



РЕЦЕНЗИЯ

върху дисертационен труд за придобиване на образователната и научна степен
„доктор”

Автор на дисертационния труд: маг. Ивайло Робертов Георгиев

Тема на дисертационния труд: „Проектиране и управление на 3D принтирана хуманоидна ръка”

Професионално направление: 5.1 “Машинно инженерство”

Научна специалност: „Роботи и Манипулатори”

Рецензент: проф. д-р Таньо Колев Танев, Институт по роботика –БАН

1. Общо описание на дисертационния труд

Дисертационният труд е с общ обем от 115 страници и е оформен в 5 глави, библиография от 65 използвани литературни източника, приноси, списък на публикациите по дисертационния труд (5 публикации по темата на дисертационния труд). Посочени са връзки към 5 броя приложения. Дисертационният труд съдържа: заглавна страница; съдържание, увод; изложение; заключение - резюме на получените резултати с декларация за оригиналност; библиография, което отговаря на изискванията на Закона за развитието на академичния състав в Република България. В документите е представен и протокол и разпечатка от специализиран софтуер за липса на плагиатство.

2. Актуалност на разработвания в дисертационния труд проблем в научно и научно приложно отношение

Дисертационният труд е посветен на актуален научен и приложен проблем, свързан с разработването на хуманоидни ръце. Те намират приложение в роботиката при захващане и манипулиране на предмети с разнообразна форма, протези, рехабилитация и взаимодействие между хора и роботи. Те позволяват на роботите да изпълняват сложни задачи в реални среди и подпомагат помощните технологии за хора с увреждания. Изследванията, свързани с разработването на хуманоидни ръце целят да се преодолее пропастта между възможностите на роботизирани операции и човешката сръчност и са актуални за изследователите в световен мащаб, като се разработват и изследват хуманоидни ръце, които да могат да захващат и манипулират широк кръг от предмети, тоест да притежават

сръчност подобна на човешките ръце. Разработват се и за протези и за рехабилитационни процеси, с което се цели подобряване на качеството на живот на пострадали хора.

В тази връзка, може да се отбележи, че целта на дисертацията (Да се проектира и създаде 3D принтирана хуманоидна роботизирана ръка изградена на модулен принцип, както и да се изследват функционалните ѝ възможности и всеки от пръстите на ръката да се задвижва от независимо управляем двигател) е актуална както в научно, така и в научно-приложно отношение.

3. Степен на познаване на състоянието на проблема

В дисертационния труд са посочени 65 използвани литературни източници, като голяма част от тях са публикувани в последните 10 години. По същество те са свързани с темата на дисертацията.

В „Обзор на предметната област“ (глава 1) са представени анатомията на човешката ръка, разгледани са различните видове хуманоидни ръце и приложенията им, направена е класификация на захвати. Анализирани са компоненти от хуманоидната ръка като двигатели, използвани сензори и управление и технология за бързо прототипиране.

Представеният обзор и библиографска справка, показват, че докторантът добре познава проблема и използваните методи и техники, свързани с темата на дисертацията и интерпретира правилно достиженията в тази област.

4. Съответствие на избраната методика на изследване и поставената цел и задачи с постигнатите приноси

Избраната методика на изследване е логична и постига основната цел и задачите на дисертационния труд. Разработването и проектирането на иновативна хуманоидна ръка на модулен принцип, хардуер и софтуер за управление на ръката, проведените експериментални изследвания с 3D принтиран модел са свързани в логична последователност, което води до завършено изследване по темата на дисертацията и показва, че авторът е избрал и приложил подходяща методика за изследване съгласно поставените цел и задачи на дисертационния труд.

5. Обща характеристика на дисертационния труд

В глава 1 (Обзор на предметната област) са анализирани литературни източници, коментира се анатомията на човешката ръка, разгледани са различни видове хуманоидни ръце и основните им приложения, направена е класификация на захвати и са анализирани основни компоненти за разработване на хуманоидна ръка. Предложена е сравнителна таблица на хуманоидни ръце базирана на предназначение, степени на свобода, начин на задвижване, сензори и използвани технологии за изработване или управление. Анализирани са и технологии за бързо

прототипиране на роботизирани ръце. Разгледани са различните начини за захващане на предмети от човешка ръка и е предоставена известна класификация за захващане.

В глава 2 (Дизайн и механика на 3D принтирана роботизирана хуманоидна ръка) е представена иновативна конструкция на хуманоидна роботизирана ръка, като в основата на новостта се посочва модулността на 3D принтирани пръсти и отпечатването на напълно сглобени пръсти, както и че всички контролни и задвижващи елементи се побират в дланта на ръката. Представен е подход за създаване на сглобени пръсти, които са директно асемблирани чрез технология за 3D печат. Изведени са основни принципи за успешно 3D принтиране на сглобени ротационни възли и е предложен цялостен алгоритъм за създаване на 3D принтиран сглобен механизъм. Предложена е конструкция на пръстите базирана на модулен принцип - пръстите на ръката са идентични, като се различават единствено при дължините на фалангите и ставните ограничения. Главата завършва с описание и схема на разработена цялостна конструкция на ръката. Ръката е проектирана с помощта на програмата AutoCAD Mechanical и се състои от 5 модулни пръста, основа и преден капак, като всеки от тези елементи е изработен чрез 3D принтерне.

Глава 3 (Описание на хардуера) е посветена на проектирането на хардуера за управление на ръката, избор на двигатели, сензори и електронни компоненти. Представена е блокова диаграма и електронна схема на свързване на хардуерните компоненти на модулен пръст. Описани са електронните компоненти и начина на свързване и функциониране. Предложена е пълна електронна схема на свързване на пръст от роботизираната ръка. Разгледани са избраните микро постояннотокови двигатели, сензори за отчитане на позиция и I2C комуникационния протокол за предаване на данни между отделните модули при управлението на пръстите на ръката.

В глава 4 (Софтуер за управление на ръката) подробно е описан разработеният софтуер за контрол на движението на пръстите и обработка на сензорната информация. Предложен е софтуер за управление на пръст, разработен с използване на софтуерен пакет LabView, като е разработен и графичен интерфейс. Второто разработено приложение за управление на ръката е създадено на езика за програмиране Python, като също е разработен графичен интерфейс с използване на стандартна вградена библиотека. Тази програма позволява управление както на отделен пръст, така и на набор от пръсти или на всички пръсти едновременно. Отделна версия на тази програма е разработена за реализация на знаци от жестомимичната азбука - позволява формиране на жестове от азбуката на американския жестомимичен език (ASL). Разработена е четвърта програма за захващане на сферични и цилиндрични обекти. За целите на управлението на ръката е разработено програмно осигуряване на i2c комуникационен протокол. Този протокол осигурява ефективна и стандартизирана връзка между различните компоненти на системата като всеки отделен пръст на роботизираната ръка функционира като I2C подчинено (slave) устройство.

Глава 5 (Експериментална верификация чрез 3D принтиран модел) е посветена на описание на процеса на тестване на 3D принтираната хуманоидна ръка. В началото на главата аналитично се анализира работното пространство и достижимите точки от пръста на хуманоидна ръка, като са представени графики, получени чрез разработени програми на Visual Lisp за AutoCAD. Извършени са експерименти с изработен прототип на ръката за верификация на функционалността на 3D принтираната ръка със захващане на предмети от бита, както и на 3D принтирани предмети на основни геометрични фигури като сфери и цилиндри. От проведените експерименти се установява, че ръката демонстрира способност за успешно захващане на сфери с диаметър от 10 до 60 милиметра и цилиндри с диаметър от 10 до 40 милиметра. Роботизираната ръка се затруднява със захващане на сфери с диаметър 70 милиметра и цилиндри с диаметър 50 милиметра. Проведени са експерименти с жестове, при които се установява възможност за реализиране на 20 жеста от наличните 26 от Американският жестомимичен език, като са анализирани причините, поради които 6 жеста не могат да се реализират от разработената ръка.

6. Научни и/или научно-приложни приноси на дисертационния труд

Формулирани са 2 научно-приложни приноси и 4 приложни. Приемам тези приноси като реално постигнати в дисертационния труд. Обобщено научно-приложните приноси се свеждат до: разработен е подход за създаване на сглобени 3D принтирани пръсти на хуманоидна ръка и е предложена иновативна конструкция, който позволява пръстите да се принтират като един обект с подвижни стави с помощта на 3D печат. Изследвани са геометрични и кинематични характеристики на пръстите на хуманоидна ръка.

Приложните приноси се обобщават като: създаден е прототип на хуманоидна ръка с модулни пръсти; разработен е хардуер и софтуер за управление и настройка на 3D принтираната модулна хуманоидна ръка; създаден е софтуер за възпроизвеждане на жестомимични знаци от 3D принтираната хуманоидна ръка и са извършени експерименти, които потвърждават функционалността на 3D принтираната ръка.

Посочените научно-приложни и приложни приноси могат да се определят като създаване на нови конструкции, технологии, получаване на потвърдителни факти и обогатяване на съществуващите знания с практическо приложение. Постигнатите научно-приложни и приложни приноси са полезни и имат практическо приложение. Те показват, че докторантът може да извършва изследователска дейност и да прилага резултатите в конкретни практически разработки.

7. Преценка на публикациите по дисертационния труд

Резултати от дисертационния труд са отразени в 5 колективни публикации, като в една статия докторантът, Ивайло Георгиев, е първи автор. Публикациите са

реферирани в световноизвестни бази данни с научна информация SCOPUS и/или Web of Science. Една публикация е в списание с Impact Factor IF= 0.7.

Тези публикации показват, че резултатите от дисертацията са докладвани на широк кръг от научната общност и удовлетворяват изискванията по защита на докторска дисертация.

8. Автореферат

Авторефератът е с обем от 40 страници, като всяка глава от дисертацията е представена накратко и коректно. Представени са основните приноси на дисертационния труд. Авторефератът е представен както на български така и на английски език.

9. Критични бележки и препоръки

Не открих съществени грешки в дисертационния труд и нямам съществени критични забележки. Въпреки това, може да се отбележат следните препоръки и критични бележки:

- Липсват заключения на края на главите, като е представено общо заключение в края на дисертацията. Дисертационният труд би спечелил, ако всяка глава завършва с кратко заключение, като това е от особено значение за глава 1 (Обзор на предметната област), където могат да се направят изводи за достигнатото до момента ниво на изследванията в областта, предимства и недостатъци на постигнати резултати от други разработки, както и да се анализират възможности за бъдещи разработки и съществуващи предизвикателства в тази област, което би подкрепило целта на дисертацията.
- В глава 5 (Експериментална верификация чрез 3D принтиран модел) се анализира коефициента на манипулативност за опростен модел на пръст. Тъй като в случая пръстът се задвижва от един двигател, то скоростите в различните стави са зависими и не могат да се управляват независимо една от друга. В този случай концепцията за коефициента на манипулативност, който е функция на Якобианата, би следвало да се прецизира в контекста на горния факт.

Направените забележки не омаловажават качествата на получените резултати, а по-скоро са препоръки за следващи публикации на докторанта.

10. Заключение

Темата на дисертационния труд е актуална. Докторантът показва задълбочено познаване на тематиката по дисертацията и постиженията на водещи фирми и научни колективи в световен мащаб, което е ясно от представения литературен обзор. Получени са научно-приложни и приложни приноси при работата по

дисертационния труд. В заключение, считам че са изпълнени изискванията на ЗРАСР, Правилника за неговото прилагане и Правилника на БАН и **оценявам положително** този дисертационен труд, което ми дава основание да предлага маг. **Ивайло Робертов Георгиев** да получи образователната и научна степен „**ДОКТОР**” по научната специалност „Роботи и Манипулатори“, Научно направление 5.1 “Машинно инженерство”.

18.11.2025 г.

Рецензент:

/ проф. д-р Таньо Танев/