١١٧١

دانشگاه تربیت مدرس

دانشکده فنی و مهندسی

پایان نامهٔ کارشناسی ارشد

مهندسی مکانیک

گرایش طراحی کاربردی

آنالیز، طراحی و ساخت ربات ۶ درجه آزادی با مکانیزم تلفیقی برای معلولین

سید مهرداد طباطبایی

استاد راهنما

دکتر سیامک اسماعیل زادهٔ خادم

تابستان ۱۳۷۵

۴۵۶

۱۸۷۱

دانشگاه تربیت مدرس

تاییدیه هیات داوران

خانم/آقای مهرداد طباطبائی پایان‌نامه ✓ واحدی خود را با عنوان آنالیز - طراحی و ساخت ربات ۶ درجه آزادی با مکانیزم تلفیقی برای معلولین در تاریخ ۷۵/۷/۱۵ ارائه کردند. اعضای هیات داوران نسخه نهائی این پایان‌نامه را از نظر فرم و محتوی تایید و پذیرش آنرا برای تکمیل درجه کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک با گرایش طراحی کاربردی پیشنهاد می‌کنند. ۲۸ ح ۳پ

اعضای هیات داوران	نام و نام خانوادگی	امضاء
۱- استاد راهنما:	آقای دکتر سیامک اسماعیل‌زاده	
۲- استاد مشاور:	ــــــــــــ	
۳- استادان ممتحن:	آقای دکتر مقداری	
	آقای دکتر مهدی حجتی	
۴- مدیر گروه ونماینده معاون آموزشی:	آقای دکتر مجید میرزائی	

تقدیم به :

همهٔ الاه‌های خونین

با صمیمانه‌ترین سپاس و تشکر از :

استاد گرانقدر :

جناب آقای دکتر سیامک اسماعیل زاده خادم

تمامی دست اندرکاران دانشگاه تربیت مدرّس

عزیزان دست اندرکار امور چاپ و صفحه بندی

چکیده :

در این پروژه طراحی مکانیزم تلفیقی و ساخت رباتی (یاور ۱) که بتواند در امور مختلف به جانبازات و معلولین کمک کرده و بر کارایی آنها بیفزاید مدنظر می‌باشد .

یاور ۱ در قالب ۲ پروژهٔ دانشجوئی شکل گرفت که در نهایت به صورت یک کارگروهی با نتیجه مشترک ارائه گردید . آنچه در این روند به آن پرداخته‌ایم شامل تحقیقات اولیه پیرامون انواع رباتهای کمکی موجود ، ارائه طرحهای متعدد و طراحی مکانیزم تلفیقی بهینه بر اساس ترکیب بازوهای ربات‌های Puma و Scara ، محاسبات کامل سینماتیک مستقیم و معکوس ، محاسبات کامل استاتیکی و دینامیکی ، محاسبات مربوط به طراحی اجزاء با توجه به امکانات موجود بازار و مشکلات فنی ساخت و مونتاژ می‌باشد .

این طرح از فولاد ساخته شده و دارای ۵ بازوی دورانی و یک بازوی کشویی است . برای محرک محورها از موتورهای DC استفاده شده و سیستم کنترل SISO برای کنترل مفاصل در نظر گرفته شده است ، یک صفحهٔ آموزش و کنترل ربات نیز برروی کامپیوتر شبیه سازی شده است که با استفاده از آن امکان کنترل ربات به صورت مستقیم یا تحت یک برنامه و روند پیوسته وجوددارد . برروی بدنه ربات سنسورهایی جهت دریافت موقعیت و وضعیت هر مفصل تعبیه شده است که با استفاده از سیستم باز خورد می‌توان وضعیت و موقعیت را تصحیح کرد . آنچه در این پروژه حائز اهمیت بسیار است :

طراحی مکانیزم ابتکاری منحصر بفرد تلفیقی ربات ، انجام محاسبات پیچیده مربوط به مکانیزم تلفیقی ، طراحی اجزاء و ساخت ربات با استفاده از امکانات محدود موجود و حداقل هزینه می‌باشد .

کلید واژه : Robot, Robotic, Wheelchair

فهرست مطالب :

مقدّمه ۱

فصل اول ـ مروری بر زمینه‌های رباتیک ۳

۱ ـ ۱ ـ ربات چیست ۴

۱ ـ ۲ ـ ویژگیهای ربات ۴

۱ ـ ۳ ـ طبقه بندی رباتها از دیدگاه محیط کار ۵

۱ ـ ۴ ـ کنترل رباتها ۶

فصل دوم ـ پیرامون طرّاحی رباتهای کمکی ۸

۲ ـ ۱ ـ ملاکهای طرّاحی رباتهای کمکی ۹

۲ ـ ۱ ـ ۱ ـ کاربری آسان ۱۰

۲ ـ ۱ ـ ۲ ـ عدم دست و پاگیری ۱۰

۲ ـ ۱ ـ ۳ ـ امکان تحرّک پایهٔ ربات ۱۰

۲ ـ ۱ ـ ۴ ـ میزان پذیری ۱۱

۲ ـ ۱ ـ ۵ ـ کاربری بدون نیاز به دیگران ۱۲

۲ ـ ۱ ـ ۶ ـ تکرار پذیری و قابلیت ضبط مراحل ۱۲

۲ ـ ۱ ـ ۷ ـ امکان تغییر کف دست ربات (Endeffector) ۱۲

۲ ـ ۱ ـ ۸ ـ حدّ اقل وزن ۱۳

۲ ـ ۱ ـ ۹ ـ وسعت طیف وزن قابل تحمّل و سرعت ربات ۱۳

۲ ـ ۱ ـ ۱۰ ـ استحکام و تطابق با محیط ۱۳

۲ ـ ۱ ـ ۱۱ ـ دلپذیری شکل ظاهری و نوع عملکرد ۱۴

۲ ـ ۱ ـ ۱۲ ـ مناسب بودن حالت پارک ۱۵

۱۳ ـ ۱ ـ ۲ ـ امکان توقف ناگهانی ۱۵
۱۴ ـ ۱ ـ ۲ ـ عدم سر و صدای اضافی ۱۵
۱۵ ـ ۱ ـ ۲ ـ امکانات حرکتی و جانبی تفریحی ـ آموزشی ۱۵
۱۶ ـ ۱ ـ ۲ ـ قیمت حدّ اقل ـ امکان تکمیل یا تعویض ۱۶
فصل سوم ـ تئوری ۱۷
۱ ـ ۳ ـ اصول کلّی ۱۸
۱ ـ ۱ ـ ۳ ـ دوران ۱۸
۲ ـ ۱ ـ ۳ ـ دورانهای مرکب ۱۹
۳ ـ ۱ ـ ۳ ـ الگوریتم دورانهای مرکّب ۱۹
۴ ـ ۱ ـ ۳ ـ دوران حول یک نقطه ۲۰
۵ ـ ۱ ـ ۳ ـ یکدست کردن انتقالات ۲۰
۲ ـ ۳ ـ قوانین رباتیک ۲۴
۱ ـ ۲ ـ ۳ ـ الگوریتم (Denavit-Hartenberg) ۲۴
۲ ـ ۲ ـ ۳ ـ معادلات سینماتیک مستقیم ۲۵
۳ ـ ۲ ـ ۳ ـ محاسبهٔ سرعت و شتاب دست ربات (سینماتیک سیستم) ۲۵
۴ ـ ۲ ـ ۳ ـ محاسبه ژاکوبین ۲۶
۵ ـ ۲ ـ ۳ ـ سینماتیک معکوس ۲۸
۶ ـ ۲ ـ ۳ ـ استاتیک ۳۱
۷ ـ ۲ ـ ۳ ـ دنیامیک مستقیم ۳۳
۸ ـ ۲ ـ ۳ ـ روش Newton - Euler ۳۴
۹ ـ ۲ ـ ۳ ـ دینامیک معکوس ۳۵
فصل چهارم ـ روند طراحی سینماتیکی "یاور ۱" ۳۸
۱ ـ ۴ ـ اصول حاکم بر طراحی "یاور ۱" ۳۹
۲ ـ ۴ ـ انتخاب نوع بازوها ۴۰
۱ ـ ۲ ـ ۴ ـ ربات افقی چهار محوره SCARA ۴۰
۲ ـ ۲ ـ ۴ ـ ربات Puma ۴۲
۳ ـ ۲ ـ ۴ ـ انتخاب مکانیزم تلفیقی از دو ربات ۴۳

۳ـ۴ـ ابعاد ۴۴
۴ـ۴ـ مکانیزم‌های پیشنهادی ۴۴
۵ـ۴ـ طرح نهایی "یاور ۱" ۵۴
فصل پنجم ـ محاسبات سینماتیکی "یاور ۱" ۵۶
۱ـ۵ـ سینماتیک مستقیم ۵۷
۱ـ۱ـ۵ـ محاسبه سرعت و شتاب دست ربات (end-effector) ۶۶
۲ـ۵ـ سینماتیک معکوس ۷۴
۱ـ۲ـ۵ـ نکته‌های مهم در حل سینماتیک معکوس ۸۰
فصل ششم ـ طراحی ساختار داخلی و مکانیزمهای "یاور ۱" ۸۴
۱ـ۶ـ انتخاب مواد ۸۵
۱ـ۶ـ مواد مصنوعی ۸۶
۲ـ۱ـ۶ـ فولادها ۸۹
۳ـ۱ـ۶ـ آلیاژهای آلومینیمی ۹۰
۲ـ۶ـ طرّاحی و محاسبات جنس سازه ۹۰
۱ـ۲ـ۶ـ طراحی بر اساس قطعات آلومینیومی ۹۱
۲ـ۲ـ۶ـ طراحی براساس قطعات فولادی ۱۰۰
۳ـ۶ـ موتورها ۱۰۹
۱ـ۳ـ۶ـ موتورهای DC ۱۱۰
۲ـ۳ـ۶ـ موتورهای پله‌ای ۱۱۳
۴ـ۶ـ محاسبات قدرت و انتخاب موتورها ۱۱۵
۵ـ۶ـ سیستمهای انتقال قدرت ۱۲۱
۱ـ۵ـ۶ـ سیستم انتقال قدرت پیچ و مهره‌ای ۱۲۱
۲ـ۵ـ۶ـ سیستم انتقال قدرت تسمه و زنجیر ۱۲۳
۳ـ۵ـ۶ـ سیستم انتقال قدرت با استفاده از اهرم‌های مفصل بندی شده ۱۲۹
۴ـ۵ـ۶ـ انتقال قدرت با استفاده از پیستون هیدرولیک ۱۳۰
۵ـ۵ـ۶ـ انتقال قدرت با چرخ دنده‌ها ۱۳۲
۶ـ۵ـ۶ـ سیستم‌های رفت و برگشتی با محرک هیدرومکانیکی ۱۳۶

۷ - ۵ - ۶ - پیچهای قدرت ۱۳۷
۶ - ۶ - اتّصالات ۱۳۹
۱ - ۶ - ۶ - پیچ‌ها ۱۳۹
۲ - ۶ - ۶ - مهره‌ها ۱۴۰
۳ - ۶ - ۶ - ضامن‌های پیچ‌ها ۱۴۱
۴ - ۶ - ۶ - حلقه‌های فنری ، پولک‌های فنری و دندانه دار ۱۴۱
۵ - ۶ - ۶ - مهرهٔ دوبل یا مهرهٔ مخالف (مهرهٔ کنتر) ۱۴۲
۶ - ۶ - ۶ - مهرهٔ تاجی با اشپلینت ۱۴۲
۷ - ۶ - ۶ - واشرهای لب برگردان یا دماغه دار ۱۴۲
۸ - ۶ - ۶ - ضامن‌های سیمی ۱۴۲
۹ - ۶ - ۶ - خارها و گوه‌ها ۱۴۲
۱۰ - ۶ - ۶ - اتصالات پاخارها ۱۴۳
۱۱ - ۶ - ۶ - محورهای چند کار (هزار خار) ۱۴۳
۱۲ - ۶ - ۶ - یاتاقانهای لغزشی ۱۴۳
۱۳ - ۶ - ۶ - یاتاقان‌های غلتشی ۱۴۴
۱ - ۷ - ۶ - طراحی و روش ساخت بازوها و مفاصل ۱۴۶
۲ - ۷ - ۶ - طراحی و انتخاب یاتاقانها ۱۵۳
۳ - ۷ - ۶ - محاسبات جوشکاری ۱۵۵
۴ - ۷ - ۶ - طراحی و محاسبات پیچ‌ها ۱۵۷
۵ - ۷ - ۶ - طراحی و محاسبات چرخ دنده‌ها ۱۵۸
۶ - ۷ - ۶ - طراحی و محاسبات پولی‌ها ۱۶۳
نتیجه گیری و پیشنهادات ۱۶۹
* نتیجه گیری ۱۷۰
* پیشنهادات ۱۷۴
فهرست مراجع ۱۷۵

مقدّمه :

کلمهٔ رُبات در اصل به معنای «برده» و مترادف با کلمهٔ کارگر است . از روزگاران باستان ، انسان مجذوب و شیفتهٔ پدیده‌ها و مظاهر طبیعی بوده و کوشیده است تا به نحوی از پدیده‌ها و شیوه‌های طبیعی تقلید کند و نمونهٔ آنها را بیافریند . یکی از این موارد ساختن ابزارهایی براساس برخی از اعضای بدن انسان و جانوران بوده است .

ساخت رباتهای واقعی از دههٔ ۱۳۳۰ آغاز شده است . در این دوره علوم مکانیک و الکترونیک در عرصهٔ مهندسی ، پایه‌های اولیهٔ صنعت ربات سازی را پی ریختند . این رباتها که آنها را رباتهای نسل اوّل می‌دانند ، تشابه کمی با انسان داشتند و از آنها برای کارهای سنگین و کثیف ، رنگ زنی و جابجایی قطعات سنگین استفاده می‌کردند . در سالهای بعد ، این رباتها در زمینهٔ جوشکاری اتومبیل به کار گرفته شدند و به مرور رباتهای نسل دوم که کم حجم‌تر و ارزانتر بودند ، ساخته شدند . از این رباتها در کارهای بسیار دقیق استفاده می‌گردید . این رباتها دارای آشکار سازهای حسی و چشمی و امواج فراصوت بودند و می‌توانستند حرکتی کامل داشته باشند . رباتهای سالهای اخیر که به نسل سوم رباتها معروفند ، رباتهایی یادگیر و دارای توان دریافت و استنتاج با مشخصه یادگیری و تصمیم گیری همراه با قابلیت حرکت کامل می‌باشند . با توجه به این مقدمه می‌توانیم تعریف زیر را برای ربات داشته باشیم :

ربات در حقیقت ساختاری مکانیکی و انعطاف پذیر است که از طریق پردازنده‌های فرمانبر یا برنامه پذیر قابل کنترل می‌باشد . از این رو ربات حداقل شامل دو بخش می‌باشد : ۱) کامپیوتر مرکزی ربات که به کمک سخت افزار و نرم افزار موجود ربات را فرماندهی می‌کند و داده‌های دریافتی را تفسیر و به کمک آشکار سازهای جانبی تصمیم گیری می‌کند ۲) شامل دیگر اجزاء ربات مانند بدنه ، موتورهای برقی و روغنی و بازوها ، اندام و ارتباطات و... می‌باشد .

از آنجاکه درکشورما موارد معلولیت اعم از جانبازان جنگ تحمیلی یا معلولین طبیعی یا ناشی از تصادفات به تعداد زیاد وجوددارد ، بر آن شدیم که رباتی جهت خدمت به اینگونه افراد طراحی کنیم .

انگیزه و هدف اولیه در طرح این پروژه ، ساخت رباتی بود که به صندلی چرخدار جانبازان و معلولین متصل می‌شد و به آنها درکارهای مختلفی از قبیل : غذا خوردن ، نوشیدن ، برداشتن و گذاشتن اجسام و ... کمک می‌کرد .

در این قسمت بعد از تحقیقات لازم و گفتگو با جانبازان عزیز لازم شد تا مسئله دقیق تر بررسی شود و لذا در تحقیقات بعمل آمده به طورکامل به این موضوع پرداخته شد . این تحقیقات سبب آشنائی بیشتر با مشکلات جانبازان و رفع آنها (که هدف اصلی این پروژه می‌باشد) شد . در این راستا به طور حضوری با جانبازان عزیز مصاحبه به عمل آمد (کتبی ، سمعی و بصری) که گزارشات آنها به طورکامل موجود می‌باشد . در زمینه‌های علمی نیز علاوه بر مطالعات وسیع از منابع موجود با برخی از دانشمندان علم رباتیک دنیا مکاتبه شد که متأسفانه جز چند مقاله محدود حاصلی نداشت .

بر اساس این تحقیقات ، جانبازان با انواع آسیب دیدگی و در صد جراحت گروهبندی شده و وسایل کمکی برای هر دسته معرفی شدند .

در نهایت با توجه به مشکلات جانبازان قطع نخاع و سایر این عزیزان تصمیم گرفته شد که ربات موردنظر تنها محدود به نصب روی صندلی چرخ دار نباشد و بتواند درکنار تخت جانباز یا اتاق وی در کارهای مختلف به اوکمک کند ؛ لذا طرح و صورت پروژه مشکلتر شده و به یک ربات پیچیده تر با ابعاد بزرگتر تبدیل شد ، لذا در ضمن با توجه به انتظارات زیاد و توانایی انجام کارهای متنوع مورد انتظار ، رباتی با ۶ درجهٔ آزادی انتخاب و نام آن **"یاور ۱"** نهاده شد .

مجموعه مفصّل تحقیق ، طراحی و ساخت این ربات در قالب دو پروژه مستقل همراه با نتیجه گیری مشترک از یافته‌های یکدیگر ، انجام گرفت و از این رو گزارش دو پروژه مکمل یکدیگر می‌باشند .

خلاصه نتایج حاصل شده و پیشنهادات مفید و سازنده برای تکمیل و بهینه سازی این ربات در انتهای گزارش پروژه درج شده است و بر ادامه دهندگان این راه لازم است که این تجربه‌ها را با دقت کافی مورد بررسی قرار دهند . در اینجا لازم است از همکار محترم جناب آقای مهندس عباس پورجعفریان که در جوّی پرکار و صمیمی کمال همکاری و هماهنگی را داشتند ، سپاسگزاری کنم .

فصل اول

مروری بر زمینه‌های رباتیک

۱ـ۱ـ ربات چیست:

امروزه کلمهٔ ربات به یک سیستم الکترو مکانیکی خودکار اطلاق می‌شود که می‌تواند تحت کنترل مستقیم یا غیر مستقیم کاربر، وظایف محوله را با دقّت لازم به انجام رساند. به طور معمول این سیستم‌های مکانیکی شامل چندین بازو و مفصل هستند و می‌توانند مشابه حرکات دست انسانی و بسته به نوع مکانیزم مربوطه، حرکاتی را انجام دهند.

با ترکیب رباتهای ساده برخی رباتهای پیچیده طرّاحی می‌شوند که توانایی‌های زیادتری را ایجاد می‌کنند. امروزه از ترکیب رباتهای پیچیده با سیستمهای قدرتمند کامپیوتری و پردازش صوت و تصویر، رباتهایی مشابه شمایل انسانی ساخته شده که می‌توانند طبق اجرای برنامه‌های کامپیوتری خود، بسیاری از عملیات معمول انسانی را با دقّت تمام انجام دهند .

۱ـ۲ـ ویژگیهای ربات:

عوامل تشویقی در استفاده از رباتهای صنعتی به قرار زیرند که می‌توان آنها را به عنوان ویژگیهای اصلی رباتها نیز معرفی کرد:

الف ـ تکرار پذیری:

در فعالیتهای بشری عملیّات متعدّدی وجود دارد که در آنها عنصر تکرار نقش اساسی را ایفا می‌کند، لذا با توجّه به ویژگی مهم تکرار پذیری در عملیّات مختلف رباتها، می‌توان دوره‌های ساده و پیچیدهٔ متناوب و مکرری را برای حرکات ربات پیش بینی کرد .

ب ـ دقّت:

انسان هر قدر هم ماهر و دقیق باشد، امکان اشتباه کردن و عدم دقّت به خاطر عواملی چون خستگی و مسائل روانی و... وجود دارد، امّا این مسئله در رابطه با رباتی که به طور دقیق طرّاحی شده ، تقریباً نزدیک به صفر است و لذا رباتها می‌توانند با توجه به دقّت‌های تعریف شده نتایج مطلوبی را به بار آورند. توجّه داشته باشید که منظور از دقّت، رسیدن ربات به مقصد معلوم بدون بروز خطای اضافی در وصول به مقصد است، از این رو بسته به نوع و عمل ربات، دقّت مورد نیاز ممکن است در برخی رباتها به هزارم میلیمتر و در برخی به کسری از متر تغییر یابد.

ج ـ عدم اتلاف وقت :

انسان همواره دچار خستگی شده و نیاز به استراحت دارد، در حالی که ربات می‌تواند بی وقفه به کار خود ادامه دهد. علاوه بر این بدون استفاده از رباتها، نیروهای انسانی زیادی باید به کارگرفته شوند تا حاصل کار رباتها را داشته باشند، در حالی که بخشی از این نیروهای انسانی می‌تواند برای کنترل رباتها به کارگرفته شده و ما بقی در شاخهٔ دیگری به تولید بپردازند.

د ـ بی خطر بودن:

محیط‌های کاری پر خطر همواره مسئله ساز بوده و تاکنون باعث نابودی یا معلولیت انسانهای زیادی شده‌اند . در صورت استفاده از رباتها در این نوع محیطهای کاری می‌توان امور محوّله را با ایمنی سطح بالا تحت کنترل داشت .

۳ ـ ۱ ـ طبقه بندی رباتها از دیدگاه محیط کار :

در یک نگاه کلی عرصه‌های به کارگیری رباتها را می‌توان به صورت ذیل تقسیم بندی کرد :

۱ ـ رباتهای صنعتی:

به طور معمول این نوع رباتها در کارخانه‌ها و محیطهای صنعتی، عملیّات معمول کارگران را با دقت تمام انجام می‌دهند. در صورت طرّاحی مناسب، این رباتها در محیطهای خطرناک، از جمله محیطهای شیمیایی، رادیواکتیو و محیطهای با دمای بالا ـ بدون بروز خطرات معمول برای افراد ـ وظایف محوله را به خوبی انجام می‌دهند. از جملهٔ این وظایف می‌توان روند انتقال اشیاء، جاگذاری، عملیات فنی اعم از جوشکاری، رنگ زنی و آبکاری و... را نام برد.

۲ ـ رباتهای کشاورزی :

این رباتها نیز به نوعی جزء رباتهای صنعتی محسوب می‌شوند و مانند آنها منتهی در محیطهای کشاورزی وظایف خاص مربوط به برخی عملیات کشاورزی را انجام می‌دهند. از جملهٔ این وظایف، کاشتن بذر و چیدن میوه از درخت را می‌توان نام برد.