



UNIVERSITETI I PRISHTINËS
“HASAN PRISHTINA”

FAKULTETI I INXHNIERISË MEKANIKE

Rruga Agim Ramadani, Ndërtesa e Fakulteteve Teknikë, 10 000 Prishtinë, Republika e Kosovës

Tel: +383 38 552 126 ext. 101 * E-mail: fim@uni-pr.edu * www.fim.uni-pr.edu

Nr. Prot.: 804
 Datë: 26/05/2025

**RAPORT VLERËSIMI TË DORËSHKRIMIT TË PUNIMIT TË
 DIPLOMËS MASTER**

FAKULTETI	Fakulteti i Inxhinierisë Mekanike
Departamenti/Programi	Mekatronikë
Titulli i punimit	Modelimi dhe rregullimi i ecjes së robotit dykëmbësh duke përdorur algoritmet e reinforcement learning dhe algoritmet gjenetike.
Kandidati	BSc. Andi Gashi
Mentori	Prof.Asoc.Dr.Xhevahir Bajrami
Aprovimi i projekt propozimit në Këshilin e Fakultetit	Datë: 31.12.2024, Vendimi Nr.: 2159/1
<p>Punimi (dorëshkrimi i punimit) me titull: “Modelimi, Simulimi dhe Kontrolli i Ecjes për Robotin Humanoid UXA-90 në Mjedisin Simulativ Simscape”, i kandidatit Andi Gashi, master, është punuar në gjithsej 85 faqe tekst të formatuar sipas standardeve akademike. Në vazhdim të tekstit janë përfshirë deklaratat e studentit, përmbajtja dhe anekset përkatëse. Brenda tekstit janë integruar figura, tabela dhe diagrame teknike që ndihmojnë në ilustruarjen e qartë të përmbajtjes. Punimi është ndarë në 13 kapituj kryesorë, duke përfshirë hyrjen, kuadrin teorik, metodologjinë e ndjekur, zhvillimin e sistemit, rezultatet dhe konkluzionet, si dhe përfundon me një listë të pasur burimesh bibliografike me gjithsej 16 njësi reference. Metodologjia e përdorur për strukturimin e punimit është konceptuar mbi baza shkencore dhe teknike bashkëkohore, duke u mbështetur në qasje simulative, analitike dhe praktike. Shkrimi i punimit është kryer në mënyrë të qartë, korrekte dhe në stil profesional shkencor.</p> <p>Si rast hulumtimi është përzgjedhur roboti humanoid UXA-90, i cili ndodhet në laboratorin e Mekatronikës në Fakultetin e Inxhinierisë Mekanike (FIM), me qëllim zhvillimin e një platforme të plotë për modelim, simulim dhe kontroll të ecjes bipedale përmes algoritmeve të inteligjencës artificiale. Punimi fokusohet në integrimin e modelit mekanik të ndërtuar në SolidWorks me ambientin fizik të Simscape në MATLAB/Simulink, ku është zhvilluar një strukturë realiste e robotit përmes nyjeve të kontrolluara dhe moduleve të gjenerimit të trajektores së qendrës së masës dhe nyjeve të gjymtyrëve. Një pjesë e rëndësishme e punimit përfshin trajnimin e sistemit me algoritme të mësimit përforcues (reinforcement learning), të mbështetur në skema të strukturuar të shpërblimit dhe penalizimit, që e orientojnë robotin drejt ecjes autonome dhe të qëndrueshme. Për vlerësimin e stabilitetit janë përdorur metrika si ZMP (Zero Moment Point), e cila gjurmohet në kohë reale për të analizuar ekuilibrin dinamik.</p>	

Formulari – F3

Procesi i zhvillimit të sistemit përfshin të gjitha fazat kryesore – nga modelimi mekanik, ndërtimi i sistemit fizik në Simscape, gjenerimi i trajektores dhe analizimi i sjelljes përmes vizualizimeve 3D, deri te kontrolli adaptiv me algoritme të AI. Përdorimi i platformës Simulink dhe mjeteve të avancuara të MATLAB-it dëshmon një përgatitje të lartë teknike dhe metodologjike të kandidatit. Rezultatet e arritura tregojnë sukses të dukshëm në krijimin e një sistemi funksional të kontrollit të ecjes dhe vendosin bazat për hulumtime të mëtejme në robotikën humanoide.

Konkluzion

Punimi i masterit me titull “Modelimi, Simulimi dhe Kontrolli i Ecjes për Robotin Humanoid UXA-90 në Mjedisin Simulativ Simscape”, i kandidatit BSc. Andi Gashi, i përmbush në mënyrë të plotë parakushtet metodologjike, profesionale dhe shkencore si dhe etikën për një temë të punimit të studimeve master. Punimi është i strukturuar në mënyrë të qartë dhe i shoqëruar me deklaratën e studentit për punë autentike.




Prandaj, në mbështetje të Statutit të Universitetit të Prishtinës dhe në përputhje me Rregulloren për studime master, Komisioni për vlerësim, unanimitisht dhe me kënaqësi i:

Propozon

Që punimi me titull “Modelimi, Simulimi dhe Kontrolli i Ecjes për Robotin Humanoid UXA-90 në Mjedisin Simulativ Simscape”, i kandidatit BSc. Andi Gashi, të jepej për diskutim publik, si hap paraprak për procedurat e mëtejme drejt mbrojtjes përfundimtare të temës së masterit.

Prishtinë: 23/05/2025

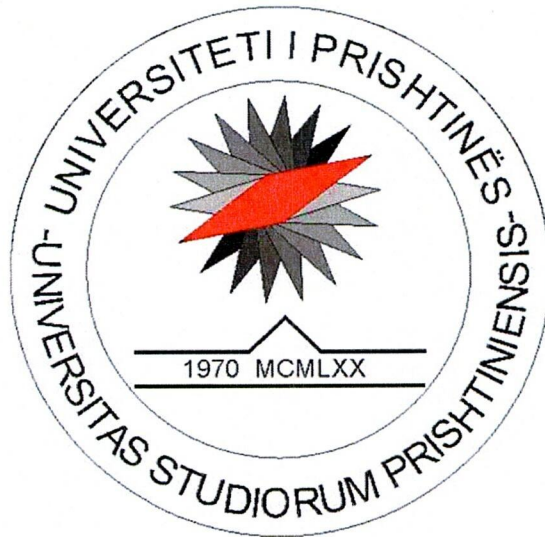
Komisioni:

1. Prof. Asoc.Dr. Xhevahir Bajrami,  - mentor
2. Prof. Dr. Arbnor Pajaziti,  - anëtar
3. Prof. Dr. Ahmet Shala,  - anëtar

UNIVERSITETI I PRISHTINËS “HASAN PRISHTINA”

FAKULTETI I INXHINIERISË MEKANIKE

Programi: Mekatronikë



PUNIM DIPLOME

**TEMA: MODELIMI DHE RREGULLIMI I ECJES SË ROBOTIT
DYKËMBËSH DUKE PËRDORUR ALGORITMET E
REINFORCEMENT LEARNING DHE ALGORITMET
GJENETIKE.**

Mentori:
Prof. Asoc. Dr. Xhevahir Bajrami

Kandidati:
BSc. Andi Gashi

Prishtinë, Maj 2025

Përmbajta

<i>LISTA E FIGURAVE</i>	4
LISTA E TABELAVE	6
LISTA E SHKURTESAVE	7
ABSTRAKTI.....	8
1 HYRJE.....	9
2 QËLLIMI I HULUMTIMIT DHE OBJEKTIVAT – STATE OF THE ART	11
3 ROBOTI HUMANOID UXA 90	12
4 ECJA E ROBOTVE HUMANOID	14
4.1 Cikli i ecjes humane.....	14
4.2 Gjenerimi i modelit të ecjes për robotët humanoidë.....	15
4.3 Kriteri i ZMP-së.....	17
5 ROBOTI DYKËMBËSH – MODELIMI DHE KINEMATIKA	19
5.1 Këmba e majtë	20
5.2 Këmba e djathtë	25
5.3 Konceptet themelore për ruajtjen e stabilitetit dinamik në ecjen e robotëve dykëmbësh..	27
5.4 Qendra e Masës (CoM – Center of Mass)	28
5.5 Pika e Momenteve Zero (ZMP – Zero Moment Point).....	28
5.6 Modeli i lavjesit të invertuar linear (LIPM – Linear Inverted Pendulum Model)	28
5.7 Modeli Cart-Table (Karroca mbi tavolinë).....	29
5.8 Modelimi i robotit dykëmbësh.....	29
5.9 Pika me Moment Zero (ZMP).....	30
5.10 Ekuacioni i përgjithshëm i ekuilibrit dinamik (formulimi ZMP)	31
5.11 Llogaritja e ZMP-së nga shpërndarja e forcave të kontaktit.....	32
6 KINEMATIKA DIREKTE	33
7 DINAMIKA E ROBOTIT UXA 90 – METODA EULER LAGRANGE	33
8 MODELIMI I ROBOTIT UXA -90 NË SOLIDWORKS	36
8.1 Modelimi dhe asamblimi në mënyrën e duhur i robotit humanoid uxa 90.....	38
9 MODELIMI NË SOLIDWORKS DHE IMPORTIMI I ROBOTITI NË SIMSCAPE.....	40
9.1 Projektimi dhe organizimi i nën-sistemeve në simscape	42

10	GJENERIMI I INPUTEVE PËR GJENERIMIN E ECJES STABILE TË ROBOTIT UXA	90
	44	
10.1	Lirimi i Trupit në Hapësirë	46
10.2	Shtimi i Sensorëve	50
11	TRAJNIMI I ROBOTIT DUKE PËRDORUR ALGORITMIN REINFORCEMENT LEARNING.....	54
11.1	Trajnimi me Algoritmin Gjenetik	54
11.1.1	Struktura e algoritmit gjenetik.....	54
11.1.2	Fazat kryesore të algoritmit	55
11.2	Trajnimi me Reinforcement Learning	56
11.2.1	Konfigurimi i mjedisit të simulimit.....	56
11.3	Arkitektura e rrjeteve nervore në DDPG	57
11.3.1	Rrjeti Actor.....	57
11.3.2	Rrjeti Critic.....	58
11.3.3	Funksioni i shpërblimit (Reward Function).....	59
11.3.4	Mbyllja e Episodit (Check if Done)	61
11.3.5	Përpunimi i Observimeve të Agjentit	62
11.3.6	Rezultatet e trajnimit	64
11.3.7	Përmirësimi i Performancës përmes Penalitetit për Moslëvizje.....	65
11.3.8	Rezultatet e përmirësuara	66
11.3.9	Rezultatet përfundimtare të trajnimit pas riformulimit të funksionit të shpërblimit ..	69
12	ANALIZA E DHE REZULTATET E FITUARA TË ROBOTIT UXA-90	71
13	KONKLUZIONI	83
14	REFERENCAT	84

Lista e Figurave

Figura 1. Pamja e përparme dhe e pasme e robotit UXA-90 me shënimet për komponentët kryesorë për funksionim dhe kontroll.....	13
Figura 2. Roboti UXA-90 në ambientin laboratorik.....	13
Figura 3. Paraqitja vizuale e qendrës së masës (com), pikës së momenteve zero (zmp) dhe poligonit të mbështetjes [14].....	15
Figura 4. Klasifikimi i metodave për gjenerimin e modelit të ecjes për robotët humanoidë.....	16
Figura 5. Stabiliteti i ZMP-së në këmbët e UXA-90.....	18
Figura 7 Skematike e këmbës së majtë dhe koordinatat dhe dimensionet e bashkëngjitura të saj.....	21
Figura 8. Këndeve të nyjeve të këmbës së majtë të robotit me 6-DoF në funksion të kohës.....	25
Figura 9. Këndeve të nyjeve të këmbës së majtë të robotit me 6-DoF në funksion të kohës.....	27
Figura 10: Pamja e përgjithshme e modelit 3D të robotit UXA-90 në SolidWorks.....	36
Figura 11: Shfaqja e qendrës së masës dhe shpërndarjes së trupit në SolidWorks.....	37
Figura 12: Procesi i montimit të pjesëve individuale të robotit UXA-90 në SolidWorks.....	39
Figura 13. Pamja fillestare e strukturës së robotit UXA-90 në Simscape pas importimit nga SolidWorks.....	41
Figura 14. Organizimi i nën-sistemeve funksionale të robotit UXA-90 në Simscape Multibody.....	43
Figura 15: Lidhja e inputeve jAngsR dhe jAngsL me modelin e përgjithshëm të robotit UXA-90 në Simulink.....	45
Figura 16. Lidhja e sinjaleve të inputit InputR me nyjet rrotulluese të këmbës së djathtë në Simscape.....	46
Figura 17. Lirimi i trupit përmes nyjes Six-DOF dhe matjen e pozicionit në boshtet X, Y, Z përmes Transform Sensor.....	48
Figura 18. Konfigurimi i forcave të kontaktit në pjesën e shputës përmes Spatial Contact Force dhe sferave ndihmëse.....	49
Figura 19. Vendosja e sensorëve Motion në secilën nyje të këmbës dhe daljet e përmbledhura përmes strukturës bus në MeasL dhe MeasR.....	51
Figura 20. Krijimi i strukturës Bus për inputet e nyjeve me invertim të disa komponentëve në Create Bus L dhe Create Bus R.....	51
Figura 21. Struktura e bllokut Motion Joint Sensor.....	52
Figura 22. Arkitektura e brendshme e bllokut Motion ku shfaqen sinjalet që matin këndin, shpejtësinë dhe momentin përmes portit Sensor.....	52
Figura 23. Diagrami i brendshëm i sensorit të nyjes Motion për matjen e momentit, këndit dhe shpejtësisë.....	53
Figura 24. Konfigurimi alternativ Motor + Servo për aktivizimin dhe matjen e sjelljes së nyjes.....	53
Figura 25. Mjedisi i trajnimit RL i ndërtuar në Simulink për robotin UXA-90 në konfigurimin 2D.....	57
Figura 26. Struktura e rrjetit nervor – Actor.....	58
Figura 27. Struktura e rrjetit nervor – Critic.....	59
Figura 28. Funkcioni i shpërblimit në DDPG për robotin UXA-90.....	60
Figura 29. Struktura logjike e sistemit isDone, e implementuar në ambientin Simulink, ku secili sinjali verifikon një kriter specifik të dështimit.....	62
Figura 30. Diagrami i përpunimit të sinjaleve observuese në Simulink, ku secili komponent i vektorit të vëzhgimit gjenerohet, filtrohet dhe grupohet para se t'i dërgohet rrjetit nervor.....	63
Figura 31. Rezultatet e trajnimit të parë me DDPG — grafiku i shpërblimit gjatë 2000 episodeve.....	64
Figura 32. Blloku i Simulink-ut që realizon ndëshkimin për sjellje pasive të agjentit duke monitoruar ndryshimin në shpejtësinë përpara.....	66
Figura 33. Komponentët individualë të funksionit të shpërblimit gjatë një simulimi 10-sekondësh.....	67
Figura 34. Progresi i trajnimit pas integritit të penalitetit për moslëvizje.....	68
Figura 35. Evolucionin e shpërblimit gjatë trajnimit të agjentit DDPG për robotin UXA-90 në mjedisin 2D.....	69
Figura 36. Modeli i Simulink/Simscape për Gjenerimin dhe Ekzekutimin e Trajektoreve të Robotit Biped UXA-90.....	71

Figura 37. Sjellja dinamike e nyjës Ankle Roll.....	73
Figura 38. Sjellja dinamike e nyjës Ankle Pitch.....	73
Figura 39: Sjellja dinamike e nyjës Knee.....	74
Figura 40. Sjellja dinamike e nyjës Hip Pitch.	75
Figura 41. Sjellja dinamike e nyjës Hip Yaw.....	75
Figura 42. Sjellja dinamike e nyjës Hip Roll.....	76
Figura 43. Prezantimi i trajektoreve në softuerin Kinova.....	77
Figura 44. Pozicionet 3D të Nyjeve të Robotit UXA-90 në Simulink.....	78
Figura 45. Vizualizimi i Ecjes së Robotit UXA-90 në 3D	79
Figura 46.Trajektoret 3D të qendrës së masës dhe nyjeve të gjymtyrëve të poshtme të robotit humanoid uxa-90.....	80
Figura 47. Robotit Biped UXA-90 në Pozicione të Ndryshme Hapësinore	81

Lista e Tabelave

Tabela 1. Përmbledhje e avantazheve dhe kufizimeve të qasjeve për gjenerimin e modelit të ecjes.....	17
Tabela 2. Parametrat e DH për këmbën e majt.....	23
Tabela 3Parametrat e DH për këmbën e djathët.	26
Tabela 4. Parametrat e agentit dhe trajnimit.....	64

Lista e shkurtesave

CoM	Center of Mass
CoP	Center of Pressure
DoF	Degree of Freedom
DSP	Double Support Phase
SSP	Single Support Phase
ZMP	Zero-Moment Point
3D LIPM	3D Linear Inverted Pendulum Model
ROS	Robot Operating System

Abstrakti

Ky punim trajton zhvillimin e një sistemi të integruar për modelimin, simulimin dhe kontrollin e ecjes për robotin humanoid UXA-90, i cili ndodhet në laboratorin e Mekatronikës në Fakultetin e Inxhinierisë Mekanike (FIM). Fokusi i veçantë është vendosur në aplikimin e algoritmeve të mësimit përforcues për optimizimin e lëvizjes dhe qëndrueshmërisë gjatë ecjes. Objektivi kryesor është krijimi i një platforme funksionale që ndërthur modelimin e saktë fizik të robotit me kontroll të avancuar, duke synuar prodhimin e një ecjeje autonome, të qëndrueshme dhe efikase në mjedisë të simuluar. Fillimisht, roboti është dizajnuar në SolidWorks, ku janë ndërtuar të gjitha komponentët mekanikë dhe nyjet përkatëse të gjymtyrëve. Më pas, modeli është importuar në ambientin Simscape të MATLAB-it, ku është realizuar një strukturë e detajuar fizike përmes përdorimit të nyjeve revolutive me kontroll të jashtëm dhe lidhjeve të përcaktuara në mënyrë rigoroze. Një modul i veçantë është zhvilluar për gjenerimin e trajektoreve të qendrës së masës dhe nyjeve të gjymtyrëve të poshtme, të cilat janë përdorur për të ushqyer sistemin e kontrollit gjatë trajnimit.

Trajnimi i robotit është realizuar përmes metodologjive të bazuara në shpërblim dhe penalizim, që e udhëheqin atë drejt përvetësimit të strategjive të qëndrueshme të ecjes. Krahas analizës së lëvizjeve individuale të nyjeve, është përfshirë edhe gjurmimi i pikës ZMP (Zero Moment Point) për të vlerësuar stabilitetin dinamik në kohë reale. Simulimet kanë treguar përmirësime të ndjeshme në performancën e sistemit, me robotin që arrin të mbajë ekuilibrin dhe të gjenerojë hapa të përsëritshëm dhe të qëndrueshëm pa ndërhyrje të jashtme. Këto rezultate vërtetojnë jo vetëm vlefshmërinë e qasjes së ndërtuar, por edhe aplikueshmërinë e saj në sisteme robotike reale, duke ofruar një bazë solide për zhvillime të mëtejshme në robotikën shoqëruese, rehabilituese dhe industriale.

12 Analiza e dhe rezultatet e fituara të robotit uxa-90

Për të vlerësuar performancën e agjentit të trajnuar dhe sjelljen dinamike të robotit UXA-90 gjatë ecjes, u krye një analizë e detajuar e profileve të nyjeve. Kjo analizë përfshin nyjet më të rëndësishme të këmbëve, përkatësisht: ankle roll, ankle pitch, knee, hip pitch, hip yaw dhe hip roll. Për secilën prej tyre, janë matur katër komponentë të rëndësishëm dinamikë: pozicioni, shpejtësia, përsheptimi dhe çifti i aplikueshëm nga aktuatori, përgjatë një kohe simulimi prej 10 sekondash.

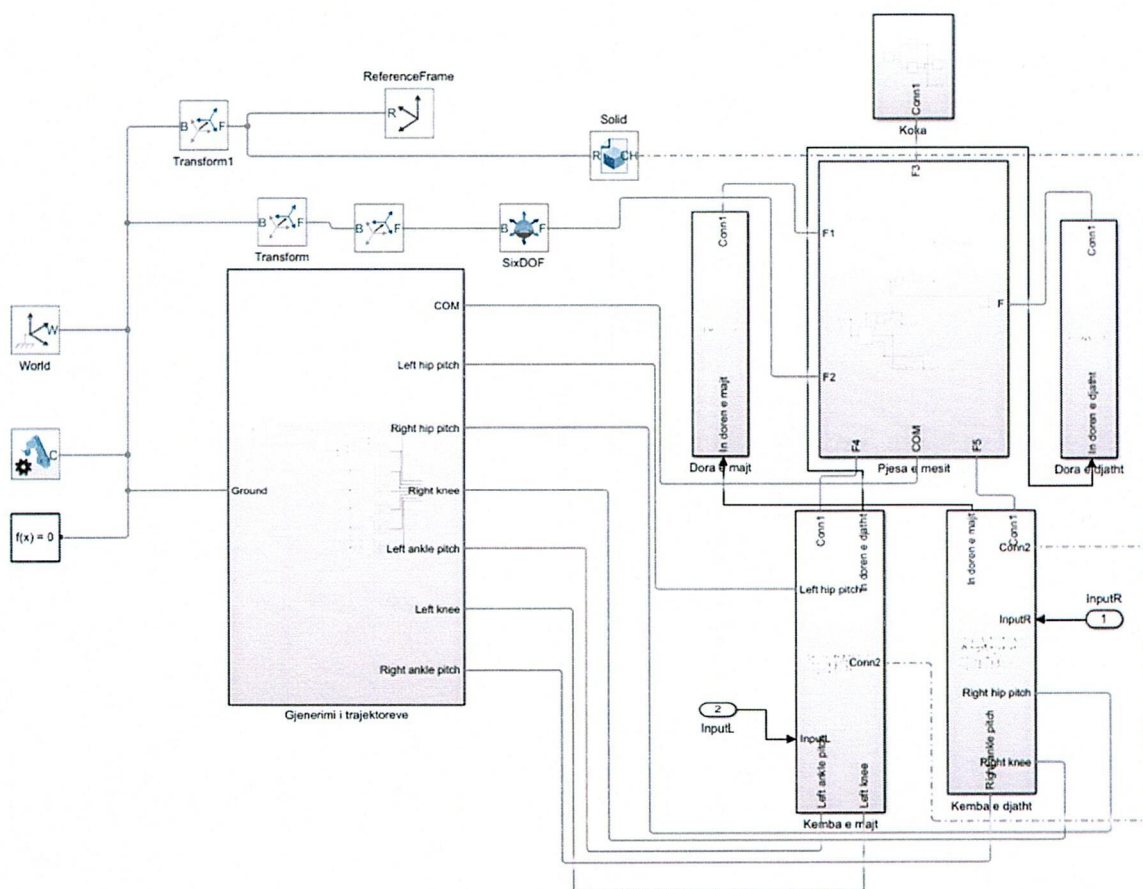


Figura 35. Modeli i Simulink/Simscape për Gjenerimin dhe Ekzekutimin e Trajektoreve të Robotit Biped UXA-90

Figura 35 paraqet strukturën bllok të modelit të ndërtuar në ambientin Simulink/Simscape të MATLAB-it për simulimin e ecjes së robotit biped UXA-90. Në qendër të modelit ndodhet blloku "Gjenerimi i trajektoreve", i cili merr si input pozicionet e nevojshme për qendrën e masës (COM) dhe nyjet kyçe të gjymtyrëve të poshtme, siç janë: "Left hip pitch", "Right hip pitch", "Left knee",

"Right knee", "Left ankle pitch" dhe "Right ankle pitch". Këto sinjale trajektoresh përdoren për të komanduar në mënyrë sinkronizuar gjymtyrët e robotit përmes strukturës dinamike të krijuar në Simscape. Modelet mekanike të trupit të robotit janë të ndara në nënbloqe të veçanta për secilën pjesë anatomike: "Pjesa e mesit", "Koka", "Dora e majtë", "Dora e djathtë", "Këmba e majtë" dhe "Këmba e djathtë", të cilat janë të ndërlidhura përmes portave të lidhjes së Simscape ("Conn1", "Conn2", etj.). Për secilën këmbë, trajektorët e nyjeve janë të integruara përmes blloqeve të pozicionimit që lëvizin sipas sinjaleve hyrëse "InputL" dhe "InputR", të cilat kontrollojnë përkatësisht këmbën e majtë dhe të djathtë. Sistemi bazohet në një kornizë reference hapësinore që përfshin edhe komponentët "World", "Transform" dhe "SixDOF" për të modeluar dinamikën hapësinore dhe ndërveprimin me mjedisin fizik virtual. Kjo strukturë siguron një simulim të plotë të ecjes së robotit, duke përfshirë koordinimin kompleks të nyjeve, gjenerimin e trajektores së qendrës së masës dhe harmonizimin e lëvizjeve përmes kontrolleve të centralizuara në blloqet funksionale.

Parametrat e Matjes

- Parametrat e matur për çdo nyje janë si vijon:
- Pozicioni (*Position*): lëvizja këndore e nyjes në radianë;
- Shpejtësia (*Velocity*): derivati i parë i pozicionit, që tregon ndryshimin e shpejtë të këndit;
- Përsheptimi (*Acceleration*): derivati i dytë i pozicionit, që reflekton forcat inerciale të nyjes;
- Çifti i aktuatorit (*Actuator Torque*): forca që aplikon motori në nyje për të gjeneruar lëvizje.

Këto vlera u regjistruan për çdo nyje individualisht përmes bllokut Scope në Simulink Simscape.

Rezultatet për secilën nyje

Ankle Roll:

- Pozicioni shfaq amplituda të ulëta rreth pikës zero, duke sugjeruar një qëndrueshmëri të mirë laterale.
- Shpejtësia dhe përsheptimi tregojnë se nyja angazhohet periodikisht për të ruajtur balancën.
- Çifti i aktuatorit mbetet i moderuar, me variacione në intervalin ± 10 Nm, duke sugjeruar kontroll efektiv.

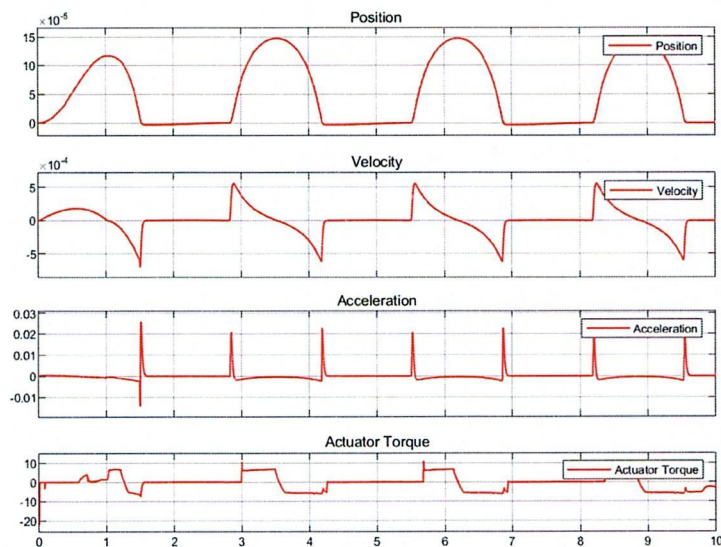


Figura 36. Sjellja dinamike e nyjës Ankle Roll.

Ankle Pitch:

- Lëvizjet janë më të theksuara, me pozicion që arrin vlera maksimale rreth 0.8 rad.
- Shpejtësia varion ndërmjet ± 1 rad/s, ndërsa përsheptimi tregon impulse të forta në tranzicione.
- Çifti i aplikueshëm nga aktuatori arrin vlera deri në -80 Nm, që tregon kontribute të mëdha në shtytjen gjatë ecjes.

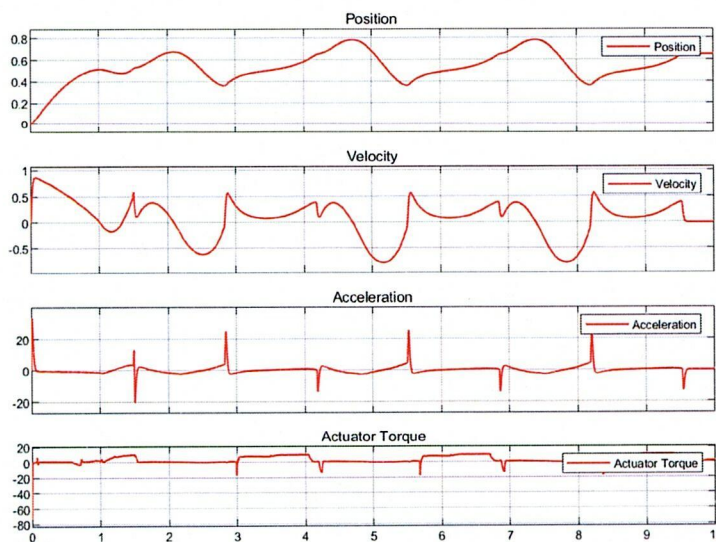


Figura 37. Sjellja dinamike e nyjës Ankle Pitch.

Knee:

- Pozicioni varion në mënyrë të përsëritur deri në -1.5 rad, tipike për fazat e ngritjes dhe vendosjes së këmbës.
- Përshpejtimi dhe shpejtësia tregojnë profile të kontrolluar dhe simetrik.
- Aktuatori tregon se janë aplikuar forca të konsiderueshme, për të kapërcyer ngarkesat dinamike.

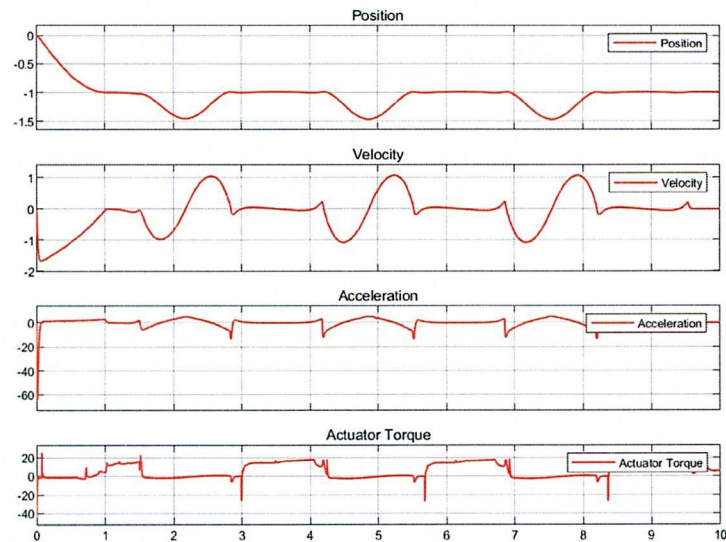


Figura 38: Sjellja dinamike e nyjës Knee.

Hip Pitch:

- Lëvizja angulare arrin vlera rreth -1.5 rad, e ngjashme me gjurin, duke ndihmuar në fazën e lëvizjes së këmbës përpara.
- Shpejtësia dhe përshpejtimi tregojnë ritëm të rregullt.
- Çifti i aplikueshëm është mesatarisht më i ulët se te gjuri, por përsëri esencial për stabilitetin.

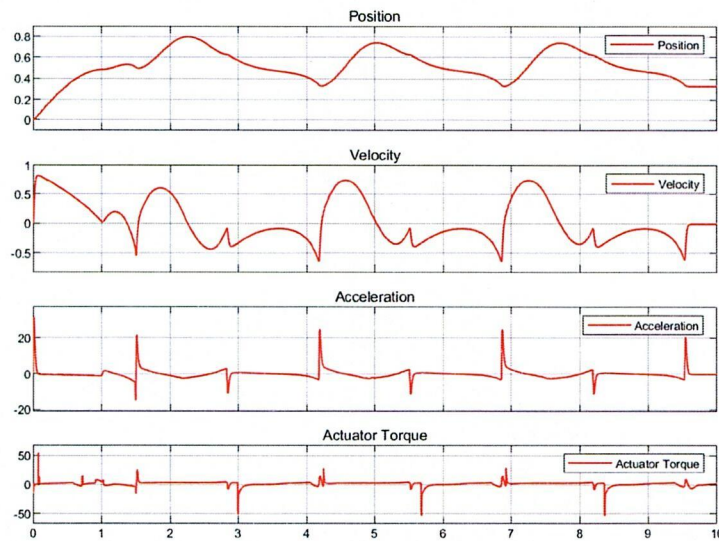


Figura 39. Sjellja dinamike e nyjës Hip Pitch.
Hip Yaw:

- Pozicioni, shpejtësia dhe përshpejtimi mbesin zero gjatë gjithë simulimit.
- E vetmja komponentë aktive është çifti i aktuatorit, duke treguar se kontrolli është pasiv ose nuk është aktivizuar në këtë trajnim.

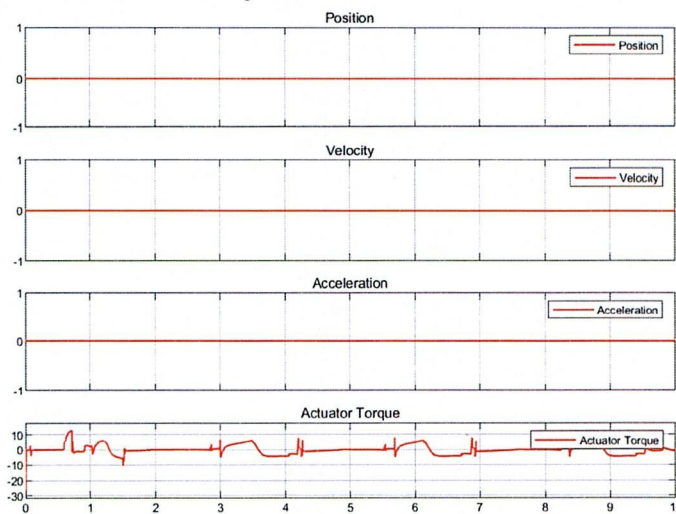


Figura 40. Sjellja dinamike e nyjës Hip Yaw.

Hip Roll:

- Lëvizjet e pozicionit dhe shpejtësisë janë të qarta, me sinjale ciklike që sugjerojnë përpjekje për të ruajtur ekuilibrin lateral.
- Përshpejtimi tregon impulse të forta negative në fazat e kthesës së këmbës.

- Çifti i aplikueshëm është stabil dhe brenda kufijve të lejuar, duke treguar menaxhim efektiv të ngarkesave laterale.

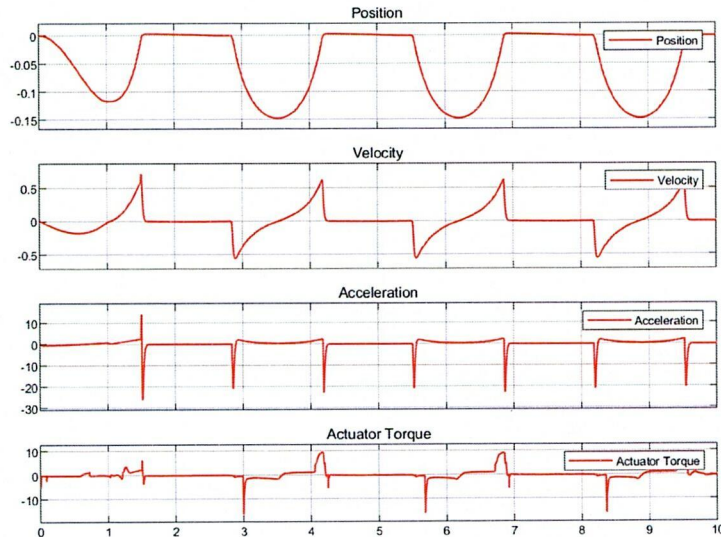


Figura 41. Sjellja dinamike e njëjës Hip Roll.

- Ruajtja dhe përdorimi i agjentëve të trajnuar

Agjentët e trajnuar ruheshin pas çdo trajnim të suksesshëm në dosjen savedAgents, duke përdorur emërtimin sipas datës dhe orës. Këta agjentë mund të ngarkohen për testim të mëtejshëm ose për të krahasuar performancën e trajnim-ve të ndryshme me konfigurime të ndryshme (ndryshim i reward, ndryshim i penalizimeve, shtim i observimeve etj.).

- Vëzhgime dhe përfundime

Metoda DDPG tregoi efikasitet në mësimin e ecjes së robotit në simulim. Ndryshe nga algoritmi gjenetik, kjo qasje nuk kërkon krijim të drejtpërdrejtë të trajektoreve, por mëson vetë strategjinë optimale përmes përvojës. Trajnimi ishte i ndjeshëm ndaj parametrave të reward-it dhe numrit të observimeve. Përdorimi i shpërblimeve të drejtuara mirë dhe penalizimeve të qarta ishte kyç për të shmangur lëvizje jofunksionale dhe për të përshpejtuar të mësuarit.

Gjenerimi i trajektoreve në hapësirë tredimensionale për robotin UXA-90 është realizuar duke përdorur mjedisin MATLAB Simscape, i cili ofron një platformë për modelimin fizik të komponentëve mekanikë dhe dinamikën multibody. Përmes këtij mjedisi janë simuluar lëvizjet e robotit bazuar në inputet e gjeneruara nga skenarë të kontrolluar të trajektoreve, duke përfshirë edhe

efektet e gravitetit, fërkimit dhe kufizimeve kinematike. Për të vërtetuar saktësinë e trajektoreve të simuluar, është përdorur softueri Kinovea, i cili lejon analizën e videove të regjistruara nga eksperimentet reale të robotit, përmes shënimit të pikave kyçe dhe gjurmimit të tyre në kohë. Kjo metodë e dyfishtë e simulimit dhe validimit vizual ka mundësuar krahasimin midis modelit të simuluar dhe sjelljes reale të sistemit robotik, duke kontribuar në përmirësimin e parametrave të kontrollit dhe saktësisë së ekzekutimit të trajektores.

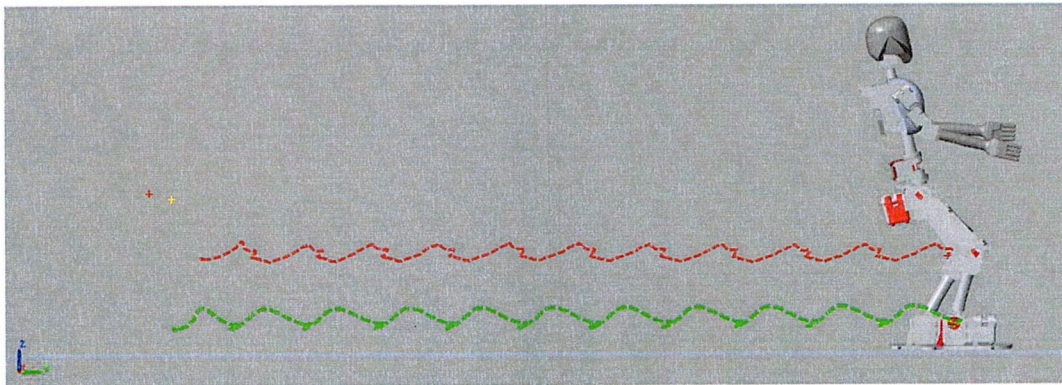


Figura 42. Prezantimi i trajektoreve në softuerin Kinova

Figura 43 paraqet një strukturë bllok në ambientin Simulink të MATLAB-it e cila shërben për të monitoruar dhe për të nxjerrë pozicionet hapësinore (X, Y, Z) të pikave kyçe të robotit biped UXA-90 gjatë simulimit të ecjes. Çdo komponent i paraqitur përfaqëson një nyje të rëndësishme të trupit të robotit, përfshirë qendrën e masës (COM), të dy nyjet e hipit (Left/Right hip pitch), të dy gjunjët (Left/Right knee) si dhe nyjet e kyçeve të këmbëve (Left/Right ankle pitch). Pozicioni i secilës nyje merret përmes blloqeve të orientimit hapësinor (Transform Sensor), të cilët masin koordinatat në sistemin referues dhe më pas ndajnë komponentët X, Y dhe Z për secilën nyje në mënyrë të veçantë. Këto sinjale lidhen me portat e sinjalit që i grupojnë të dhënat për secilën nyje dhe më pas i dërgojnë ato në bllokun përmbledhës me emërtimin “out.posXYZ”, i cili përmban të gjitha të dhënat pozicionale të rëndësishme për analiza të mëtejshme, si për shembull vizualizimi i trajektoreve ose krahasimi me modele të referencës. Ky konfigurim është thelbësor për të mundësuar kontroll të saktë dhe gjurmim në kohë reale të lëvizjeve të gjymtyrëve të robotit gjatë ciklit të ecjes.

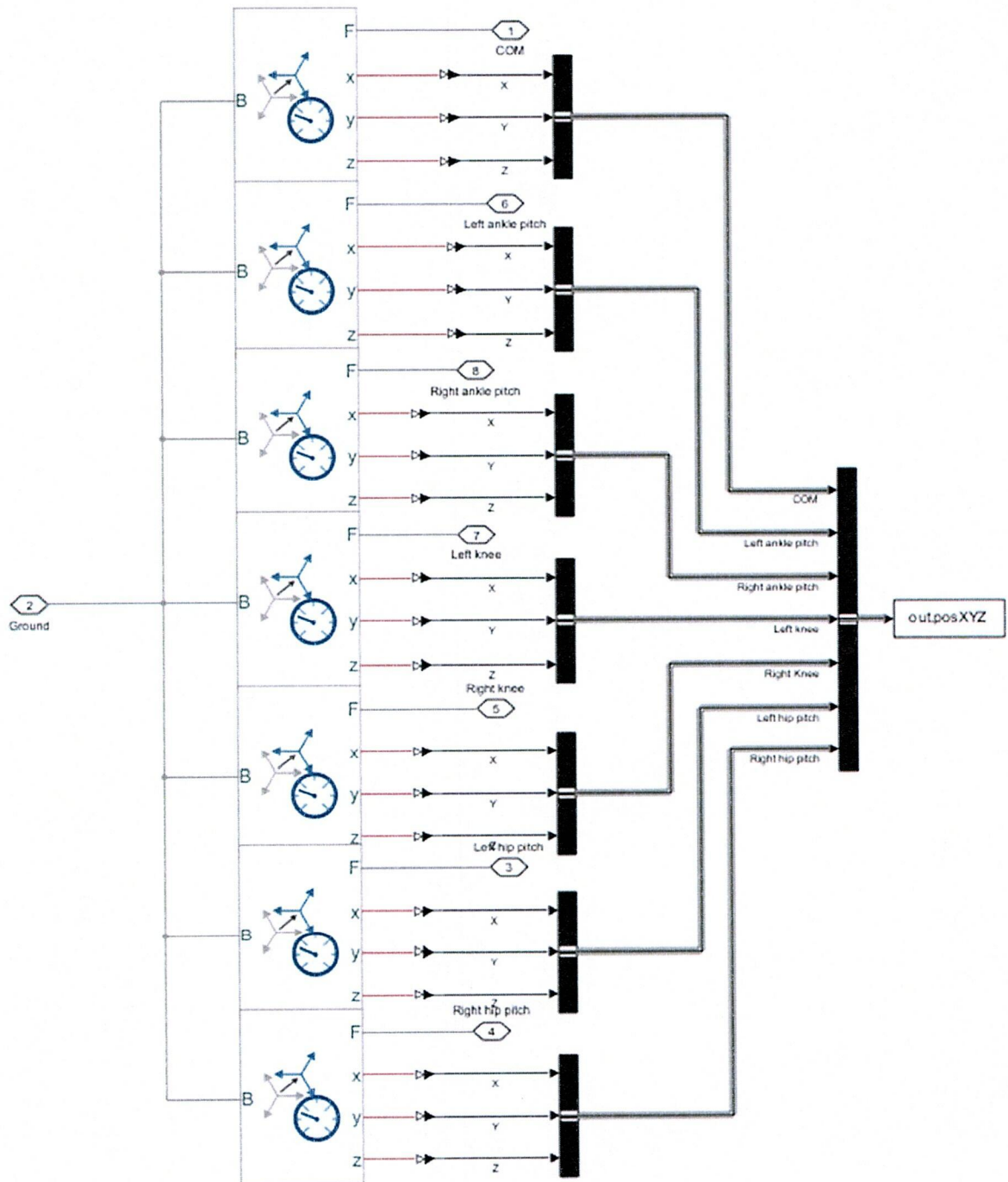


Figura 43. Pozicionet 3D të Nyjeve të Robotit UXA-90 në Simulink

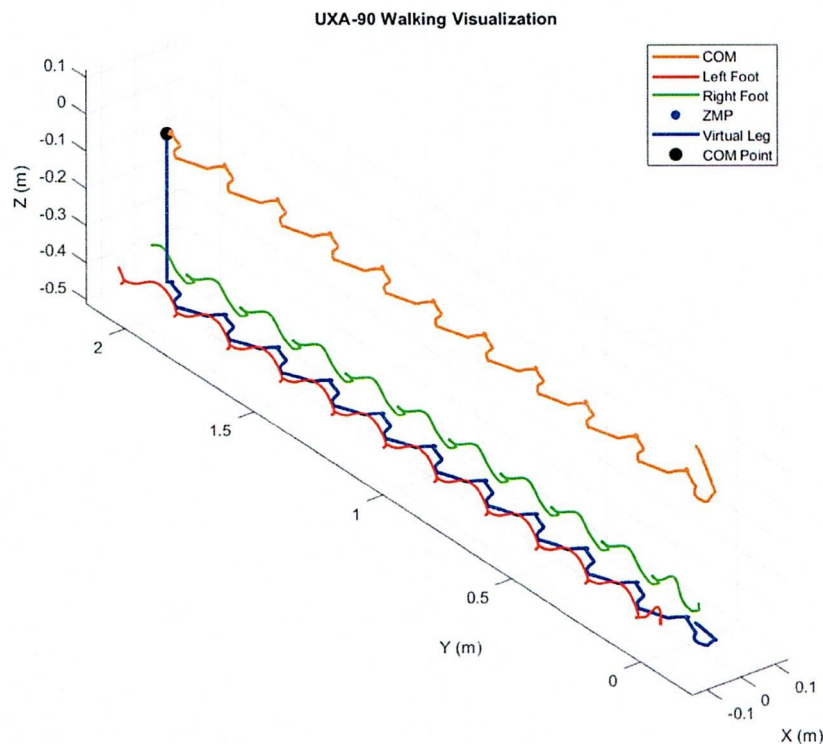


Figura 44. Vizualizimi i Ecjes së Robotit UXA-90 në 3D

Figura 44 paraqet vizualizimin tredimensional të ciklit të ecjes së robotit biped UXA-90. Trajektoret janë paraqitur për komponentët kryesorë të lëvizjes, përfshirë:

- COM (Center of Mass) – Trajektorja e qendrës së masës është paraqitur me vijë portokalli, duke treguar zhvendosjen dinamike gjatë ecjes.
- Left Foot – Lëvizja e këmbës së majtë paraqitet me vijë jeshile.
- Right Foot – Lëvizja e këmbës së djathtë paraqitet me vijë të kuqe.
- ZMP (Zero Moment Point) – Pikat e ZMP janë të paraqitura me pika të kaltra, që tregojnë stabilitetin gjatë fazave të mbështetjes.
- Virtual Leg – Lidhja virtuale mes këmbëve në fazën e transferimit të peshës është paraqitur me vijë blu.
- COM Point – Pozita momentale e qendrës së masës është theksuar me një pikë të zezë të madhe.

Figura 43 tregon qartë ecjen e alternuar të këmbëve në boshtet X, Y dhe Z, duke përfaqësuar një model të saktë të qëndrueshmërisë dhe koordinimit të lëvizjes në plan hapësinor. Figura 42 ilustron

edhe simetrinë midis këmbës së majtë dhe të djathtë, gjë që justifikon pse në analiza më të thjeshtuara paraqitet vetëm njëra nga këmbët.

Figura 45 paraqet vizualisht hapësirën tredimensionale të lëvizjes së qendrës së masës (COM) dhe nyjeve kryesore të gjymtyrëve të poshtme të robotit biped UXA-90 gjatë ciklit të ecjes. Janë përfshirë trajektorët për nyjet kyçe në të dy këmbët, duke ofruar një analizë të plotë të koordinimit dhe stabilitetit të robotit gjatë lëvizjes. ZMP (Zero Moment Point) – E përfaqësuar me pikë të verdha dhe katrorë të kaltër, ZMP ndjek trajektoren e kontaktit të këmbëve me tokën dhe pasqyron vendin ku forcat reacionare të tokës ruajnë ekuilibrin dinamik të robotit gjatë ecjes. Lëvizja e ZMP-së ndjek nga afër alternimin e këmbëve, duke shërbyer si tregues i sigurisë së hapave dhe i stabilitetit të sistemit gjatë fazave të mbështetjes dhe lëvizjes.

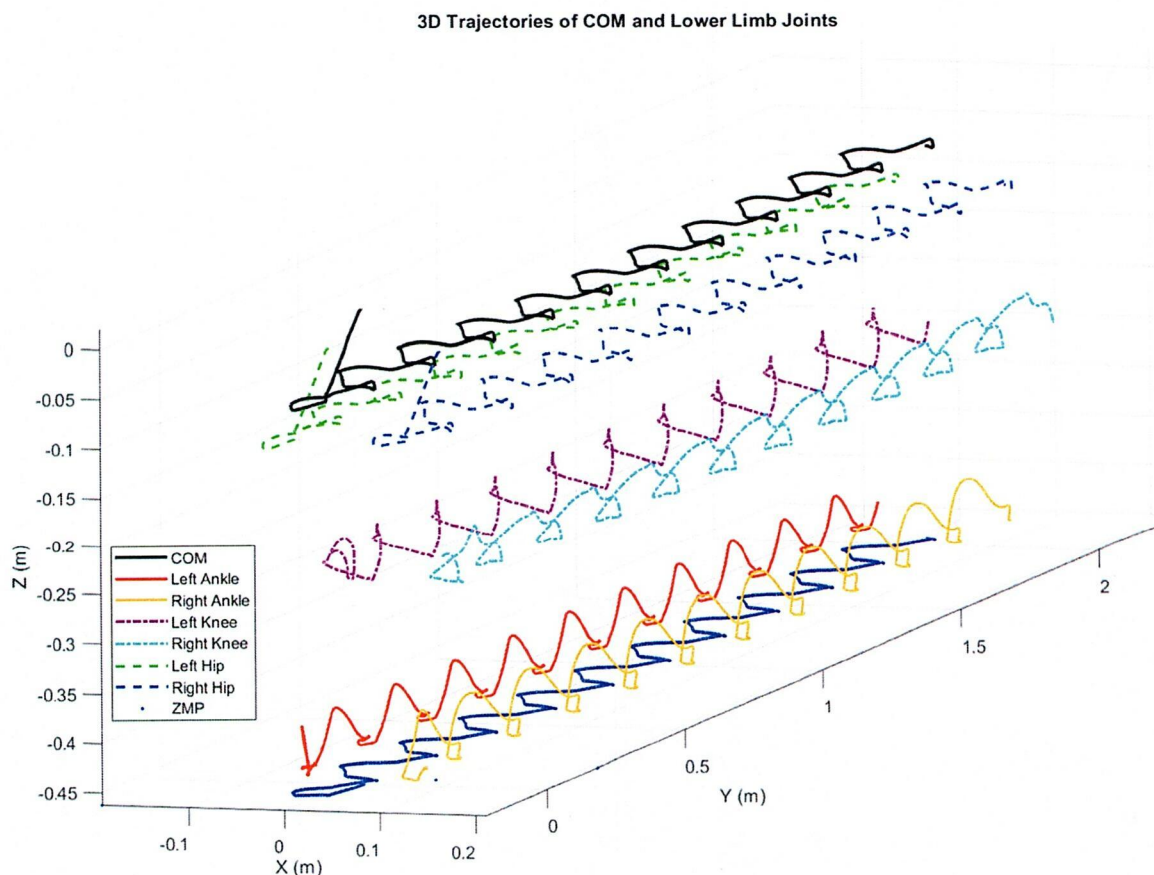


Figura 45. Trajektorët 3D të qendrës së masës dhe nyjeve të gjymtyrëve të poshtme të robotit humanoid uxa-90

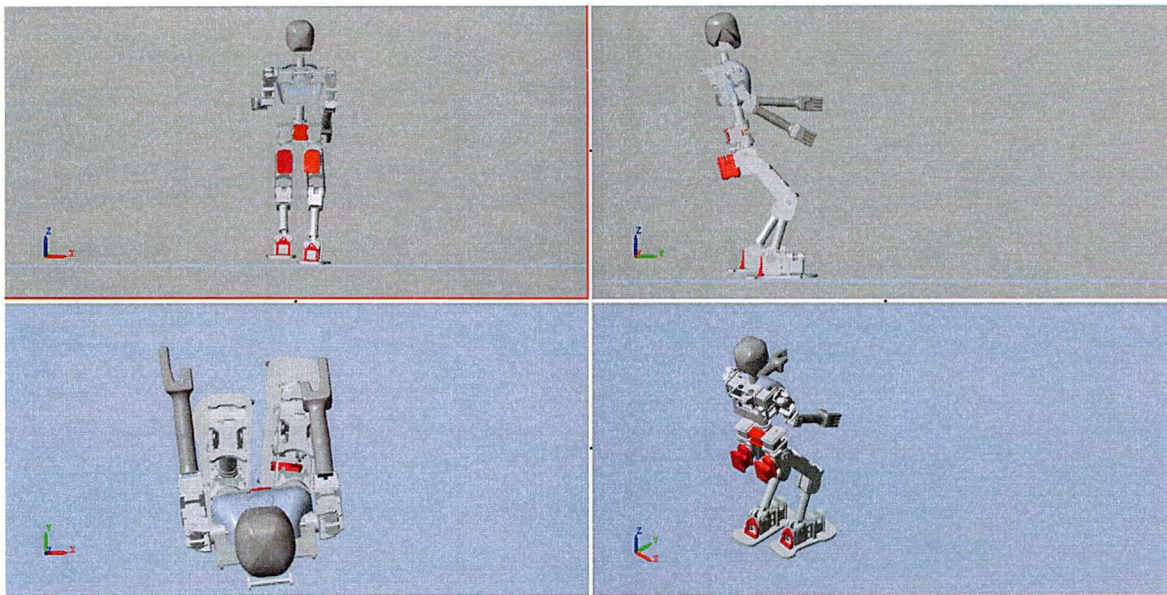


Figura 46. Robotit Biped UXA-90 në Pozicione të Ndryshme Hapësinore

Figura 46 paraqet modelin tredimensional të robotit biped UXA-90 në ambientin e simulimit, i vizualizuar nga katër këndvështrime të ndryshme: pamja frontale (sipër majtas), pamja anësore (sipër djathtas), pamja nga lart (poshtë majtas) dhe pamja izometrike (poshtë djathtas). Në secilën nga këto pamje, nyjet kryesore të gjymtyrëve të poshtme – përkatësisht nyjet e kofshës, gjurit dhe kyçit të këmbës – janë theksuar me ngjyrë të kuqe për të treguar komponentët aktivë gjatë ciklit të ecjes. Këto nyje janë thelbësore për krijimin e lëvizjes së qëndrueshme dhe të sinkronizuar të robotit gjatë ecjes në mjedisin virtual. Figura shërben për të ofruar një perspektivë të plotë hapësinore të konfigurimit të robotit, që është e domosdoshme për kontrollin e kinematikës inverse dhe verifikimin vizual të qëndrimit dhe balancës gjatë fazave të ndryshme të simulimit. Modelet janë të skalitura me orientime të sistemit koordinativ për secilën pamje, duke lehtësuar analizën hapësinore të pozicionit dhe orientimit të trupit të robotit në boshtet X, Y dhe Z.

Pas aplikimit të të dy qasjeve të mësimin, u arritën rezultate shumë premtuese. Roboti ishte në gjendje të realizonte:

- Ecje të qëndrueshme për distanca të caktuara;
- Balancim aktiv gjatë qëndrimit në një këmbë;
- Reagim ndaj ndryshimeve të terrenit në simulim.

Krahasimi ndërmjet algoritmit gjenetik dhe RL tregoi se RL siguron rezultate më të sakta dhe fleksibilitet më të madh, ndërsa algoritmi gjenetik është më i shpejtë për implementim fillestar.

Për verifikimin përfundimtar të rezultateve të simulimit, trajektoret dhe komandat e fituara u eksportuan dhe u implementuan në një platformë fizike eksperimentale. Përdorimi i sensorëve të integruar dhe pajisjeve të kontrollit të jashtëm mundësoi riprodhimin e lëvizjeve të trajnimit në robot real.

- Përshtatshmëria e mirë e komandave të simulimit në robot real;
- Nevoja për filtrim të inputeve për shkak të kufizimeve fizike të servomotorëve;
- Qëndrueshmëri e kënaqshme në ecje për distanca të shkurtra.

Këto testime konfirmuan vlefshmërinë e modelit dhe efektivitetin e trajnimeve të realizuara.

13 Konkluzioni

Punimi në fjalë paraqet një kontribut të rëndësishëm në fushën e robotëve humanoid, duke synuar ndërtimin dhe vlerësimin e një modeli të avancuar të robotit biped UXA-90. Procesi filloi me dizajnimin e modelit mekanik në mjedisin CAD (SolidWorks), ku u definuan me kujdes nyjet dhe strukturat e gjymtyrëve të poshtme, siç u ilustrua përmes pamjeve hapësinore në kënde të ndryshme të robotit. Më tej, u zhvillua një mjedis simulimi gjithëpërfshirës në MATLAB/Simulink dhe Simscape, duke përfshirë gjenerimin e trajektoreve 3D për qendrën e masës dhe të gjitha nyjet kyçe, si dhe ekstraktimin e koordinatave hapësinore për analizë dhe kontroll. Struktura modulare e modelit lehtësoi integrimin e trajektoreve me sistemin fizik të simulimit dhe realizimin e ecjes së qëndrueshme përmes harmonizimit të nyjeve dhe trajektoreve së pikës ZMP, e cila ndjek me saktësi alternimin e këmbëve dhe garanton stabilitet dinamik.

Rezultatet e simulimit treguan se është e mundur të arrihet një lëvizje e qëndrueshme dhe e natyrshme e robotit përmes përdorimit të algoritmeve të avancuara të kontrollit. Përdorimi i reinforcement learning dhe algoritmeve gjenetike dëshmoi jo vetëm zbatueshmërinë e këtyre metodave në fushën e robotikës, por edhe efektivitetin e tyre në zgjidhjen e problemeve të kontrollit të lartë kompleksiteti, siç është ecja autonome e një roboti dykëmbësh. Për më tepër, vizualizimi i saktë i trajektoreve të nyjeve dhe pozicionimi i qendrës së masës në kohë reale mundësoi një analizë të thelluar të qëndrueshmërisë dhe performancës së sistemit.

Në të ardhmen, ky hulumtim mund të zgjerohet në disa drejtime. Së pari, mund të integrohen sisteme të perceptimit vizual për të mundësuar navigim dhe ndërveprim më të avancuar me mjedisin. Së dyti, kontrolli aktual mund të pasurohet me mekanizma adaptivë në kohë reale, të cilët do të lejojnë robotin të përshtatet me ndryshime të papritura në terren apo ngarkesa. Së fundmi, ky model paraqet një bazë solide për aplikime në robotikën shoqëruese, rehabilituese dhe industriale, ku kërkohet ecje autonome dhe ndërveprim i sigurt me njerëzit dhe objektet përreth.

14 Referencat

1. Bajrami, X. (2013). *Dynamic modeling and simulation of a biped robot* (Doctoral dissertation, Technische Universität Wien).
2. Bajrami, Xhevahir, Ahmet Shala, Gezim Hoxha, and Rame Likaj. "Dynamic modelling and analyzing of a walking of humanoid robot." *Strojnicki casopis Journal of Mechanical Engineering* 68, no. 3 (2018): 59-76.
3. Bajrami, X., Kopacek, P., Shala, A., & Likaj, R. (2013). Modeling and control of a humanoid robot. *Elektrotechnik und Informationstechnik: e & i*, 130(2), 61-66.
4. Vukobratović, Mimir, Veljko Potkonjak, Kalman Babković, and Branislav Borovac. "Simulation model of general human and humanoid motion." *Multibody System Dynamics* 17 (2007): 71-96.
5. Bajrami, Xhevahir, Arbnor Pajaziti, Ramë Likaj, Ahmet Shala, Rinor Berisha, and Mirlind Bruqi. "Control theory application for swing up and stabilisation of rotating inverted pendulum." *Symmetry* 13, no. 8 (2021): 1491.
6. Shala, A. (2004): Planning walking patterns for a BIPED robot using FNN-GA. Brussels, Belgium.
7. Evans, Zoe, Matteo Leonetti, and Martim Brandão. "Bias and Performance Disparities in Reinforcement Learning for Human-Robot Interaction." In *2025 ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction*. 2025.
8. BAJRAMI, Xhevahir, Fisnik KAÇIU, Erjon SHALA, and Rame LIKAJ. "Real-Time Swing-up of a Linear Inverted Pendulum Using Reinforcement Learning." *Mechanics* 31, no. 2 (2025): 123-135.
9. <https://www.mathworks.com/help/sm/ug/humanoid-robot.html>, vizituar me 25.01.2025
10. Model-Based Control of Humanoid Walking, <https://www.mathworks.com/videos/model-based-control-of-humanoid-walking-1574399243682.html>, vizituar me 25.01.2025.
11. Train Biped Robot to Walk Using Reinforcement Learning Agents, <https://www.mathworks.com/help/reinforcement-learning/ug/train-biped-robot-to-walk-using-reinforcement-learning-agents.html>, vizituar me 11.04.2025.
12. Nguyen, Xuan Tien, Tri Duc Tran, Huy Hung Nguyen, Nhut Phuong Tong, Thanh Phuong Nguyen, and Tan Tien Nguyen. "Controlling center of mass in humanoid robot using

- sliding mode control." In *2020 International Conference on Advanced Mechatronic Systems (ICAMechS)*, pp. 17-22. IEEE, 2020.
13. Nguyen, Xuan Tien, Huy Hung Nguyen, Trong Hai Nguyen, Tan Tien Nguyen, and Thanh Phuong Nguyen. "An Approach on a Balance for a Small Humanoid Robot by Using Movable Mass." In *International Conference on Advanced Engineering Theory and Applications*, pp. 681-691. Cham: Springer International Publishing, 2019.
 14. Kajita, Shuuji, Hirohisa Hirukawa, Kensuke Harada, Kazuhito Yokoi, Shuuji Kajita, Hirohisa Hirukawa, Kensuke Harada, and Kazuhito Yokoi. *Kinematics*. Springer Berlin Heidelberg, 2014.
 15. Al-Shuka, Hayder FN, F. Allmendinger, Burkhard Corves, and Wen-Hong Zhu. "Modeling, stability and walking pattern generators of biped robots: a review." *Robotica* 32, no. 6 (2014): 907-934.
 16. Spong, M. W., Hutchinson, S., & Vidyasagar, M. (2006). *Robot modeling and control* (Vol. 3, pp. 75-118). New York: Wiley.

UNIVERSITETI I PRISHTINËS
“HASAN PRISHTINA”
FAKULTETI I INXHINIERISË MEKANIKE

DEKLARATA ETIKE

Unë, **Andi Gashi** me numër të regjistrimit (ID) **230805200005**

deklaroj se,

punimi i diplomës master me titull:

“Modelimi dhe rregullimi i ecjes së robotit dykëmbësh duke përdorur algoritmet e reinforcement learning dhe algoritmet gjenetike”

- paraqet rezultatet e punës sime shkencore hulumtuese,
- punimi i diplomës në tersi apo pjesërisht nuk është paraqitur në ndonjë program akademik në Fakultete tjera apo Universitete,
- rezultatet e prezantuara në punimin e diplomës janë të besueshme dhe janë të specifikuara në mënyrën e duhur, dhe
- nuk i kam shkel të drejtat autoriale.

Prishtine, Maj 2025

Andi Gashi
