation. Compared to robots, where we are able to access and measure internal variables, such as electrical drive position and velocity, it has been so far impossible to evaluate the length of human muscles in real-time. Actually, only the position and velocity of joints such as elbow and wrist are measurable. Until now, stiffness of the joint has been calculated by applying external force to the arm and measuring the change of joint's position, but that solution is not acceptable for most delicate use-cases as it significantly impacts human's movement. The alternative solution offered offline identification of stiffness model, which turns out to be particular for each human. Leaning on our knowledge we will propose new approaches to human's joint and Cartesian impedance estimation with the objective to make a generalized solution. *Subtask1.1 specific resources:* - / *Subtask1.1 staff (8PM):* Sofija Spasojevic – 6.4PM, Nenad Jovicic – 1.6PM. / *Subtask1.1 output:* two different stiffness estimators for human's stiffness assessment will be proposed – one will be a solution already available from the state-of-the-art (with possible enhancements) and one will be a new solution proposed by the authors through the project activities.

Subtask1.2 (M3-M12) – Development of scenarios for assessment of human impedance: Humans perform interaction tasks with ease and precisely by modulating its mechanical stiffness. It is intuitively expected and proven in the literature that co-contraction of antagonistic muscle groups (which is highly related to joint mechanical impedance) depends on velocity¹⁹, precision²⁰ or high interaction force movements²¹. However, the mutual correlation between these parameters is not well studied and especially not from the point of view of human-like robot impedance planning. Therefore, this specific has its own objective to design characteristic scenarios (e.r. heavy/light object manipulation tasks, tasks with impact force, tasks with different velocity levels, tasks which require different precision levels, etc.) which will enable comprehensive knowledge acquisition phase in the experimental section (Subtask1.3). Although this task is challenging, we rely on the experience of project member (Marija Radmilovic) who did a similar study for the planning of human dual-arm manipulation tasks with the aim of generating human-like robot trajectories. *Subtask1.2 specific resources:* - / *Subtask1.2 staff(5PM):* Marija Radmilovic (Tomic) – 5PM / *Subtask1.2 output:* A document - guidelines, with a comprehensive list of contact and non-contact tasks for the study of human joint and Cartesian impedance (3D space: torque-force/velocity/impedance) with correlations between typical task characteristics (interaction force intensity, impact forces, different velocity or precision levels, etc.).

Subtask1.3 (M7-M15) – Knowledge acquisition – an experimental evaluation of human impedance: Since impedance presents force reaction to the motion deviation from the equilibrium trajectory it is not directly measured parameter, but it will be calculated from the measured forces/torques and motion deviations. Cartesian impedance characteristics will be acquired by industrial robot ABB IRB 120 which will perform the prescribed motion of its end-effector which is at the same time Cartesian human position, while 6-axes force/torque sensor will be used to measure the level of interaction. Related joint stiffness will be estimated from the wearable sensors, where surface EMG measuring co-contraction of antagonistic muscle groups will be related to joint stiffness while joint motion will be measured by wearable motion sensors. Activities in Subtask1.1 and Subtask1.2 will establish a solid foundation and enable the start of the experimental Subtask1.3 by the M7. (Milestone M1.1). Subtask1.1 and Subtask1.2 will partially overlap with Subtask1.3 to enable subtasks interaction and gain feedback from the experimental section (Subtask1.3). *Subtask1.3 specific resources:* Wearable EMG/Motion sensors, robot ABB IRB120 with Force/Torque sensor ATI Axia80 / *Subtask1.3 staff(5.1PM):* Nenad Jovicic – 2.6PM, Nikola Knezevic – 2.5PM / *Subtask1.3 output:* A report on experimental evaluation of human impedance assessment (3D space: torque-force/velocity/impedance) as a reference point for robot impedance planning and a tool for efficient human-robot collaborative tasks. The experimental part of - Deliverable 1.2.

TASK2 (M5-M20) – Robot impedance estimator (Deliverable 2.1 – M20)

In this task, we aim at providing innovative solutions for the robot's impedance estimation. Since little research has been done regarding this topic, the task has a potential to significantly contribute to the overall safety of physical human-robot collaboration as it will allow the planning and control of the robot's Cartesian impedance. We will address the Cartesian

¹⁹ M. Suzuki, D. M. Shiller, P. L. Gribble, D. J. Ostry (2001), "Relationship between cocontraction, movement kinematics and phasic muscle activity in single-joint arm movement," *Experimental Brain Research*, 140(2), pp. 171-181.

²⁰ N. Hogan (1984), "Adaptive control of mechanical impedance by coactivation of antagonist muscles," *Transactions on Automatic Control*, 29(8), pp. 681-690.

²¹ C.J. De Luca, B. Mambrito (1987), "Voluntary control of motor units in human antagonist muscles: coactivation and reciprocal activation," *Journal of Neurophysiology*, 58(3), pp. 525-542.



impedance estimation of the robot's end-effector and impedance estimation at the joint level first by reviewing state-of-the-art results and then by proposing our solutions.

Subtask 2.1 (M5-M16) Cartesian impedance estimation for robots: Initially, the latest results in the estimation of a robot's Cartesian impedance will be reproduced from the literature and their performance evaluated. Then, innovative approach to estimating Cartesian impedance will be developed and tested on the model of a robot with variable impedance actuation in Matlab/Simulink (MuJoCo software, ECCEROBOT model available) for various use-cases: variable Cartesian stiffness and constant end-effector position or constant Cartesian stiffness and variable end-effector position). Finally, the novel method will be implemented and experimentally tested. Experience collected from human's impedance estimation (Subtask1.1) will offer a new perspective to possible solutions of this challenge. *Subtask2.1 specific resources: 4 DoF QB robot, Force/Torque sensor ATI Mini45, MuJoCo, ECCEROBOT model / Subtask2.1 staff (6.2PM): Kosta Jovanovic – 3PM, Branko Lukic – 3.2PM / Subtask2.1 output: two different estimators for robot's Cartesian impedance estimation – one will be a solution already available from the state-of-the-art (with possible enhancements) and one will be a new solution proposed by the authors through the Subtask2.1 activity.*

Subtask 2.2 (M9-M20) Joint impedance estimation for robots: Initially, a selection of state-of-the-art observers of robots' joint stiffness will be implemented, identifying advantages and disadvantages of each of them. As a next step, a new method for the joint impedance estimation will be developed and validated on a model of a robot with variable impedance actuation in Matlab/Simulink (QB move maker pro and the antagonistically-driven actuator models available). It is planned to develop in a parallel estimator of stiffness, damping and inertia values, combining it finally into impedance estimator. Once results are verified in simulation, the estimator will be evaluated on the experimental setup (QB move maker pro actuator and antagonistic VIA laboratory prototype). *Subtask2.2 specific resources: QB move maker pro actuator, an actuator with antagonistic drives - laboratory prototype, Force/Torque sensor ATI Mini45 / Subtask2.2 staff (6.2PM): Sofija Spasojevic – 6.2PM / Subtask2.2 output: two different estimators for robot's joint impedance estimation – one will be a solution already available from the state-of-the-art (with possible enhancements) and one will be a new solution proposed by the authors through the Subtask2.2 activity.*

TASK3 (M1-M22) – Robot impedance planning (Milestone 3.1 – M12, Deliverable 3.1 – M22)

This task opens several research points of great importance for safe physical human-robot interaction. First, we will give the answer on how to plan the desired impedance of the end-effector (or its static component - stiffness) in order to properly match the application of robot, for which we will draw the inspiration from the human impedance planning. As a main research point of the project, we will consider a way to obtain the desired Cartesian impedance by properly exploiting robot's kinematic configuration, redundancy of kinematic degrees of freedom and joints' stiffnesses. Due to the actuator limitations and joint stiffness range, this challenge becomes an optimization problem with nonlinear constraints, that has to be run in real-time.

Subtask3.1 (M1-M12) – Investigation on the influence of a robot kinematic configuration to Cartesian stiffness: The influence of the kinematic redundancy of the robot with constant (but limited) joint stiffness to Cartesian end-effector stiffness (impedance) will be studied. Since ensuring the end-effector position is the primary objective, robot null-space will be explored to Shape Cartesian stiffness. Joint motion range will be also considered in the Subtask. *Subtask3.1 specific resources: Computer with a fast processor for optimization solving tasks MuJoCo software. / Subtask3.1 staff (5.5PM): Marija Radmilovic (Tomic) – 3PM, Nikola Knezevic – 2.5PM / Subtask3.1 output: The algorithm for Cartesian stiffness shaping using kinematic redundancy of robot.*

Subtask3.2 (M1-M12) – Investigation on the influence of joint stiffness to Cartesian stiffness of a robot: The influence of variable stiffness (impedance) in joints driven by VIA in static robot configuration to Cartesian end-effector stiffness (impedance) will be studied. Since different joint stiffness levels influence the kinematic performance of the end-effector, this will be a topic of investigation as well. Due to limitations in mechanical design of VIA, joint stiffness range will be also considered in the Subtask. *Subtask3.2 specific resources: Computer with a fast processor for optimization solving tasks, MuJoCo software. / Subtask3.2 staff (7PM): Kosta Jovanovic – 2PM, Branko Lukic – 5PM / Subtask3.2 output: The algorithm for Cartesian stiffness shaping based on joint stiffness control.*

Subtask3.3 (M9-M22) – Investigation on overall Cartesian stiffness shaping: The subtask will be performed on the top of Subtask3.1 and Subtask3.2, as well as gained knowledge of human impedance planning (TASK1). Combining the kinematic redundancy (with limited joint motion range) and variable joint stiffness (with limited stiffness range) the problem will be considered as an optimization problem with nonlinear constraints, which should result in an algorithm for overall Cartesian stiffness planning with the possibility of real-time execution. *Subtask3.3 specific resources: Computer with a fast processor for optimization solving tasks, MuJoCo software. / Subtask3.3 staff (7.4PM): Marija Radmilovic (Tomic) – 5.4PM, Nikola Knezevic – 2PM / Subtask3.3 output: The algorithm for overall Cartesian stiffness shaping which combines kinematic reconfiguration and joint stiffness planning.*

TASK4 (M13-M24) – Experimental evaluation of robot impedance planning and estimation (Deliverable 4.1 – M24)

The aim of this task is to verify project contributions on three real robots by thorough hands-on experience. Each of robots has its own characteristics and therefore it is important to verify the efficiency of human-like stiffness planning (TASK1 output), achieve good stiffness planning – mapping between desired robot Cartesian stiffness and joint stiffnesses and positions (TASK3 output), which will be estimated based on TASK2 output. Furthermore, each robot has its own



limitations - joint position and stiffness range as well as methods for a simultaneous joint position and stiffness planning (QB robot has variable impedance actuators UR5 and Panda emulate variable impedance by the control system).

Subtask4.1 (M13-M18) - Experimental evaluation on 4DoF QB planar robot with variable stiffness actuators: The experimental verification starts with QB planar robot to allow stiffness planning and estimation in the reduce 2D space. However, both redundancy and variable stiffness QB actuators enable comprehensive evaluation, while easier computation and ensuring real-time implementation of the algorithms developed in TASK3. Simultaneous position and stiffness control of the robot's QB move maker pro actuator can be used from previous authors work. *Subtask4.1 specific resources: QB robot, 4DoF robot with variable stiffness actuators, Force/Torque sensor ATI Mini45 / Subtask4.1 staff (6.6PM): Kosta Jovanovic-1.4PM, Branko Lukic-3.2PM, Nikola Knezevic-2PM / Subtask4.1 output: Evaluation report - TASK2 and TASK3 outputs on 4DoF QB planar robot with variable stiffness actuators.*

Subtask4.2 (M16-M24)- Experimental evaluation on 6DoF collaborative robot UR5: The experimental verification on 6DoF collaborative robot of anthropomorphic structure. Project team members have experience in UR5 robot programming and control and since it is programmed in ROS interface, the activities of this task will help efficient final evaluation activities in Subtask4.3 since very similar ROS interface is used. Both stiffness estimators (TASK2 outputs) and stiffness planning algorithms (TASK3 outputs) will be verified. *Subtask4.2 specific resources: Robot UR5, 6DoF collaborative robot arm; Robotiq FT300 Force/Torque sensor, ROS haptic interface / Subtask4.2 staff (6PM): Sofija Spasojevic - 3.4PM, Marija Radmilovic (Tomic) - 2.6PM / Subtask4.2 output: Evaluation report - TASK2 and TASK3 outputs on 6DoF collaborative robot UR5.*

Subtask4.3 (M16-M24) - Experimental evaluation on 7DoF anthropomorphic collaborative Panda robot: The experimental verification on 7DoF collaborative robot which faithfully resembles the structure of the human arm. Therefore, outputs of TASK1 will be used as a reference point of Panda robot impedance and it will be tested with impedance estimation and planning methods developed in TASK2 and TASK3. ROS haptic interface will be used in parallel with Subtask4.2. Researchers already have some experience in working with Panda robot during the implementation of a bilateral scientific project between Serbian and Slovenian team, but a short visit of the researchers engaged in Subtask4.3 to Jozef Stefan Institute for gaining additional experience is planned (month M15) in the project. *Subtask4.3 specific resources: Panda robot, 7DoF collaborative robot for research, ROS haptic interface / Subtask4.3 staff (10PM): Kosta Jovanovic-2.6PM, Branko Lukic-4.6PM, Nenad Jovicic-2.8PM / Subtask4.3 output: Evaluation report - TASK1, TASK2 and TASK3 outputs on 7DoF anthropomorphic collaborative Panda robot.*

Engagement of members of the project team (Table 3.1), list of tasks/subtasks (Table 3.2), as well as a detailed description of milestones (Table 3.3) and deliverables (Table 3.3) follows.

Table 3.1. Members of Project team.

ID	Name and family name	Scientific institution	Person-months
PI	Kosta Jovanovic	Univ. of Belgrade- School of Electrical Engineering (ETF)	24
P1	Marija Radmilovic (Tomic)	Institute Mihajlo Pupin (IMP)	24
P2	Sofija Spasojevic	Institute Mihajlo Pupin (IMP)	24
P3	Nenad Jovicic	Univ. of Belgrade- School of Electrical Engineering (ETF)	22
P4	Branko Lukic	Univ. of Belgrade- School of Electrical Engineering (ETF)	24
P5	Nikola Knezevic	Univ. of Belgrade- School of Electrical Engineering (ETF)	22
Total person-months			140

Table 3.2. Tasks (task descriptions are given in the main text of the Implementation plan section).

Task/subtask number	Task/subtask title	Start month	End month	Members of Project team	Person-months
Subtask1.1	Human impedance estimators	M1	M9	Sofija Spasojevic - 6.4PM, Nenad Jovicic - 1.6PM	8
Subtask1.2	Development of scenarios for assessment of human impedance	M3	M12	Marija Radmilovic - 5PM	5
Subtask1.3	Knowledge acquisition - the experimental evaluation of human impedance	M7	M15	Nenad Jovicic - 2.6PM, Nikola Knezevic - 2.5PM	5.1
Subtask2.1	Cartesian impedance estimation for robots	M5	M16	Kosta Jovanovic - 3PM, Branko Lukic - 3.2PM	6.2
Subtask2.2	Joint impedance estimation for robots	M9	M20	Sofija Spasojevic - 6.2PM	6.2
Subtask3.1	Investigation on the influence of a robot kinematic configuration to Cartesian stiffness	M1	M12	Marija Radmilovic - 3PM, Nikola Knezevic - 2.5PM	5.5
Subtask3.2	Investigation on the influence of joint stiffness to Cartesian stiffness of a robot	M1	M12	Kosta Jovanovic - 2PM, Branko, Lukic - 5PM	7
Subtask3.3	Investigation on overall Cartesian stiffness shaping.	M9	M22	Marija Radmilovic - 5.4PM, Nikola Knezevic - 2PM	7.4

Subtask4.1	Experimental evaluation on 4DoF QB planar robot with variable stiffness actuators	M13	M18	Kosta Jovanovic – 1.4PM, Branko Lukic – 3.2PM, Nikola Knezevic – 2PM	6.6
Subtask4.2	Experimental evaluation on 6 DoF collaborative robot UR5	M16	M24	Sofija Spasojevic – 3.4PM, Marija Radmilovic – 2.6PM	6
Subtask4.3	Experimental evaluation on 7DoF anthropomorphic collaborative Panda robot	M16	M24	Kosta Jovanovic – 2.6PM, Nenad Jovicic – 2.8PM, Branko Lukic – 4.6PM,	10

Table 3.3. Milestones.

Milestone ID	Milestone name	Task/subtask number	Due month	Means of verification
M1.1	Protocol for experimental evaluation of human stiffness (input for Subtask 1.3).	Outputs of Subtask1.1 and Subtask1.2; input for Subtask 3.1	M7	Results of the milestone will be verified through the experimental section (Subtask 1.3)
M3.1	The algorithms for Cartesian stiffness shaping using kinematic redundancy (Subtask3.1 output) and joint stiffness (Subtask3.2 output) for enabling the start of experimental evaluation on robots (input to TASK4).	The output of Subtask3.1 and Subtask3.2	M12	The algorithms will be verified in simulation experiments within Subtask1.1 and Subtask1.2; Verification on the hardware will be done in TASK4.
M1.2	Data set: Human stiffness patterns as a reference point for robot stiffness planning in typical scenarios (input to TASK4 – Subtask4.2 / Subtask4.3: 6 DoF / 7 DoF robot resembling the structure of the human arm).	Output of Subtask1.3	M15	Simulation experiments with 6DoF and 7DoF robot models which will be used in experiments Subtask4.2 / Subtask4.3. Verification on the hardware will be done in TASK4: Subtask4.2 / Subtask4.3.

Table 3.4. Major deliverables.

Deliverable ID	Deliverable name and description	Task/subtask	Month
D1.1	Report on human stiffness estimators (for Cartesian and joint stiffness) – The report will present and compare state-of-the-art human stiffness estimators from the literature and new ones developed within the project. The state-of-the-art estimators will be used for benchmarking of newly developed estimators. Special purpose of the document is to support TASK2 where stiffness estimators for robots are considered.	TASK1 / Subtask1.1	M9
D1.2	Report on human stiffness assessment (3D space: torque-force/velocity/stiffness) as a reference point for robot stiffness planning and a tool for efficient human-robot collaborative tasks. – The aim of the report is to present guidelines for human-like stiffness planning for robots. It will present a comprehensive study about approaches and methods to human stiffness estimation, elaboration on typical human tasks and motion which are subjects of robotization, and finally create reference robot behavior patterns inspired by human motion.	TASK1	M15
D2.1	Report on robot stiffness estimators (for Cartesian and joint stiffness). - The report will present and compare state-of-the-art robot stiffness estimators from the literature and new ones developed within the project. The state-of-the-art estimators will be used for benchmarking of newly developed estimators.	TASK2	M20
D3.1	Report on stiffness planning algorithms: for redundant robots with fixed joint stiffness (Subtask 3.1 output), for robots with variable stiffness (Subtask 3.2 output), and for overall Cartesian stiffness planning (Subtask 3.3 output). – The report will present guidelines for mapping between desired Cartesian robot stiffness and joint stiffness and joint position space. The document will provide a tool for the design of reference trajectories for simultaneous stiffness and position control of variable impedance (stiffness) actuators.	TASK3	M22
D4.1	Report on experimental evaluation of proposed stiffness estimators and stiffness planning methods on different robot platforms with variable stiffness. – The report will present a comprehensive evaluation of the project results - methods for robot impedance estimation and planning. The methods will be initially tested on 4DoF QB planar robot with variable stiffness actuators, and then move to 6DoF and 7DoF collaborative anthropomorphic robots which could emulate human motions in 3D space.	TASK4	M24



3.3. Risk management

Although the Implementation Plan has been developed in a comprehensive discussion between the project team and project activities are set on methods and concepts which are familiar to project members, we are aware of possible risks in the project implementation. Although we have tried to minimize the risk during the project planning, some of the issues cannot be resolved for sure before the implementation due to high project ambitions. The issues are listed in Table 3.5.

Table 3.5. Risk management.

Risk assessment	Description of the risk	Risk management actions to be undertaken by team members or Scientific institutions	Summary rating of risk
			high/medium /low
Methodology risk	Description of the risk	Real-time implementation of impedance planning algorithm which combines kinematic redundancy and variable joint impedance (Subtask3.3 output).	medium
	Actions to be undertaken	If the current level of computer (controller) resources in TASK4 are not sufficient for the real-time calculation; the problem has to be reduced to impedance planning in 2D space, and/or algorithm applied to less DoF of the robot. Alternatively, the algorithms from Subtask3.1 and Subtask3.2 could be amended to partly encounter Subtask3.3 implementation.	
Timing, milestones, and deliverables	Description of the risk	M1.1 not completed on time. M1.1 is based on Subtask1.1 and Subtask1.2 activities (not the whole subtasks) and it is necessary for the start of experimental activities in Subtask1.3. Delay in M1.1 could affect delay in M1.2 which is input to Subtask4.2 and Subtask4.3	low
	Actions to be undertaken	Although these time-critical subtasks which significantly influence other project activities, if the delay happens some reallocation of research efforts has to be done. Researchers engagement between Subtask4.2 (Marija Radmilovic) and Subtask4.3 (Nikola Knezevic) will be again redistributed with their simultaneous Subtask3.3 activities.	
Participants and scientific institutions	Description of the risk	One of the project team members left the Scientific institution engaged and/or project. Implementation plan and objectives are planned according to the project team expertise and experience.	medium
	Actions to be undertaken	Team replacement will be done by Ph.D. students from the PI's laboratory (there are three students who are not engaged in the project). Research topics of Ph.D. students are in the domain of PI's expertise on VIA and robot control, so they could face challenges after some effort.	
Procurement	Description of the risk	Panda robot procurement delayed, due to high demand for Panda robot for research institutions on the market	medium
	Actions to be undertaken	In the case of the delay, the algorithms will be implemented on the existing Panda robot at Jozef Stefan Institute (JSI) in Ljubljana. Travel of the project team members to JSI is already planned during the project. Additional costs of a prolonged stay of the project members at JSI, in the case of Panda robot delay, for an experimental session with Panda will be covered by PI's institution (see Statement of commitment). Alternatively, evaluation has to be redistributed to robots QB (Subtask4.1) and UR5 (Subtask4.2).	
Procurement	Description of the risk	Wearable sensors, Trigno Avanti Mobile - 4 Sensor EMG + Movement Assessment Kits for Research, delay	low
	Actions to be undertaken	The wearable sensors kit Trigno Avanti combines wearable EMG and Movement sensors through the same signal acquisition system which is very convenient for impedance estimation. The alternative wearable sensors which consider separately EMG and motion signals will be used, but signal processing will require additional effort. The alternative wearable sensors resources (ETF: <i>Myo Gesture Control Armband</i> , Goniometer sensors, and <i>Biometrics</i> EMG acquisition system with <i>Biovision</i> EMG amplifiers; and IMP: Motion capture system MTw-38A70G20 X- Sense, SYNERTIAL IGS Data Glove).	
Budgetary issues	Description of the risk	Budget for the Panda robot purchasing is planned according to the offer valid until the end of September 2019. The price can increase.	low
	Actions to be undertaken	The difference in actual costs of Panda robot and budget planned for the Panda robot purchasing in the project budget will be covered by PI's institution up to 10.000EUR (see Statement of commitment).	



3.4. Resources to be committed

Effective engagement of all researchers in the project team is primarily based on project needs and researchers' availability. Since some of the researchers have ongoing research and teaching activities the effective engagement was defined between PI, project members, and researchers' superiors. The total effort of the researchers is presented in Table 3.6 (see the Gant Chart and Implementation plan for more details).

Table 3.6. Effective person-month requirements.

ID	Name and family name	Scientific institution	Person-months
PI	Kosta Jovanovic	Univ. of Belgrade– School of Electrical Engineering (ETF)	9
P1	Marija Radmilovic (Tomic)	Institute Mihajlo Pupin (IMP)	16
P2	Sofija Spasojevic	Institute Mihajlo Pupin (IMP)	16
P3	Nenad Jovicic	Univ. of Belgrade– School of Electrical Engineering (ETF)	7
P4	Branko Lukic	Univ. of Belgrade– School of Electrical Engineering (ETF)	16
P5	Nikola Knezevic	Univ. of Belgrade– School of Electrical Engineering (ETF)	9
Total person-months			73

As agreed and stated by the dean/director the following workspace will be available for the project implementation at both engaged institutions: Univ. Belgrade – School of Electrical Engineering - ETF (**ETF Robotic lab**: robot ABB IRB 120 & 6-axis Force/Torque ATI Axia80 (Subtask1.3), 4DoF QB robot with VIA (Subtask2.1, Subtask4.1), QB move maker pro actuator and antagonistic actuator (VIA) – laboratory setup (Subtask2.2); **Biomedical Instrumentation and Technologies lab**: Myo Gesture Control Armband, Goniometer sensors, and Biometrics EMG acquisition system with Biovision EMG amplifiers as alternative pieces of equipment for Wearable sensors Trigno Avanti Mobile (Subtask1.3, see Table 3.5 risks), and Institute Mihajlo Pupin – IMP (**IMP Center for Robotics**: 6DoF UR5 collaborative robot with Robotiq FT300 Force/Torque sensor (Subtask4.2), Motion capture system MTw-38A70G20 X- Sense, SYNERTIAL IGS Data Glove (Subtask1.3, see Table 3.5 risks)). For the successful project implementation, the following pieces of equipment will be purchased with a description of the need: Panda robot, 7DoF collaborative robot for research (Subtask4.3) is a leading research collaborative robot on the market by company Franka emika. As a 7DoF robot with the anthropomorphic structure, control in ROS and with open control platform, it is a perfect robot for evaluation of the methods developed through the project and especially for resembling human-like impedance planning (output of TASK1). The wearable sensors Trigno Avanti combines wearable EMG and Movement sensors through the same signal acquisition system which is very convenient for impedance estimation since the impedance is estimated from the time series of both EMG and motion signals (Subtask1.3), 6-axis Force/Torque sensor ATI Mini45 – is necessary because its low size and weight required for QB robot and actuator since all available Force/Torque sensors are not adequate for QB, fast processing computers (one for ETF, one for IMP) are necessary for the development of the algorithm (TASK3 – all three subtasks) since the computation requires solving an optimization tasks, NI signal acquisition PCIe express card and corresponding cables and connector block are needed for reliable and fast interface between QB robot and a computer and therefore needed for Subtask2.1 and Subtask4.1 as accompanying equipment. Additional equipment and services for this project are research stay at CoBoTaT laboratory at Jozef Stefan Institute to gain knowledge and hands-on experience of working with Panda robot. As well, longer stays then planned are also welcomed (see the risk of Panda robot procurement delay in Table 3.5). The availability of the CoBoTaT laboratory and Panda robot are stated by the laboratory head in the Appendix of the project. For detailed explanation about use of the listed pieces of equipment and related project activities, please see subsections Concept and methodology and Implementation plan.

Total Project budget is 155.215,45 EUR. The project distribution between ETF (researchers PI, P3, P4, P5) and IMP (P1, P2) is 65.17% : 34.83%. Net monthly salary is planned in accordance with salary of the researcher at their host institution increased for 10% to ensure commitment of the researchers at the project. Total salary budget is 57.83% of the total budget. Indicated travels are necessary to gain hands-on experience and therefore ensure more efficient experimental session with Panda robot as key equipment for evaluation of project results. Two researchers (engaged in Subtask4.3) will travel to Jozef Stefan Institute in Slovenia, which is one of the leading institutions for collaborative robotics (Horizon 2020 project ReconCell coordinator) with both Panda and UR5 robots. Total budget for travel activities is 1.500,00 EUR (0.97%). Since dissemination of the project results and the group to the scientific community is planned at one leading global robotics conference (IEEE IROS, Praha, Czech Republic, October 2021), leading regional robotics conference (RAAD, Poitiers, France, June 2020; and Linz, Austria, June 2021), and leading Serbian conference with session in robotics (IcETRAN, July 2020 and July 2021) total conference budget is 4.640,00 EUR (2.99%). Visit to conferences is evenly distributed between project members. Panda robot is key equipment for the project evaluation (Subtask4.3) since it is 7DoF collaborative robot (redundant, anthropomorphic structure, open control architecture based on ROS, leading research collaborative robot on the market). Wearable sensor kit Trigno Avanti (surface EMG + Movement sensors) is research kit which provides opportunity for human impedance assessment (Subtask1.3) since it gathers time series of muscle activities together with joint motions. Panda robot and Wearable sensors kit costs are estimated according to offers



provided during the project planning. Since the offers are valid until the end of September 2019, PI's institution declared to compensate for higher prices up to 10.000 EUR if necessary, to avoid any issues in purchasing of key project equipment (see Statement of Commitment). Other equipment costs are estimated according to commercial prices at the time of project submission. Consumables which include both electric consumables (necessary for experimental Subtasks 1.3, 4.1, 4.2, 4.3) and office consumables are given as lumped sum for both involved institutions evenly and 2.400,00 EUR in total. Total budget planned for equipment and consumables is 23.73% of total project budget. Following the Open science initiative scientific contribution will be published in Open access articles which costs are estimated according to current costs with included discount for countries with low GDP as it was experienced by the researchers. Total cost for Open access publications is 3.400 EUR (2.2%). Services and subcontracting cost estimation is based on good practice of involved institutions which pays these proofreading services at the listed costs, while forwarded and transportation costs are based on indicative offer provided by common institutions' forwarders. Finally, during the project some adjustment of the robot end-effector will have to be made to integrate force/torque sensors with robots which will be on paid service including the design of the flanges. Total Services and Subcontracting costs are 2.657,25 (1.7%) Basic dissemination materials are planned at total costs of 970.34 EUR based on the commercial prices. Total institution overhead costs are agreed between ETF and IMP according to distribution of total project budget and they are 9.96% of the total budget.

4. Ethics

Subtask 1.3 Assessment of human impedance will involve human participants (5-10 participants in total). The method of interaction is non-invasive, and it includes non-invasive surface EMG and joint motion tracking in the interaction of human and robot using a haptic interface. The participation in the experiment is fully voluntary and it will involve health adults (mostly Project researchers) which will be informed about the consent of the experiment in advance. The experiment will comply with ethical principles and national and international law and appropriate ethical approval will be provided. Ethics self-assessment following the common practice of Horizon 2020 is submitted in the attachment.

Table 3.6. Ethics issues table.

1. HUMAN EMBRYOS/FOETUSES		YES/NO	PAGE
Does the proposed research involve human Embryonic Stem Cells (hESCs)?		NO	
Does your research involve the use of human embryos?		NO	
Does your research involve the use of human fetal tissues / cells?		NO	
2. HUMANS		YES/NO	PAGE
Does your research involve human participants?		YES	6
Does your research involve physical interventions on the study participants?		NO	
3. HUMAN CELLS / TISSUES		YES/NO	PAGE
Does your research involve human cells or tissues (other than from Human Embryos/Fetuses, i.e. section 1)?		NO	
4. PERSONAL DATA		YES/NO	PAGE
Does your research involve personal data collection and/or processing?		NO	
Does your research involve further processing of previously collected personal data (secondary use)?		NO	
5. ANIMALS		YES/NO	PAGE
Does your research involve animals?		NO	
6. ENVIRONMENT & HEALTH and SAFETY		YES/NO	PAGE
Does your research involve the use of elements that may cause harm to the environment, to animals or plants?		NO	
Does your research deal with endangered fauna and/or flora and/or protected areas?		NO	
Does your research involve the use of elements that may cause harm to humans, including research staff?		NO	
7. DUAL USE		YES/NO	PAGE
Does your research involve items that are normally used for civilian purposes, but may have military applications or may contribute to the proliferation of weapons of mass destruction, or involve other items for which an authorization is required?		NO	
8. EXCLUSIVE FOCUS ON CIVIL APPLICATIONS		YES/NO	PAGE
Could your research raise concerns regarding the exclusive focus on civil applications?		NO	
9. MISUSE		YES/NO	PAGE
Does your research have the potential for misuse of research results?		NO	
10. OTHER ETHICS ISSUES		YES/NO	PAGE
Are there any other ethics issues that should be taken into consideration? Please specify!		NO	

B. Attachments

1. Declarations of University of Belgrade – School of Electrical Engineering (ETF) and Institute Mihajlo Pupin (IMP) about the enrollment of PI and researchers at the institutions, PI credentials, and available workspace and equipment.
2. ETF Statement of Commitment for additional funding to the project (if needed) – in Serbian .
3. Jozef Stefan Institute, Declaration of Commitment for the availability of its resources for the purpose of the project.
4. Ethics self-assessment following the common practice of Horizon 2020.
5. PowerPoint Presentation of the project.



Прилог 2 – Буџет Пројекта и Распоред плаћања



Science Fund of the Republic of Serbia
Program for Excellent Projects of Young Researchers
Budget Modification Request Form

Број 596
19-06-2020 год.
БЕОГРАД

Proposal title: Mechanical Impedance Estimation and Planning for the Next Generation Collaborative Robots
Acronym: ForNextCobot
PI: Kosta Jovanovic

Project duration: 24 Months
EURO rate: 118.00 RSD/EUR
Blue cells = input

PI/Participant	Name	Category	Net monthly salary/honorar		Months in project	Effective months/year		Gross monthly salary/honorar	Project cost
			RSD	EUR		Year 1	Year 2		

--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

TOTAL REQUESTED BUDGET (EUR) [REDACTED]

Signature (PI): K. Jovanovic
Signature (ETP): [Signature]

Signature (M/P): [Signature]





Date 06/19/2020


Signature (PI)


Signature (ETI)


Signature (IMP)





SRO Full Name	
Acronym	
Personnel	
P1	Kosta Jovanović, ETF
P3	Nenad Jović, ETF
P4	Branko Lukić, ETF
P5	Nikola Knežević, ETF
Travel	
Conferences	
Equipment	
Consumables	
Publications	
Services and Subcontracting	
Dissemination	
Other costs	
SRO overhead	
Summary (EUR)	
Summary (RSD)	



Date 06/19/2020



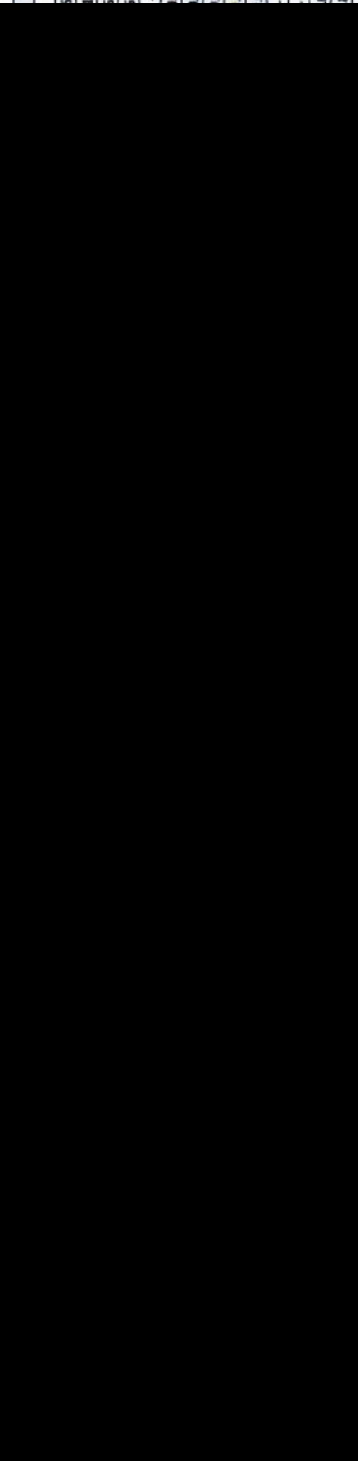
Signature (PI)

Signature (ETF)

Science Fund of the Republic of Serbia
 Program for Excellent Projects of Young Researchers
 Project Payment Schedule

Instituta Mihaila Pupina iz 1945

SRO Full Name		
Acronym		
Personnel		
P1	Marija Radmilović (Tomic)	0.00 RSD
P2	Dorđe Urulalo	5.92 RSD
Travel		0.00 RSD
Conferences		0.00 RSD
Equipment		0.00 RSD
Consumables		0.00 RSD
Publications		0.00 RSD
Services and Subcontracting		0.00 RSD
Dissemination		0.00 RSD
Other costs		0.00 RSD
SRO overhead		0.00 RSD
Summary (EUR)		0.00 RSD
Summary (RSD)		0.00 RSD



Date: 06/19/2020

Signature (PI): *[Handwritten Signature]*

Signature (MIP): *[Handwritten Signature]*



Прилог 3 – Временски оквир Пројекта (Гантограм)





**Mechanical Impedance Estimation and Planning for the Next Generation Collaborative Robots
ForNextCobot
Kosta Jovanovic**

Description	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Task 1 - Assessment of human impedance																								
Subtask 1.1																								
Subtask 1.2																								
Subtask 1.3																								

Task 2 - Robot impedance estimator																								
Subtask 2.1																								
Subtask 2.2																								

Task 3 - Robot impedance planning																								
Subtask 3.1																								
Subtask 3.2																								
Subtask 3.3																								

Task 4 - Experimental evaluation of impedance planning and estimation on robots																								
Subtask 4.1 - QB robot - 4DoF (planar)																								
Subtask 4.2 - Universal Robot UR5 - 6DoF																								
Subtask 4.3 - Panda Robot (Franka Emika) – 7DoF																								

Milestones and Deliverables	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Milestone and Deliverables - TASK1																								
Milestone and Deliverables - TASK2																								
Milestone and Deliverables - TASK3																								
Milestone and Deliverables - TASK4																								
Final Report																								

Participants (% of working time)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Principal investigator (PI)																								
Participant 1 (P1)																								
Participant 2 (P2)																								
Participant 3 (P3)																								
Participant 4 (P4)																								
Participant 5 (P5)																								

Participants (% of working time)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24																												
Principal investigator (PI)	30	30	30	30	30	30	40	40	40	40	30	30	50	50	50	30	30	30	50	50	50	30	40	40																												
Participant 1 (P1)	50	50	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70																												
Participant 2 (P2)	70	70	70	70	70	70	100	100	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70																												
Participant 3 (P3)	30	30	20	20	30	40	40	40	40	30	30	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40																												
Participant 4 (P4)	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70																												
Participant 5 (P5)	50	50	30	30	30	30	50	50	50	50	40	40	50	50	40	40	50	50	30	30	30	30	30	30																												
Total effective person-months																								9	16	16	7	16	9	73																9	16	16	7	16	9	73

**Прилог 4 – Списак чланова тима Пројекта укључујући и Руководиоца
Пројекта**



Прилог 4

Списак чланова тима Пројекта, запослених у НИО Учесницима Пројекта
(Руководилац Пројекта и Чланови Пројектног тима)

Члан Пројектног тима својим потписом потврђује да је упознат са садржином овог Уговора, као и правима, обавезама и одговорностима Члана Пројектног тима у реализацији Пројекта и да је сагласан да се његови/њени подаци обрађују у сврху извршавања и надзора овог Уговора, и праћења и анализе програма ПРОМИС.


Руководилац Пројекта:	НИО – послодавац:	Потпис Руководиоца:
Коста Јовановић	Електротехнички факултет, Универзитет у Београду	<i>K. Jovanovic</i>

	Члан Пројектног тима:	НИО – послодавац:	Потписи Чланова тима:
1.	Марија Радмиловић Томић	Институт Михајло Пупин, Универзитет у Београду	<i>Marija Radmilovic Tomic</i>
2.	Ђорђе Урукало	Институт Михајло Пупин, Универзитет у Београду	<i>M. Urukalo</i>
3.	Ненад Јовичић	Електротехнички факултет, Универзитет у Београду	<i>N. Jovicic</i>
4.	Бранко Лукић	Електротехнички факултет, Универзитет у Београду	<i>B. Lukic</i>
5.	Никола Кнежевић	Електротехнички факултет, Универзитет у Београду	<i>N. Knezevic</i>

Овлашћено лице НИО која је Носилац пројекта потврђује да је Руководилац Пројекта и Члан Пројектног тима запослен у тој НИО која је наведена као НИО - послодавац.


[Signature]
Овлашћено лице НИО,
Носилац Пројекта

Овлашћена лица НИО које су Учесници пројекта потврђују, свако за своју НИО, да је Члан Пројектног тима запослен у тој НИО која је наведена као НИО - послодавац.


[Signature]
Овлашћено лице НИО,
Учесник Пројекта

Овлашћено лице НИО,
Учесник Пројекта

Овлашћено лице НИО,
Учесник Пројекта

**Прилог 5 – Општи подаци НИО и потврда о стању на Посебним рачунима
Пројекта**



**ФОНД ЗА НАУКУ РЕПУБЛИКЕ СРБИЈЕ
ПРОМИС**

Образац – општи подаци о корисницима средстава

1. Информације о пројекту	
Назив пројекта:	Mechanical Impedance Estimation and Planning for the Next Generation Collaborative Robots
Акроним назива пројекта:	ForNextCobot
Период реализације пројекта (од месец/година - до месец/година):	07/2020 - 06/2022
2. Информације о НИО – Носиоцу пројекта	
Име и презиме руководиоца пројекта:	Коста Јовановић
Контакт телефон и имејл адреса:	064/2244705, kostaj@etf.rs
Назив НИО:	Универзитет у Београду - Електротехнички факултет
Адреса НИО:	Булавар краља Александра 73, 11000 Београд
ПИБ:	100206130
Матични број:	7032498
Име и презиме особе овлашћене за заступање НИО:	проф. Мило Томашевић, декан
Контакт телефон и имејл адреса особе овлашћене за заступање НИО:	011/3248464, dekanat@etf.rs
Име и презиме лица овлашћених за потписивање налога ради располагања средствима са подрачуна	проф. Мило Томашевић, декан / доц. Марко Барјактаровић, продекан за финансије
Контакт телефон и имејл адреса особе за потписивање налога ради располагања средствима са подрачуна:	011/3248464, dekanat@etf.rs / 011/3248464, prodekanzafinansije@etf.rs
Званична интернет страница НИО:	www.etf.rs
Број посебног подрачуна у Управи за трезор:	840-000007779760-18
3. Информације о НИО – Учесник пројекта	
3.1. НИО 1 – Учесник пројекта	
Назив НИО:	Институт "Михајло Пупин" д.о.о. Београд
Адреса НИО:	Волгина 15, 11060 Београд
ПИБ:	100008310
Матични број:	7014694
Име и презиме особе овлашћене за заступање НИО:	Проф. Сања Вранеш, Генерални директор
Контакт телефон и имејл адреса особе овлашћене за заступање НИО:	Phone: +381 11 6771 398, +381 11 6772 876 sanja.vranes@pupin.rs
Име и презиме лица овлашћених за потписивање налога ради располагања средствима са подрачуна	Славица Стојановић
Контакт телефон и имејл адреса особе за потписивање налога ради располагања средствима са подрачуна:	062 8011972, slavica.stojanovic@pupin.rs
Званична интернет страница НИО:	www.pupin.rs
Број посебног подрачуна у Управи за трезор	840-26723-81 – Institut Mihajlo Pupin
3.2. НИО 2 – Учесник пројекта	
Назив НИО:	
Адреса НИО:	
ПИБ:	
Матични број:	
Име и презиме особе овлашћене за заступање НИО:	
Контакт телефон и имејл адреса особе овлашћене за заступање НИО:	
Име и презиме лица овлашћених за потписивање налога ради располагања средствима са подрачуна	



Београд

III

Контакт телефон и имејл адреса особе за потписивање налога ради располагања средствима са подрачуна:	
Званична интернет страница НИО:	
Број посебног подрачуна у Управи за трезор	
3.3. НИО 3 – Учесник пројекта	
Назив НИО:	
Адреса НИО:	
ПИБ:	
Матични број:	
Име и презиме особе овлашћене за заступање НИО:	
Контакт телефон и имејл адреса особе овлашћене за заступање НИО:	
Име и презиме лица овлашћених за потписивање налога ради располагања средствима са подрачуна	
Контакт телефон и имејл адреса особе за потписивање налога ради располагања средствима са подрачуна:	
Званична интернет страница НИО:	
Број посебног подрачуна у Управи за трезор	
3.4. НИО 4 – Учесник пројекта	
Назив НИО	
Адреса НИО:	
ПИБ:	
Маични број:	
Име и презиме особе овлашћене за заступање НИО:	
Контакт телефон и имејл адреса особе овлашћене за заступање НИО:	
Име и презиме лица овлашћених за потписивање налога ради располагања средствима са подрачуна	
Контакт телефон и имејл адреса особе за потписивање налога ради располагања средствима са подрачуна:	
Званична интернет страница НИО:	
Број посебног подрачуна у Управи за трезор	



**Прилог 6 – Изјава Носиоца Пројекта/Учесника Пројекта о поштовању
обавеза**



Прилог 6-а

ИЗЈАВА НОСИОЦА ПРОЈЕКТА О ПОШТОВАЊУ ОБАВЕЗА

Под пуном материјалном и кривичном одговорношћу, као заступник Електротехнички факултет, Универзитет у Београду у својству Носиоца Пројекта, дајем следећу

ИЗЈАВУ

Носилац Пројекта Електротехнички факултет, Универзитет у Београду:

1. регистрован је код надлежног органа, односно уписан у одговарајући регистар;
2. Носилац Пројекта и његов законски заступник нису осуђивани за неко од кривичних дела као члан организоване криминалне групе, за кривична дела против привреде, кривична дела против животне средине, нити за кривично дело против имовине;
3. Носилац Пројекта је измирио доспеле порезе, доприносе и друге јавне дажбине у складу са прописима Републике Србије;
4. Носилац Пројекта је поштовао обавезе које произлазе из важећих прописа о заштити на раду, запошљавању и условима рада, заштити животне средине и нема забрану обављања делатности која је на снази у време подношења Предлога Пројекта и закључења Уговора.

Место: Београд

Датум: 13-07-2020

М.П.

Носилац Пројекта: 




Прилог 6-б

ИЗЈАВА УЧЕСНИКА ПРОЈЕКТА О ПОШТОВАЊУ ОБАВЕЗА

Под пуном материјалном и кривичном одговорношћу, као заступник Институт Михајло Пупин, Универзитет у Београду у својству Учесника Пројекта, дајем следећу

ИЗЈАВУ

Учесник Пројекта Институт Михајло Пупин, Универзитет у Београду:

1. регистрован је код надлежног органа, односно уписан у одговарајући регистар;
2. Учесник Пројекта и његов законски заступник нису осуђивани за неко од кривичних дела као члан организоване криминалне групе, за кривична дела против привреде, кривична дела против животне средине, нити за кривично дело против имовине;
3. Учесник Пројекта је измирио доспеле порезе, доприносе и друге јавне дажбине у складу са прописима Републике Србије;
4. Учесник Пројекта је поштовао обавезе које произлазе из важећих прописа о заштити на раду, запошљавању и условима рада, заштити животне средине и нема забрану обављања делатности која је на снази у време подношења Предлога Пројекта и закључења Уговора.

Место: БЕОГРАД

Датум: 13.7.2020



Учесник Пројекта:



Наслов предложеног пројекта: Mechanical Impedance Estimation and Planning for the Next Generation Collaborative Robots (у даљем тексту: Пројекат)

Акроним (исти као у енглеској верзији): ForNextCobot

Акредитована научноистраживачка организација (НИО) у којој је/ће бити запослен Руководилац Пројекта, односно учесник Пројекта током реализације Пројекта (назив и адреса): Универзитет у Београду – Електротехнички факултет, Булевар краља Александра 73, Београд.

РЕПУБЛИКА СРБИЈА
УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ
ЕЛЕКТРОТЕХНИЧКИ ФАКУЛТЕТ

ФОНДУ ЗА НАУКУ РЕПУБЛИКЕ СРБИЈЕ

Број

1111
27 AUG 2019 20 год.
БЕОГРАД

ИЗЈАВА НАУЧНОИСТРАЖИВАЧКЕ ОРГАНИЗАЦИЈЕ

Овом изјавом потврђујемо да смо упознати са условима Програма за изврсне пројекте младих истраживача Фонда за науку Републике Србије (у даљем тексту: Програм) и да их у потпуности прихватамо.

Изјављујемо да су доцент **Коста Јовановић** (руководилац Пројекта), ванредни професор **Ненад Јовичић** (учесник Пројекта), истраживач приправник **Бранко Лукић** (учесник Пројекта), асистент **Никола Кнежевић** (учесник Пројекта), запослени, на Електротехничком факултету Универзитета у Београду за време трајања Пројекта уколико он буде одобрен за финансирање.

Изјављујемо да смо сагласни да предложени Пројекат буде пријављен за финансирање кроз Програм.

Изјављујемо да је Руководилац предложеног Пројекта др. **Коста Јовановић**, доцент, испуњава услове да може да се независно бави научноистраживачким радом на основу његових досадашњих научноистраживачких резултата, искуства руковођењем научноистраживачким пројектима у оквиру Електротехничког факултета (Хоризонт 2020 – два пројекта иновационих акција, два каскадног финансирања), као и искуства руковођења (менторства) истраживања у оквиру докторских дисертација (једна одбрањена дисертација, 5 докторских дисертација у току).

Изјављујемо да ћемо Руководиоцу и учесницима предложеног Пројекта обезбедити простор и опрему потребне за реализацију предложеног Пројекта, уколико он буде одобрен за финансирање, и то:

- Лабораторију за роботiku (опрема: индустријски робот *ABB IRB120*, 6-компонентни сензор силе и момента *ATI Axia80 EtherNet*, *QB robot* - истраживачки робот са актуаторима променљиве крутости, лабораторијски прототип актуатора променљиве крутости са антагонистичким погонима, *QB move maker pro* – актуатор променљиве крутости);
- Лабораторију за биомедицинске технологије и инструментацију (опрема: *Biometrics* 8-канални аквизициони систем – уређај за електромиографију (ЕМГ), мерење силе и угла; *Biovision* појачавачи за електромиографију (ЕМГ); *Myo Gesture Control Armband* – бежични уређај за симултано мерење електромиографије (ЕМГ) и кретања руке; Гониометри – сензори за мерење угла (кретања зглоба));
- Факултетска мерна и електро опрема и ресурси машинске радионице по потреби.

Изјављујемо да се слажемо са условима из модела Уговора о финансирању реализације научноистраживачког пројекта Фонда за науку Републике Србије у оквиру Програма за изврсне пројекте младих истраживача и да ћемо прихватити све услове тог уговора уколико предложени Пројекат буде прихваћен за финансирање.

Место и датум:
Београд, 27.8.2019. године



декан
проф. Мило Томашевић

711



Наслов предложеног пројекта: Mechanical Impedance Estimation and Planning for the Next Generation Collaborative Robots (у даљем тексту: Пројекат)
Акроним (исти као у енглеској верзији): ForNextCobot
Акредитована научноистраживачка организација (НИО) у којој је/ће бити запослен Руководилац Пројекта, односно учесник Пројекта током реализације Пројекта (назив и адреса): **Институт Михајло Пупин, Волгина 15, Београд.**

ФОНДУ ЗА НАУКУ РЕПУБЛИКЕ СРБИЈЕ

ИНСТИТУТ МИХАЈЛО ПУПИН ДОО

Бр. 2205/1-19

27 AUG 2019

год

ИЗЈАВА НАУЧНОИСТРАЖИВАЧКЕ ОРГАНИЗАЦИЈЕ БЕОГРАД

Овом изјавом потврђујемо да смо упознати са условима Програма за извршне пројекте младих истраживача Фонда за науку Републике Србије (у даљем тексту: Програм) и да их у потпуности прихватамо.

Изјављујемо да су др **Марија Радмиловић (девојачко Томић)** и др **Софија Спасојевић** запослене на **Институту Михајло Пупин**, као и да ће за време трајања Пројекта бити и ангажоване на њему у звању **научни сарадник**, уколико Пројекат буде одобрен за финансирање.

Изјављујемо да смо сагласни да предложени Пројекат буде пријављен за финансирање кроз Програм, као и да смо сагласни да Руководилац предложеног Пројекта буде др **Коста Јовановић**, доцент на Електротехничком факултету у Београду, у духу добре сарадње и подизања научноистраживачких капацитета у области роботике на Институту Михајло Пупин и Електротехничком факултету у Београду.

Изјављујемо да ћемо Руководиоцу и учесницима предложеног Пројекта обезбедити простор и опрему потребне за реализацију предложеног Пројекта, уколико он буде одобрен за финансирање, и то опрему Центра за роботiku у оквиру Института Михајло Пупин:

- *Robot UR5 6DoF Collaborative Robot Arm* – робот компаније *Universal Robotics* са 6 степени слободe, 2 комада,
- *Robotiq FT300 Force/Torque sensor* – 6-компонентни сензор за мерење силе и момента компаније *Robotiq* компатибилан са *Universal* роботима,
- *Motion capture system MTw-38A70G20 X-Sense* - Бежични аквизициони систем за снимање покрета,
- *SYNERTIAL IGS Data Glove* - Бежични аквизициони систем за снимање покрета шаке.

Изјављујемо да се слажемо са условима из модела Уговора о финансирању реализације научноистраживачког пројекта Фонда за науку Републике Србије у оквиру Програма за извршне пројекте младих истраживача и да ћемо прихватити све услове тог уговора уколико предложени Пројекат буде прихваћен за финансирање.

Место и датум:
Београд, 27.8.2019. године

Директор
Проф. др. Сања Вранеш, дипл.инж.



Наслов предложеног пројекта: Mechanical Impedance Estimation and Planning for the Next Generation Collaborative Robots (у даљем тексту: Пројекат)
Акроним (исти као у енглеској верзији): ForNextCobot
Акредитована научноистраживачка организација (НИО) у којој је/ће бити запослен Руководилац Пројекта, односно учесник Пројекта током реализације Пројекта (назив и адреса): **Институт Михајло Пупин, Волгина 15, Београд.**

ФОНДУ ЗА НАУКУ РЕПУБЛИКЕ СРБИЈЕ

ИНСТИТУТ МИХАЈЛО ПУПИН Д.О.О.

Бр. 2205/2-19

28 AUG 2019 год.

БЕОГРАД

ИЗЈАВА ОРГАНИЗАЦИЈЕ

Изјављујемо да ћемо Руководиоцу Пројекта и учесницима у тиму предложеног Пројекта обезбедити опрему потребну за реализацију Пројекта, и то опрему Центра за роботiku у оквиру Института Михајло Пупин:

- Robot UR5 6DoF Collaborative Robot Arm – робот компаније Universal Robotics са 6 степени слободe, 2 комада,
- Robotiq FT300 Force/Torque sensor – 6-компонентни сензор за мерење силе и момента компаније Robotiq компатибилан са Universal роботима,
- Motion capture system MTw-38A70G20 X-Sense - Бежични аквизициони систем за снимање покрета,
- SYNERTIAL IGS Data Glove - Бежични аквизициони систем за снимање покрета шаке.

Место и датум:
Београд, 27.8.2019. године

Директор
Проф. др. Сања Вранеш, дипл.инж.



Наслов предложеног пројекта: Mechanical Impedance Estimation and Planning for the Next Generation Collaborative Robots (у даљем тексту: Пројекат)

Акроним (исти као у енглеској верзији): ForNextCobot

Акредитована научноистраживачка организација (НИО) у којој је/ће бити запослен Руководилац Пројекта, односно учесник Пројекта током реализације Пројекта (назив и адреса): Универзитет у Београду – Електротехнички факултет, Булевар краља Александра 73, Београд.

ФОНДУ ЗА НАУКУ РЕПУБЛИКЕ СРБИЈЕ

РЕПУБЛИКА СРБИЈА
УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ
ЕЛЕКТРОТЕХНИЧКИ ФАКУЛТЕТ

ИЗЈАВА ОРГАНИЗАЦИЈЕ

Број 1116
28 AUG 2019 20 год.
БЕОГРАД

Изјављујемо да ћемо Руководиоцу Пројекта и учесницима у тиму предложеног Пројекта обезбедити опрему потребну за реализацију Пројекта, и то конкретну доступну опрему лабораторија:

- Лабораторију за роботiku (опрема: индустријски робот *ABB IRB120*, 6-компонентни сензор силе и момента *ATI Axia80 EtherNet*, *QB robot* - истраживачки робот са актуаторима променљиве крутости, лабораторијски прототип актуатора променљиве крутости са антагонистичким погонима, *QB move maker pro* – актуатор променљиве крутости);
- Лабораторију за биомедицинске технологије и инструментацију (опрема: *Biometrics* 8-канални аквизициони систем – уређај за електромиографију (ЕМГ), мерење силе и углова; *Biovision* појачавачи за електромиографију (ЕМГ); *Myo Gesture Control Armband* – бежични уређај за симултано мерење електромиографије (ЕМГ) и кретања руке; Гониометри – сензори за мерење угла (кретања зглоба));
- Факултетска мерна и електро опрема и ресурси машинске радионице по потреби.

Место и датум:
Београд, 27.8.2019. године



декан

проф. Мило Томашевић

2.С.



Прилог 7 – Дефиниције



Прилог 7 Дефиниције

Годишњи извештај о напретку Пројекта	Извештај који се доставља у року од у року од 30 (тридесет) дана од дана истека 12 месеци реализације Пројекта, а који садржи детаљан опис свих завршених активности и резултата постигнутих током године реализације Пројекта.
Квартални административно-финансијски извештај	<p>Извештај који се доставља у року од 15 (петнаест) дана од дана истека квартала за који се подноси извештај, а који садржи наративни опис реализованих активности, проблеме који су настали у току реализације Пројекта и мере које су предузете за превазилажење таквих проблема, измене плана активности и реализације које одражавају модификације почетног плана, као и постигнуте резултате, уз комплетну документацију свих трошкова, и одговарајуће прилоге који укључују али се не ограничавају на следеће:</p> <p>а) за безготовинска плаћања: копије рачуна који гласе на Корисника средстава, као и припадајуће банковне изводе;</p> <p>б) за готовинска плаћања: копије рачуна који гласе на Корисника средстава, као и копије уплата из банке и благајничког извештаја;</p> <p>в) осталу основну и пратећу финансијску документацију, а нарочито:</p> <ul style="list-style-type: none">- путне налоге са припадајућим прилозима, документа на основу којих су обављана плаћања (уговори, споразуми, обрачуни зарада/хонорара Руководиоцу пројекта и члановима Пројектног тима);- прилоге у вези са реализацијом пројекта, доказе о примени пројектних активности (потписне листе, евалуацијске листе, фотографије са догађаја, примерке публикација и др.);- потписани документ (исплатни листић) Руководиоца пројекта и чланова Пројектног тима да су примили накнаде за научноистраживачки рад који је Фонд за науку исплатио односно реализатору истраживања за те намене на основу овог Уговора и Одобреног буџета Пројекта;- копије уговора и финансијска документација које се односи на набавку услуга лица која нису наведена у Одобреном буџету Пројекту и изјаву о прихватању потписаног извештаја пружаоца услуга о обављеним активностима;- фактуре за набавку добара, уз које се поред овере од стране реализатора истраживања и аналитичке картице/извода, доставља и копија уговора о куповини добара, записник, картица добара/опреме са инвентарским бројем и контакт подацима лица које непосредно дужи добро/опрему;- документација о аконтацији и коначном обрачуну утрошка средстава за путовање у иностранство и у земљи истраживача ангажованих у Пројектном тиму;- копија плана јавних набавки Носиоца пројекта/ Учесника пројекта за текућу годину са документацијом о спроведеним јавним набавкама (копије уговора о набавци добара/услуга; тендерска и друга документација о примењеним прописима о јавним набавкама у поступку конкретне набавке добара/услуга), односно потписана и оверена изјава руководиоца односног реализатора истраживања да не постоји обавеза примене прописа о јавним набавкама, уз навођења законског основа који ту примену искључује. <p>г) писану изјаву у односу на трошкове приказане/документоване у извештају као финансиране буџетским средствима Пројекта у извештајном периоду (нпр. накнаде за научноистраживачки рад или поједине истраживачке активности;</p>



	<p>трошкови одласка на научне скупове; публиковање научних радова и/или монографија, куповина/закуп научноистраживачке или друге опреме; материјални трошкови истраживања и др.), која садржи:</p> <ul style="list-style-type: none"> - навод да за исте намене ни у једном делу нису обезбеђена друга средства/опрема/рад финансирани из буџета Републике Србије или других извора, и - наводе о висини, извору, структури и начину учешћа других средстава у партиципацији/ суфинансирању дела Пројектних активности у извештајном периоду (нпр. из буџетских са других раздела; по другим програмима из закона или прописа о научноистраживачкој или иновационој делатности; из сопствених средстава односног реализатора истраживања; из средстава по основу учешћа у међународним пројектима, и сл.). <p>д) на захтев Фонда: део или целокупну документацију о јавним набавкама и набавкама на које се Закон о јавним набавкама не примењује;</p> <p>ђ) извештаје консултаната о обављеном послу/пруженим услугама, производе консултантског рада (где је примењиво), записнике о испоруци добара;</p> <p>е) друга документација којом се правда утрошак средстава и реализоване активности у извештајном периоду.</p>
НИО	Акредитована научноистраживачка организација, при чему овај појам обухвата и регистроване иновационе организације које испуњавају услове прописане Актом о ПРОМИС-у.
Оквирни план за управљање заштитом животне средине и социјалним утицајем	Оквирни план за управљање заштитом животне средине и социјалним утицајем (<i>Environmental and Social Management Framework</i>) је водич за процену ризика и утицаја који Пројекат може потенцијално имати на животну средину и друштво. Документ пружа смернице за управљање и контролу установљених ризика. У случају да је применљиво на Пројекат, Руководилац пројекта је у обавези да развије план за управљање ризицима и по њему извештава Фонд за науку.
Посебни рачун Пројекта	Посебни текући динарски рачун НИО ослобођен блокаде и отворен код Управе за трезор (по правилу) за који постоји посебна евиденција, који се користи само у сврхе плаћања у вези са средствима Пројекта, у складу са Буџетом Пројекта и Распоредом плаћања и који не може да се заложити, оптерети или затвори током спровођења Пројекта без претходне писане сагласности Фонда за науку.
Одобрени Предлог Пројекта	Одобрени Предлог Пројекта са свим припадајућим прилозима, у складу са Одлуком УО.
Буџет Пројекта	Планирани распоред дозвољених и прихватљивих трошкова Пројекта који је одобрен за Пројекат од стране Фонда за науку, као што је назначено у Прилогу 2 Уговора.
Партнер/подоуговорач	Правно лице које је неопходно за реализацију дела пројектних активности. Ово лице се сматра пружаоцем услуга или подизвођачем, а не учесником у Пројекту.
Повреда	Свака повреда овог Уговора, услова ПРОМИС-а или одредби Акта о ПРОМИС-у или било која друга повреда која је настала услед било ког разлога који би се могао сматрати оправданим и повезаним са овим Уговором, по процени Фонда за науку.
Пројекат	Пројекат садржи Одобрени Предлог пројекта са свим припадајућим прилозима и каснијим изменама одобреним од стране Фонда за науку.
Прописи о заштити животне средине	Закон о заштити животне средине („Службени гласник РС”, бр.135/2004, 36/2009 – др. закон, 72/2009 – др. закон, 43/2011- одлука УС,14/2016, 76/2018 и 95/2018) и други релевантни закони, прописи и правила која се примењују у Републици Србији којима се регулише област заштите животне средине.
Распоред плаћања/ Project Payment Schedule	Распоред са временским роковима у коме су дефинисани датуми и износи плаћања током реализације Пројекта.



Временски оквир пројекта (Гантограм)	Временски оквир пројекта (Гантограм) је детаљни план реализације пројектних активности, очекиваних резултата и процената ангажовања чланова пројектног тима, укључујући и његове измене и допуне.
Завршни извештај о резултатима Пројекта	Извештај који се доставља у року од 45 (четрдесет пет) дана од дана окончања свих пројектних активности, а који се односи на целокупан период реализације Пројекта и садржи детаљан опис свих завршених активности резултата постигнутих током имплементације Пројекта.
Закон о јавним набавкама	Важећи закон Републике Србије којим се уређује планирање јавних набавки, услови, начин и поступак јавне набавке и друга питања од значаја за јавне набавке.



Број 1033

04.08.2022

БЕОГРАД

Фонд за науку Републике Србије — ПРОМИС

Анекс Уговора бр. 6062528 од 08.07.2020. године о финансирању реализације научноистраживачког Пројекта ForNextCobot

У оквиру Програма за изврсне пројекте младих истраживача - ПРОМИС Фонда за науку Републике Србије на који је сагласност дала Влада РС решењем 05 број 660-02-5891/2019 од 13. јуна 2019. године („Службени гласник РС”, број 42/19), који се реализује у складу са Актом о циљевима, начину реализације и условима финансирања пројеката у оквиру Програма за изврсне пројекте младих истраживача број УО- 21-1/2019 од 04.06. 2019. године — Акт Програма ПРОМИС, поводом одобреног писаног образложеног захтева Корисника средстава и Руководиоца финансираног научноистраживачког пројекта под називом MECHANICAL IMPEDANCE ESTIMATION AND PLANNING FOR THE NEXT GENERATION COLLABORATIVE ROBOTS - у даљем тексту: Пројекат ForNextCobot, евиденциони број 6062528, применом чланова 48, 49. и 50. Основног уговора, закључује се

АНЕКС

Уговора број 1548/2020 од 08.07.2020. године о финансирању реализације научноистраживачког Пројекта ForNextCobot у оквиру Програма за изврсне пројекте младих истраживача — ПРОМИС Фонда за науку Републике Србије

између следећих уговорних страна:

1. ФОНДА ЗА НАУКУ РЕПУБЛИКЕ СРБИЈЕ, са регистрованим седиштем у Београду, ул. Немањина 22-26 и адресом обављања делатности у Улици 27. марта бр. 39/II, Београд, матични број 17921410, ПИБ 11343775, број рачуна КЈС 840-670723-30, кога заступа др Милица Ђурић-Јовичић, в. д. директора (у даљем тексту: Фонд за науку); са једне стране, и

2. Реализатора истраживања/корисника средстава одобрених за финансирање Пројекта (у даљем тексту свако од наведених појединачно означен као Корисник средстава, а сви заједнички означени као **Корисници средстава**):

2.1. Акредитована научноистраживачка организација – НИО Електротехнички факултет, Универзитет у Београду, са седиштем на адреси Булевар краља Александра 73, 11120 Београд, ПИБ: 100206130, матични број: 07032498, коју заступа проф. др Дејан Гвоздић, декан, која је носилац реализације Пројекта (у даљем тексту: **Носилац Пројекта**);

2.2. Акредитоване научноистраживачке организације – НИО (у даљем тексту: **Учесници Пројекта**):

1) Институт Михајло Пупин, Универзитет у Београду, са седиштем на адреси Волгина 15, 11060 Београд, ПИБ: 100008310, матични број: 07014694, коју заступа др Никола Томашевић, директор (у даљем тексту: **Учесник Пројекта**);

3. Коста Јовановић, запослен у НИО Електротехнички факултет, Универзитет у Београду, Носиоцу Пројекта (у даљем тексту: **Руководилац Пројекта**),

са друге стране

Члан 1.

Уговорне стране овог анекса сагласно констатују:

1. Да су Корисници средстава - друга уговорна страна по Уговору о финансирању реализације научноистраживачког Пројекта ForNextCobot (у даљем тексту: Основни уговор), писаним путем поднели образложен и усаглашен захтев којим су иницирали оправдане измене Основног уговора, тако да се трајање Пројекта ForNextCobot, из члана 1. став 2. Основног уговора продужи за 6 месеци, услед непредвиђених кашњења у имплементацији Пројекта, узрокованих административним,

ИНСТИТУТ МИХАЈЛО ПУПИН Д.О.О.

Бр. 1635/2-20

05 AUG 2022

БЕОГРАД

год.

Фонд за науку Републике Србије

Бр. 2633/2022

05.08.2022 год.

БЕОГРАД, Немањина бр. 22-26

финансијским или другим процедуралним разлозима и догађајима више силе, односно из разлога немогућности спровођења планираног истраживања због пандемије COVID-19, што се није могло унапред предвидети.

Фонд за науку је одобрио измене основног Уговора у складу са захтевом из става 1. ове тачке, односно одобрено је продужење трајања Пројекта за 6 месеци, односно закључење анекса основног Уговора, у складу са чланом 50. основног Уговора.

2. Да су измене описане у тачки 1) овог члана одобрене у складу са чланом 48. и 49. Основног уговора. Чланом 48. Основног уговора прописано је да се трајање Пројекта може продужити само у изузетним околностима, као што су непредвиђена кашњења у имплементацији Пројекта узрокована административним, финансијским или другим процедуралним разлозима и догађајима више силе. Чланом 49. Основног Уговора прописано је да виша сила подразумева било који ванредан и непредвидив спољашњи догађај или изузетну ситуацију насталу након склапања Уговора, а пре завршетка Пројекта, која се у време склапања Уговора није могла предвидети, нити ју је уговорна страна могла спречити, избећи или отклонити, а за коју стога није одговорна ниједна уговорна страна, при чему се не могу приписати грешци, непажњи или немару са њихове стране, а покажу се као непремостиве.

Члан 2.

Овим анексом се врше измене Основног уговора, у складу са иницираним, образложеним и оправданим променама са којима се Фонд за науку сагласио и одобрио их, сагласно одредби чл. 48, 49. и 50. Основног уговора.

Члан 3.

У основном Уговору се врше одговарајуће измене и то члан 1. став 2. Основног уговора мења се и гласи:

„Реализација Пројекта траје 30 месеци од дана ступања на снагу овог Уговора.”

Члан 4.

Одредбе Основног Уговора, припадајућих анекса Основног Уговора и прилози који нису измењени овим анексом остају на снази и примењују се непромењене.

Члан 5.

Овај анекс се извршава и финансира у складу са начелима и одредбама прописа којима се уређују облигационо правни односи, прописа о буџетском и пореском систему, прописа којима се уређују јавне набавке, прописа из области: заштите података о личности; заштите права интелектуалне својине, укључујући и заштиту поверљивих података и пословне тајне; заштите научне слободе и стваралаштва, стандарда науке и етичности у научноистраживачком раду; заштите животне средине, као и одредаба и других прописа и аката којима се уређују питања од значаја за реализацију Програма.

Члан 6.

Овај потписани анекс са прилозима део је архиве Пројекта из одељка VII Основног Уговора.

Члан 7.

Овај анекс ступа на снагу даном потписивања од стране овлашћених лица уговорних страна, а примењује се почев од првог наредног дана након истека иницијално одређеног трајања пројекта из Основног Уговора.

Члан 8.

Овај анекс сачињен је у 5 (пет) истоветних примерака, од којих 2 (два) примерка за Фонд за науку, по 1 (један) за Носиоца Пројекта, Учесника Пројекта и за Руководиоца Пројекта.

Датум ступања на снагу анекса 05.08. 2022. године (уписује се последњи датум са којим је потписан анекс)



Фонд за науку Републике Србије

Милица Бурић-Јовичић, в. д. директора

Датум потписа: 05.08.2022



Потписи овлашћених лица НИО и Руководиоца Пројекта

1. _____
Носилац Пројекта

04-08-2022
Датум потписа

2. К. Јовановић
Руководилац Пројекта

4.8.2022
Датум потписа

3. _____
Учесник Пројекта

Датум потписа



U Beogradu, 20.1.2023. godine

POTVRDA
o korišćenju softvera

Na osnovu Ugovora o finansiranju realizacije naučnoistraživačkog Projekta pod nazivom MECHANICAL IMPEDANCE ESTIMATION AND PLANNING FOR THE NEXT GENERATION COLLABORATIVE ROBOTS, akronim ForNextCobot, evidentiranog pod brojem 6062528, u okviru Programa za izvrsne projekte mladih istraživača –PROMIS, Fonda za nauku Republike Srbije između ugovorenih strana Fonda za nauku Republike Srbije, Elektrotehničkog fakulteta u Beogradu i Instituta „Mihajlo Pupin“ u Beogradu, softverski paket „Human Motion Estimator-HUMANES“ razvijen od strane Instituta „Mihajlo Pupin“ u Beogradu, je korišćen na Elektrotehničkom fakultetu u Beogradu, Laboratoriji za robotiku, u cilju realizacije naučno-istraživačkog rada tokom celog projekta ForNextCobot u okviru radnog paketa br. 1 kao i u nastavne svrhe u oblasti Biomehanike.

Potpis

KJ
MG

Prof. dr Dejan Gvozdić, dekan
Univerzitet u Beogradu - Elektrotehnički fakultet



Potpis


Dr Nikola Tomašević, direktor
Institut „Mihajlo Pupin“





University of Zagreb
Faculty of Mechanical Engineering
and Naval Architecture

Ivana Lučića 5, 10002 Zagreb, Croatia
phone +385 1 6168222 | fax +385 1 6156940 | fsb.unizg.hr
VAT HR22910368449 | IBAN HR47 2360 0001 1013 4693 3



Institute „Mihajlo Pupin“ DOO
Volgina 15, 11060 Begrade, Serbia
Phone: (+381 11) 6771-398
PIB: 100008310

CONFIRMATION OF USE

On the basis of joint scientific research, the software package "Human Motion Estimator - HUMANES" developed by the Institute "Mihajlo Pupin" in Belgrade, was used at the Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture in Zagreb, CRTA laboratory, without financial compensation, with the aim of realizing a joint scientific research work and joint mentorship.

To whom it may concern,

In Zagreb, 1th October, 2023.

Assist. prof. Marko Švaco
Head of Regional Centre of Excellence
for Robotic Technology

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNICE
Zagreb, Ivana Lučića 5