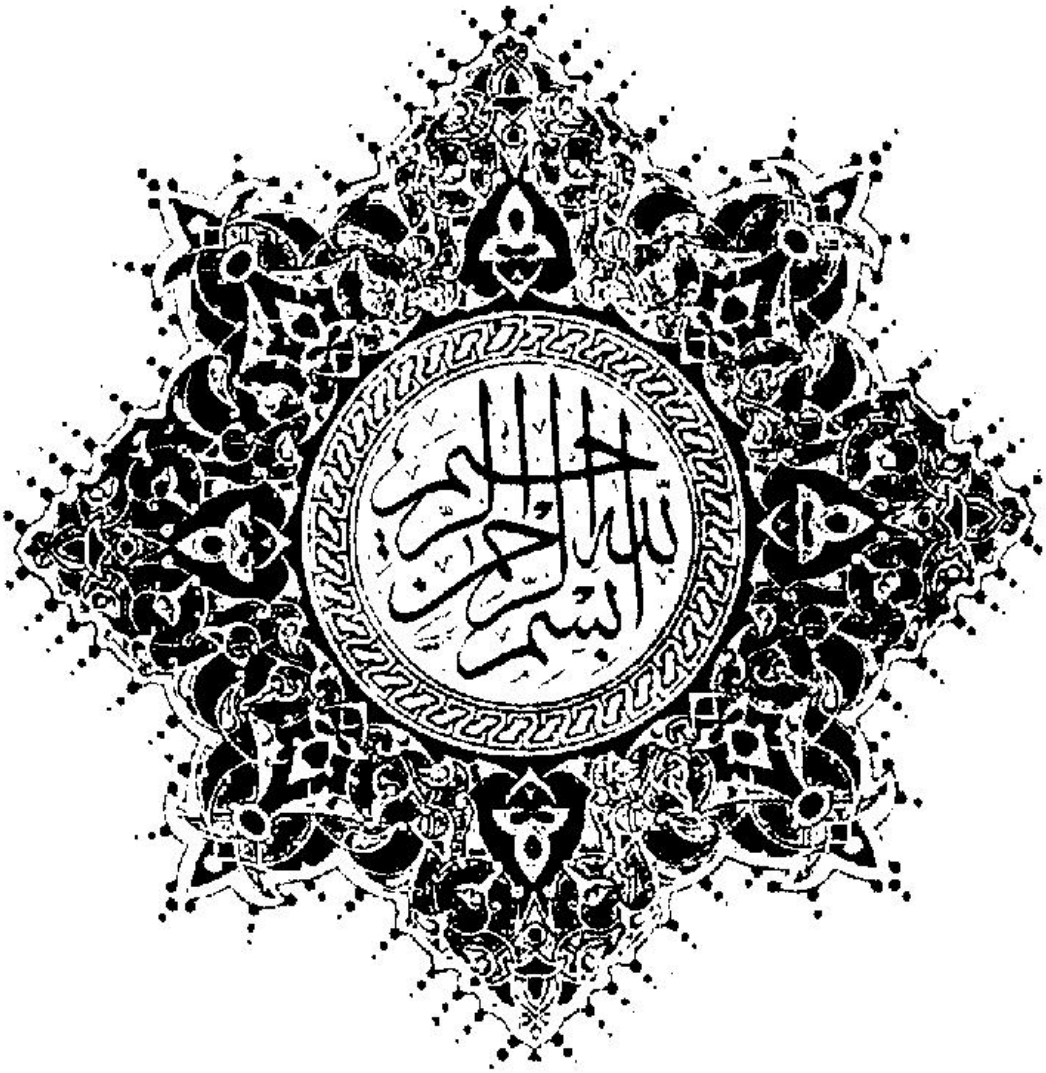

بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه سمنان
دانشکده مهندسی

گروه مکانیک

پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک گرایش طراحی کاربردی

تحلیل و تست پارامترهای غیر خطی در معادلات دینامیکی منیپولاتور با لینک انعطاف پذیر

دانشجو: محمد علی خواجه زاده

استاد راهنما:

دکتر امین نیکوبین

بهمن ۱۳۸۹

تقدیم

به بزرگترین اساتید زندگی ام، پدر و مادر عزیزم

تقدیر و تشکر

با سپاس فراوان از استاد محترم جناب آقای دکتر نیکوبین که بنده را در انجام این پایان نامه یاری فرمودند. از مسئولین کارگاه های عمران، مدل سازی و ریخته گری، جوشکاری و ورق کاری و ماشین ابزار به خاطر همکاریشان سپاسگذارم. از اساتید محترم گروه مکانیک، آقایان دکتر نیکوبین، دکتر آشوری، دکتر قدوسیان و دکتر فریدون، تشکر دیگری خواهم داشت که دروس دوره کارشناسی ارشد را برای اینجانب خاطره‌انگیز کرده، بنده را در کسب علمشان مستفید کردند.

از هم‌کلاسی‌های عزیزم، آقایان مهندس مجتبی مرادی، مهندس حامد قوشچیان، مهندس علی بخشی زاده، مهندس مهدی اکبری، مهندس مجتبی شجاع الدین و مهندس آرش محمد زاده، نهایت تشکر را دارم که در مدت این دو سال خاطرات شورانگیزی برایم به جای گذاردند.
همچنین از جناب آقای دکتر علی قدوسیان و آقای دکتر محمد رضا آشوری نیز به عنوان داوران داخلی غایت تشکر را خواهم داشت.

در پایان از زحمات پدر و مادر عزیزتر از جانم که با کاریزمای وجود خود، همواره الهام بخش غایت انگیزه در سرتاسر زندگی ام بوده اند، قدر دانی می نمایم.

چکیده

در این پروژه مدل غیر خطی یک ربات تک لینک صفحه ای با منیپولاتور انعطاف پذیر آورده شده است. مدل سازی دینامیکی به کمک توابع شکل و با استفاده از روش اجزاء محدود انجام شده است. معادلات حرکتی ربات با در نظر گرفتن مجموع انرژی های جنبشی و پتانسیل المان های ربات و استفاده از اصل لاگرانژ به دست آمده است. در محاسبه انرژی پتانسیل هر المان، ترم های غیر خطی کرنش در نظر گرفته شده است. بدیهی است که با افزایش انعطاف پذیری در بازوی ربات، استفاده از مدل غیر خطی در مدل سازی معادلات حرکتی ربات های الاستیک جوابی دقیق تر و مطمئن تر ارائه می دهد . در این تحقیق با در نظر گرفتن جابجائی های غیر خطی در رابطه کرنش که معمولا به دلیل کوچکی این تغییر شکلها از آن صرف نظر می شود، مدلی غیر خطی ارائه شده است. اثر این ترم های غیر خطی در منیپولاتور با انعطاف پذیری زیاد مشهود است. نهایتا نشان داده می شود برای گشتاور تحریک اعمالی فرکانس پائین، استفاده از مدل غیر خطی در منیپولاتور با انعطاف پذیری متوسط مناسب است، و برای گشتاور تحریک فرکانس بالا، استفاده از مدل خطی پیشنهاد می شود. همچنین نشان داده شده که در تیرهای با انعطاف پذیری کم با هر فرکانس تحریکی در گشتاور اعمالی می توان از مدل خطی استفاده نمود. برای صحه گذاری معادلات به دست آمده نتایج بدست آمده از تئوری با انجام آزمایش عملی مقایسه شده است.

واژه های کلیدی: توابع شکل- مدل غیر خطی- منیپولاتور انعطاف پذیر- روش اجزاء محدود.

فهرست مطالب

۱.۱ ربات چیست؟ ۱۲

۱.۲ تاریخچه زمانی ۱۳

۱.۳ کاربردهای ربات ۱۴

۱.۴ لزوم استفاده از ربات های الاستیک ۱۵

۱.۴.۱ مزایا و معایب ربات انعطاف پذیر ۱۵

۱.۵ شرح موضوع ۱۷

۱.۶ مشکلات و موانع ۱۸

۱.۷ اهمیت و سابقه موضوع ۱۹

۱.۷.۱ روشهای مدل سازی معادلات حرکتی ربات ۲۰

۱.۷.۱.۱ مدل سازی با استفاده از روشهای پارامتری گسترده ۲۰

۱.۷.۱.۲ مدل سازی با استفاده از روش های پارامتری توده ای ۲۱

۱.۸ اهداف پایان نامه در یک نگاه ۲۲

۲ مقدمه ۲۵

۲.۱ مرور اجمالی تحقیقات صورت گرفته ۲۵

۳ مقدمه ۳۳

۳.۱ استخراج معادلات دینامیکی ربات با حل معادلات دیفرانسیل پاره ای ۳۳

۳.۲ بررسی انرژی پتانسیل و جنبشی در روش های استخراج معادلات دینامیکی ربات ۳۴

۳.۲.۱ روش مودهای فرضی ۳۶

۳.۲.۲ مدل جرم و فنر ۳۷

۳.۲.۳ روش المان محدود ۳۹

۳.۲.۴ روش هولزر ۴۱

۳.۲.۵ روش کار مجازی ۴۲

۳.۳ استخراج معادلات ربات الاستیک با روش لاگرانژ ۴۳

۳.۴ شبیه سازی معادلات دینامیکی برای یک منیپولاتور تک لینک انعطاف پذیر با استفاده از روش مودهای فرضی ۴۴

۳.۴.۱ محاسبه انرژی پتانسیل ۴۵

۳.۴.۲ محاسبه انرژی جنبشی ۴۵

۳.۵ شبیه سازی معادلات دینامیکی منیپولاتور تک لینک با روش های دیگر ۵۲

۴ مقدمه ۵۹

۴.۱ رابطه غیر خطی کرنش ۵۹

۴.۲ به دست آوردن جابجائی ها با استفاده از توابع شکل ۶۱

۴.۲.۱ شکل مود برای المان محوری ۶۱

۴.۲.۲ شکل مود برای المان تیر ۶۳

۴.۳ پارامتری برای بیان دقیق از میزان صلبیت و انعطاف پذیری ۶۷

۴.۴ مدل المان محدود منیپولاتور خمیده ۶۷

۴.۴.۱ انرژی جنبشی ۷۰

۴.۴.۲ انرژی پتانسیل ۷۰

۴.۴.۳ شرایط مرزی و سازگاری ۷۱

۴.۵ استخراج معادلات حرکتی ربات ۷۱

۴.۶ شبیه سازی عددی و نتایج ۷۲

۵ مقدمه ۷۹

۵.۱ اجزاء تشکیل دهنده ربات به همراه کاربرد هر یک ۸۰

۵.۲ ظبط داده های آزمایش از طریق دوربین فیلم برداری غیر حرفه ای ۸۳

۵.۳ عوامل ایجاد خطا در آزمایش ۸۴

۵.۳.۱ اصطحکاک ۸۵

۵.۳.۲ لقی ۸۶

۵.۳.۳ سایر عوامل ۸۸

۵.۴ انجام شبیه سازی با آزمایش ۹۰

۶ بحث و نتیجه گیری ۹۶

۶.۱ پیشنهادات برای ادامه تحقیق ۹۷

پیوست ۱۰۰

مراجع ۱۰۲

فهرست اشکال

شکل ۲-۱ ربات انعطاف پذیر ۱۶
شکل ۳-۱ انحراف تیر از موقعیت خود در اولین مود ۳۶
شکل ۳-۲ مدل جرم و فنر در منیپولاتور منعطف ۳۷
شکل ۳-۳ نمائی از مدل المان محدود در ربات الاستیک ۳۹
شکل ۳-۴ مدل المان محدود با دو درجه آزادی در هر گره ۴۰
شکل ۳-۵ تقسیم تیر به اجرام متمرکز و میله های رابط در روش هولرز ۴۱
شکل ۳-۶ نمایش سیستم های مختصات جامع و محلی ۴۴
شکل ۳-۷ منحنی موقعیت و سرعت زاویه ای بر حسب زمان در گشتاور فرکانس پائین ۴۷
شکل ۳-۸ منحنی موقعیت و سرعت زاویه ای بر حسب زمان در گشتاور فرکانس بالا ۴۸
شکل شکل ۳-۹ منحنی موقعیت و سرعت زاویه ای بر حسب زمان تحت وزن بازو ۵۰
شکل ۳-۱۰ مقایسه مدل صلب و انعطاف پذیر ۵۱
شکل ۳-۱۱ ۵۲
شکل ۳-۱۲ گشتاور اعمالی به هاب ربات ۵۳
شکل ۳-۱۳ نمائی از لینک شبیه سازی شده ۵۴

شکل ۳-۱۴ تغییرات زاویه با زمان ۵۴
شکل ۳-۱۵ تغییرات سرعت زاویه ای با زمان ۵۵
شکل ۳-۱۶ نمودار تغییرات زاویه با زمان با در نظر گرفتن اثرات میرائی ۵۶
شکل ۴-۱ المان تیر به سه درجه آزادی ۶۰
شکل ۴-۲ جابجائی یک المان محوری در اثر اعمال نیرو ۶۱
شکل ۴-۳ المان محوری ۶۲
شکل ۴-۴ شکل مودها ۶۲
شکل ۴-۵ ترکیب مودها ۶۲
شکل ۴-۶ سوی مثبت نیروها و تغییر مکان های تیر ۶۳
شکل ۴-۷ سوی مثبت تغییر مکان ها به طور مجرا ۶۳
شکل ۴-۸ تغییر شکل تیر در اثر جابجائی ۶۵
شکل ۴-۹ مدل منیپولاتور صفحه ای با زاویه پیچ خورده δ ۶۸
شکل ۴-۱۰ خیز انتهائی تیر در گشتاور فرکانس بالا ۷۳
شکل ۴-۱۱ خیز انتهائی تیر در گشتاور فرکانس پائین ۷۳
شکل ۴-۱۲ نمودار تغییر شکل طولی انتهای ربات نسبت به زمان ۷۴
شکل ۴-۱۳ نمودار سرعت تغییر شکل طولی انتهای ربات نسبت به زمان ۷۵
شکل ۴-۱۴ نمودار تغییر شکل جانبی انتهای ربات نسبت به زمان ۷۵
شکل ۴-۱۵ نمودار سرعت تغییر شکل جانبی انتهای ربات نسبت به زمان ۷۵
شکل ۴-۱۶ نمودار سرعت زاویه ای هاب ربات نسبت به زمان ۷۶
شکل ۴-۱۷ نمودار تغییرات نرخ کرنش انتهای ربات نسبت به زمان ۷۶
شکل ۴-۱۸ مقایسه حالت خطی و غیر خطی در تیر با انعطاف پذیری زیاد ۷۷
شکل ۴-۱۹ مقایسه حالت خطی و غیر خطی در تیر با انعطاف پذیری کم ۷۷
شکل ۵-۱ شماتیکی از طرح ربات ۸۰

شکل ۵-۲ نمایش محل قرار گیری اجزای ربات ۸۳
شکل ۵-۳ ۸۴
شکل ۵-۴ باند مرده ۸۶
۵۵- بلوک دیاگرام لقی در نرم افزار متلب ۸۷
شکل ۵-۶ مدل لقی با فرض باند مرده ۱ و خروجی اولیه صفر ۸۷
شکل ۵-۷ احتمال چرخش دوربین در هنگام ثبت داده ها ۸۹
شکل ۵-۸ نمای شماتیک از الکترو موتور و هاب ۸۹
شکل ۵-۹ مقایسه نتایج تئوری و آزمایش در مود سرعت ۹۱
شکل ۵-۱۰ میرا شدن جابجائی انتهائی تیر $\dot{\theta} = 0.4\sin(30t)N - m.$ ۹۲
شکل ۵-۱۱ مقایسه نتایج تئوری و آزمایش در مود سرعت ۹۲
۵-۱۲ مسیر طی شده انتهائی لینک در صفحه کاری $\dot{\theta} = 0.4\sin(30t)N - m.$ ۹۳
شکل ۵-۱۳ مقایسه نتایج تئوری و آزمایش در مود سرعت ۹۳
شکل ۵-۱۴ مقایسه نتایج تئوری و آزمایش در مود گشتاور ۹۴

فهرست جداول

جدول ۱ مقایسه انرژی جنبشی و پتانسیل در دو مدل متمرکز و گسترده ۳۸
جدول ۲ مقادیر پارامترهای شبیه سازی ۴۶
جدول ۳ مقادیر پارامترهای شبیه سازی ۴۹
جدول ۴ مقادیر پارامترهای شبیه سازی ۵۳
جدول۵ لیست قطعات مورد استفاده در ساخت ربات ۸۱

جدول ۶ مشخصات لینک ربات آزمایش ۹۱

فصل اول

مقدمه و تاریخچه

۱.۱ ربات چیست؟

تعاریف بسیار زیادی برای ربات پیشنهاد شده است که سطوح مختلفی از مهارتهای تکنولوژیکی از وسایل ساده حمل مواد گرفته تا آدم آهنیهای پیشرفته را در پیش چشم مجسم می کند. بشر از دیرباز درصدد آن بود که به تواناییهای خود بیفزاید. مهمترین انگیزه ساخت ربات ها، تامین نیروی کار و افزایش خواص فیزیکی کار بوده است. ربات از تازه ترین دستاوردهای تکنولوژی نوین است ،ربات که بسیار دقیق تر،سریعتر و ظریفتر از انسان کار می کند، انقلاب صنعتی جدیدی را پدید آورده است. ماشین اتومات وسیله ای برای انجام کار خاص و درکارخانجات برای تولید انبوه بکار گمارده می شود. اما هنگامی که روند تولید محصول، به منظور تولید محصول جدید پایان می پذیرد، باید آنرا کنارگذاست ویا مطابق با تولید جدید آنرا تغییر داد که در هر حالت موجب اتلاف هزینه مالی می شود. لذا صنایع خودکار و صنایع دیگر، ماشینهای قابل برنامه ریزی را که توانایی دسترسی ماهرانه دارند به نام ربات به بازار عرضه نموده اند تا مشکل ماشینهای اتومات که عدم توانایی تولید محصولات گوناگون است را مرتفع سازند. عملا وسیله ای که ربات نامیده می شود قدرتمند،خودگرد و انعطاف پذیر در کاربردهایش می باشد. یک ربات صنعتی از قسمت های اساسی زیر تشکیل شده است.

- ساختمان مکانیکی شامل لینکها و مفصلها
- سیستم کنترلی
- توان ورودی که که می تواند هیدرولیکی، پنوماتیکی، الکتریکی و یا ترکیبی از آنها باشد.

۱.۲ تاریخچه زمانی

تقاضای بشر برای کنترل نیروهای طبیعت یکی از علل پیشرفت انسان در طول تاریخ است. هدف از این امر،کمک گرفتن از آنها جهت استفاده بهتر از عوامل فیزیکی است که در محدوده امکانات نیستند. در خلال قرن بیستم علوم مهندسی، بسیاری از آرزوهای بشررا جامه عمل پوشاند. نحوه کار ماشینها و وسایل اولیه ای که به دست بشر ساخته شد ایجاب می کرد که انسان مستقیما با آنها در تماس بوده و رفتار آنها را بررسی کند. رباتهای صنعتی معاصر برای نخستین بار پس از اختراع وسیله برنامه ریزی شده حمل مواد توسط جرج دوول (George C.Dovel) شکل گرفت. در سال ۱۹۵۴ دوول امتیاز اختراع ماشین جدیدی برای انتقال قطعات، که مبنای آن بر اصل (teach in/play back) برای کنترل دستگاه استوار بود را در آمریکا به ثبت رسانید. ربات دوول ریشه در تکنولوژی پیشرفته از قبیل کنترل عددی برای ماشینهای افزار و انجام عملیات از راه دور داشت. کنترل عددی روشی برای کنترل اعمال بر پایه اعداد ذخیره شده است. این اعداد ذخیره شده ممکن است شامل مختصات نقاطی باشند که ماشین در آن نقاط حرکت داده می شود.

امروزه با پیشرفتهای حاصله علوم مهندسی در قسمتهایی مورد استفاده قرار می گیرند که انسان به سادگی قادر به انجام آنها نیست. در بسیاری از مسایل، از قبیل کاردرمحیط های غیر بهداشتی و سخت مانند رنگرزی، دسته بندی مواد سمی، جابجایی مواد رادیواکتیو و کارهای سخت و طاقت فرسای دیگر، که انسان قادر به درک و حل و انجام سریع آنها نیست، علوم مهندسی بخصوص علم مکانیک، نقش اساسی و حیاتی خود را ایفا کرده اند. رشد و توسعه و طرز استفاده از دستگاه ها و وسایل و ماشین آلات خودکار در خلال ۲۵-۳۰ سال اخیر تاثیر مشخصی در زندگی بشر گذارده

است. اکنون حوزه مهندسی جدید تا حدودی مرهون پیشرفت های علمی است. وجود رشته های تخصصی متعدد مانند مهندسی مکانیک، برق، کنترل و... رشته های تخصصی تر مثل رباتیک را بوجود آورده اند و با توجه به پیشرفت های سالهای اخیر در علوم مختلف،علم رباتیک نیز بسط و گردش پیدا کرده است.بطوریکه پیشرفت و استفاده از سیستم های ربات موجب اجرای بهترین نوع عملکرد سیستمهای دینامیکی، بهبود کیفیت و نزول قیمت محصول ،ازدیاد درصد تولید و سهولت زیاد کنترل شده است.

۱.۳ کاربردهای ربات

یکی از کاربردهای رباتهای صنعتی امروزی این است که می توان به کمک آنها کاری را در یک فاصله دور انجام داد، بخصوص در جاهایی که کارگران به آسانی به آنها دسترسی نداشته و یا غیر ایمن باشد. مانند حمل مواد رادیو اکتیو و عملیات در فضا یا در عمق دریا، دسته بندی اشیا، انواع جوشهای صنعتی، رنگرزی، مونتاژ مکانیکی و الکتریکی، حمل بار، تست و بازرسی، برش، دوختن، چسباندن و انتقال مواد رادیواکتیو و حتی انجام جراحی های دقیق استفاده می کنند. مغز ربات، یک کامپیوتر است .همچنین استفاده از ربات ها، موجب بهبود کیفیت محصولات،کاهش هزینه ها، حذف کارهای مکرر وکسل کننده و کاهش خطرات کاری و رودرروئی انسان با محیط های ناامن و غیر بهداشتی شده است. ربات دارای رو خصوصیت مهم است. نخست توانایی دسترسی ماهرانه به اشیا دارد که لازمه آن انتخاب بهترین مسیر حرکت درفضای جهت گیری مناسب پنجه برای برداشتن و گذاشتن اشیاست و دیگری قابلیت برنامه ریزی است که امکان انجام انواع کارها در محیط کار را به ربات می دهد.

۱.۴ لزوم استفاده از ربات های الاستیک

بسیاری از رباتها دارای ساختمان سنگین می باشند و نسبت ظرفیت حمل بار به وزن آنها حدود ۱:۱۵ تا ۱:۲۰ هستند که ظرفیت بسیار کمی است.ولی در طراحی کنترل آنها ،تحلیل دینامیکی اجسام صلب کفایت می کند. مهندسین و طراحان رباتها همواره خواهان دقت بیشتر،سرعت بالاتر و قیمت کمتر در رباتهای جدید هستند و چنانکه بتوان تحلیل مشخصی از رفتار رباتهای انعطاف پذیر به دست آورد، می توان رباتهایی ساخت که نسبت به گذشته (طراحی با فرض صلب بودن) مزایای بیشتری را دارا می باشد.

۱.۴.۱ مزایا و معایب ربات انعطاف پذیر

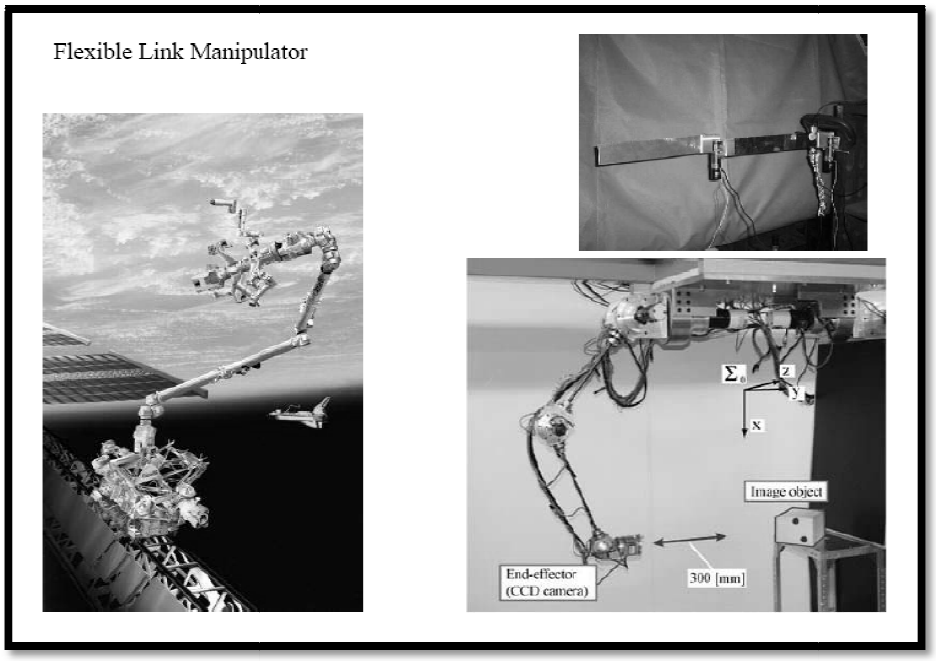
مزایای رباتهای انعطاف پذیر نسبت به رباتهای صلب در موارد زیر متجلی می گردد:

- عدم نیاز به محرکهای بزرگ و امکان استفاده از عملگر[1] کوچکتر
- توان مورد نیاز و نیز مصرف انرژی کمتر می شود.
- هزینه کلی و قیمت تمام شده ربات کمتر می شود.
- سرعت و ایمنی (عملیاتی) بالاتر است زیرا از اینرسی کاسته شده است .
- نصب راحت تر به واسطه کاهش اینرسی و استفاده از اجزای جمع و جورتر[2] فراهم می شود که نصب و محاسبات مقاومتی را ساده تر می کند.
- کاهش حجم مواد اولیه مصرفی و در پی آن نیاز به مواد کمتر.
- قابلیت جابجائی بیشتر

[1] Actuator
[2] Compact

- امکان استفاده از مواد اولیه گوناگونی که به سبب دارا بودن خاصیت انعطاف پذیری تا به حال در ساخت رباتها به کار نرفته اند، مانند مواد مرکب[1].
- وزن کمتر
- نسبت ظرفیت حمل بار بیشتر به وزن کل ربات
- قدرت مانور بیشتر
- حذف جعبه دنده به واسطه کاهش قدرت مورد نیاز.

با توجه به مزایای مطرح شده امروزه نیاز به استفاده از اینگونه رباتها به شدت احساس می شود. بنابراین ضرورت بررسی و مطالعه پیرامون رفتار رباتهای انعطاف پذیر مشخص می گردد.



شکل ۲-۱ ربات انعطاف پذیر

[1] Composites

اما معایب رباتهای انعطاف پذیر :

می دانیم همه مواد دارای سختی محدودی هستند و با اعمال نیرو و ممان تغییر شکل الاستیک می دهند. حتی در ربات هائی که صلب فرض می شوند وقتی در سرعت های بالا استفاده شوند ارتعاش ظاهر می شود واثر انعطاف پذیری قابل ملاحظه می شود. انعطاف پذیری در یک سیستم رباتیکی موجب افزایش درجات آزادی می شود که این موضوع از سه جهت تحلیل دینامیکی و کنترل این سیستم ها را پیچیده می سازد. مشکل اول در استخراج معادلات حرکت این سیستم ها و مشابه سازی حرکت بروز می کند. موضوع اندازه گیری درجات آزادی الاستیک و تعیین دقیق موقعیت پنجه مشکل دوم برای این سیستم ها است. از سوی دیگر به دلیل عدم وجود عملگر برای درجات آزادی الاستیک این نوع سیستم ها کم-عملگر[۱] بوده و بنابراین کنترل آن ها با الگوریتم های معمولی امکان پذیر نیست. بنابراین با در نظر گرفتن انعطاف پذیری [۲] لینکهای ربات، دیگر فرض دینامیک و سینماتیک صلب[۳] جسم معتبر نخواهد بود و باید طراحی ربات با در نظر گرفتن خاصیت انعطاف پذیری بازوها و در واقع احتساب تاثیرات دینامیکی متقابل حرکت صلب و انعطاف پذیر صورت پذیرد.

۱.۵ شرح موضوع

در طراحی و ساخت ربات های صنعتی مهمترین مسأله دقت، پایداری و سرعت ربات است. به رباتی که از چندین بازوی ماهر مکانیکی تشکیل شده است، منیپولاتور[۴] می گویند. میزان انرژی مصرف

[1] Under-Actuated
[2] Flexibility
[3] Rigid
[4] Manipulator

شده در عملگرها و سرعت عمل ربات به بار قابل حمل توسط ربات، جرم و ممان اینرسی بازوها، سرعت بازوها ،نیروهای گریز از مرکز و کوریولیس[1] و... بستگی دارد. افرایش سرعت عمل و کاهش مصرف انرژی جز با کاهش ممان اینرسی و جرم بازوها، وزن مجموعه و مقدار مواد مصرفی امکان پذیر نیست. همانطور که در بالا اشاره شد، کاهش موارد فوق باعث کاهش صلبیت و یا افزایش انعطاف پذیری لینک ربات می شود. بنابراین باید معادلات تغییر شکل الاستیک را در معادلات کلی ربات منظور نمود. از سرعت صوت در ماده و سرعت مشخصه ارتعاشات خمشی می توان به عنوان معیاری برای بیان انعطاف پذیری در ماده استفاده نمود.

با کاهش دو پارامتر فوق میزان انعطاف پذیری افزایش می یابد. در فصل چهارم توضیحات مفصل تری در ارتباط با این دو پارامتر خواهیم داشت.

۱.۶ مشکلات و موانع

در بازوهای صلب، هندسه رشته لینکهای ربات بوسیله معادلات غیرخطی پیچیده ای توصیف می شوند. روشهای تحلیلی موثری برای فهمیدن هندسه رفتار سینماتیکی بازوی مکانیکی مورد نیاز است که در حالت کلی آنها را سینماتیک بازو می نامند. از طرف دیگر رفتار دینامیکی ربات بسیار پیچیده است زیرا دینامیک مجموعه لینکها غیرخطی می باشند. حرکت هر مفصل از حرکت سایر مفصلها تاثیر می پذیرد و در سرعتهای بالا تاثیرات نیروهای اینرسی ، کوریولیس و گریز از مرکز بسیار قابل ملاحظه اند. این پیچیدگی ها دینامیکی و سینماتیکی رباتها وقتی که بازوها انعطاف پذیر باشند بسیار مشهود تر است، چراکه مدلسازی دقیق مودهای ارتعاشی تقریبا غیرممکن است،

[1] Coriolis