به نام دانای بزرگ، هستی‌بخش

دانشگاه صنعتی اصفهان

دانشکده مهندسی مکانیک

طراحی و کنترل تطبیقی مسیر چند منظوره یک بازوی مکانیکی متحرک چرخ‌دار

پایان نامه‌ی کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک – طراحی کاربردی

سروش یزدانی

اساتید راهنما

دکتر مهدی کشمیری

دکتر عباس فتاح

۱۳۹۰

کلیه حقوق مترتب بر نتایج مطالعات، ابتکارات و نوآوری‌های ناشی از تحقیق موضوع این پایان‌نامه متعلق به دانشگاه صنعتی اصفهان است.

دانشگاه صنعتی اصفهان

دانشکده مهندسی مکانیک

پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک گرایش طراحی کاربردی آقای سروش یزدانی

تحت عنوان

طراحی و کنترل تطبیقی مسیر چند منظوره یک بازوی مکانیکی متحرک چرخ‌دار

در تاریخ ۱۳۹۰/۴/۶ توسط کمیته تخصصی زیر مورد بررسی و تصویب نهایی قرار گرفت.

۱-استاد راهنمای پایان نامه	دکتر مهدی کشمیری
۳-استاد راهنمای پایان نامه	دکتر عباس فتاح
۳-استاد مشاور پایان نامه	دکتر محمد جعفر صدیق
۴-استاد داور پایان نامه	دکتر مصطفی غیور
۵-استاد داور پایان نامه	دکتر محمد دانش
سرپرست تحصیلات تکمیلی دانشکده	دکترضیایی‌راد

تقدیم به

پدر و مادر و برادر عزیزم

تشکر و قدردانی

خداوند منان را شاکرم که از روی لطف بنده‌اش را توان داد قدری در مسیر تحصیل و پژوهش بکوشد. انشاء الله توفیق یابیم گامی در مسیر حقیقت برداریم.

در این فرصت مناسب که به لطف و مدد الهی انجام این تحقیق به اتمام رسید بر خود واجب می دانم که از جناب آقای دکتر فتاح و خصوصا جناب آقای دکتر کشمیری که از راهنمایی‌های بی دریغ ایشان در به انجام رساندن این پایان نامه به وفور بهره برده‌ام و از آقای دکتر صدیق به عنوان استاد مشاور این پایان نامه نهایت سپاس و تشکر را داشته و از زحمات بی دریغ این اساتید بزرگوار قدردانی کرده باشم.

در پایان نیز از تمام دوستان و هم اتاقی‌هایم که بدون وجود آنها تحمل این دوران به طور باور نکردنی مشکل بود کمال سپاسگزاری را دارم.

چکیده

امروزه با پیشرفت تکنولوژی و فن‌آوری، کاربرد ربات‌ها در صنعت بسیار چشمگیر شده‌است. استفاده از ربات‌های متحرک به علت تحرک‌پذیری و مانورپذیری بالا در کارخانه‌ها بسیار رایج شده‌است. از جمله مباحثی که در اینگونه ربات‌ها مطرح است، مبحث افزونگی درجات آزادی است. هر چند به دلیل افزونه بودن درجات آزادی سیستم، پیچیدگی سینماتیکی، دینامیکی و کنترلی بیشتری در این دسته از سیستم‌های رباتیکی بوجود می‌آید، اما از طرف دیگر این موضوع می‌تواند منجر به کاهش نقاط منفرد و یا امکان انجام عملیات‌های ثانوی در طول مسیر حرکت ربات گردد. طراحی مسیر رباتهای افزونه شدیداً وابسته به مدل سینماتیکی و دینامیکی ربات است. در این تحقیق چگونگی طراحی و کنترل تطبیقی یک بازوی مکانیکی با پایه متحرک چرخ‌دار که ذاتا یک ربات با افزونگی درجات آزادی است مورد توجه قرار گرفته‌است و دو مسئله طراحی مسیر بهینه و کنترل ربات در یک عملیات دو فعالیتی بررسی شده-است.

ابتدا مسئله طراحی مسیر بهینه برای مجموعه‌ای از اندیس‌های سینماتیکی و دینامیکی به صورت تحلیلی انجام گرفته‌است. با توجه به ماهیت مدل مبنا بودن مسئله طراحی مسیر، مسئله طراحی و کنترل تطبیقی مسیر بهینه به عنوان رویکردی در طراحی مسیر مطالعه شده‌است. مطالعه انجام گرفته نشان می‌دهد استفاده از پارامترهای اصلاح شده کنترل‌کننده در بخش طراح مسیر منجر به بهینه‌تر شدن مسیر طراحی شده می-شود. از آنجا که کنترل‌کننده تطبیقی مورد استفاده، با رویکرد اصلاح تاثیر پارامترهای فیزیکی(جرم، اینرسی و غیره) طراحی شده‌است، اثر اصلاح پارامترها در طراحی تطبیقی مسیر برای اندیس‌های دینامیکی مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفته است..

در خصوص طراحی مسیر برای اندیس‌های محلی روشی برای بهینه‌سازی تقریبی و بلادرنگ ارائه و برای ربات متحرک چرخ‌دار پیاده-سازی و مورد ارزیابی قرار گرفته‌است. در روش پیشنهادی بخش بهینه‌ساز به قسمت تعقیب کننده منتقل شده‌است. تعقیب کننده وظیفه کنترل مسیر حرکت ربات روی مسیر مرجع را دارد و بهینه‌ساز تقریبی نیز وظیفه بهینه نگه‌داشتن اندیس سینماتیکی یا دینامیکی موردنظر را برعهده دارد. این بهینه‌ساز تقریبی قابلیت برخط شدن را در مجموعه وسیعی از اندیس‌ها دارد. از مزایای این روش این است که چنانچه حل تحلیلی یا عددی معادلات بهینه‌سازی در کنار محاسبات کنترلی در مدت زمان محدود پریود نمونه‌برداری امکان‌پذیر نباشد، می‌توان با استفاده از این ساختار بهینه‌ساز، در ازای تقریبی شدن بهینه‌سازی، بهینه‌سازی را به صورت بلادرنگ انجام داد.

همچنین در این پایان نامه با تقسیم دینامیک ربات به دو بخش فضای کار (حرکت پنجه) و فضای هیئت (حرکت داخلی) و تقدم بخشیدن به حرکت فضای کار نسبت به فضای هیئت مسئله کنترل مسیر حرکت ربات در یک عملیات دو فعالیتی نیز بررسی شده‌است. یکی از استفاده‌های سودمندی که از این توانایی می‌توان کرد اینست که، ربات بدون برخورد به موانع مسیر مطلوب را طی کند.

کلمات کلیدی: *افزونگی درجات آزادی، بازوی مکانیکی با پایه متحرک، بهینه‌سازی، حساب تغییرات، کنترل تطبیقی*

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فهرست مطالب ..... شش

چکیده ۱

فصل اول: مقدمه

۱-۱ پیشگفتار ۲

۱-۲ ربات‌های متحرک ۴

۱-۳ افزونگی در ربات‌ها ۱۲

۱-۴ تاریخچه و تحقیقات انجام شده قبلی ۱۴

۱-۵ تعریف مسئله ۱۸

۱-۶ روند پایان نامه ۲۰

فصل دوم: مروری بر مبانی تئوری روش‌های حل مسئله بهینه‌سازی با استفاده از حساب تغییرات

۲-۱ مسائل بهینه‌سازی و طبقه‌بندی آنها[۴۲] ۲۲

۲-۱-۱ طبقه‌بندی بر مبنای قیود[۴۲] ۲۳

۲-۱-۲ طبقه‌بندی بر مبنای طبیعت متغیرهای طراحی[۴۲] ۲۳

۲-۱-۳ طبقه‌بندی بر مبنای ساختار فیزیکی مسئله[۴۲] ۲۴

۲-۱-۴ طبقه‌بندی بر مبنای طبیعت معادلات حاکم[۴۲] ۲۵

۲-۲ قضیه اساسی حساب تغییرات و مسئله بهینه‌سازی ۲۵

۲-۳ بهینه‌سازی کلی و معادلات اویلر ۲۶

۲-۴ مینیمم سازی تابعی برای قیود مساوی ۲۸

۲-۴-۱ قیود نقطه‌ای ۲۸

۲-۴-۲ قیود دیفرانسیلی ۳۰

۲-۴-۳ قیود ایزوپریمتریک ۳۰

فصل سوم: استخراج معادلات سینماتیک و دینامیک ربات

۳-۱ پیش زمینه ۳۲

۳-۲ سیستم‌های هولونومیک و غیرهولونومیک ۳۳

۳-۳ دینامیک سیستم‌های نامقید به روش لاگرانژ ۳۳

۳-۴ دینامیک سیستم‌های مقید به روش لاگرانژ ۳۴

۳-۵ تصویر معادلات حرکت به فضای حرکتی عملی ۳۵

۳-۶ معادلات سینماتیک ربات WMM ۳۶
۳-۶-۱ معادلات سینماتیک ربات متحرک چرخ‌دار ۳۶
۳-۶-۲ معادلات سینماتیک ربات بازوی متحرک ۳۸
۳-۶-۳ استخراج معادلات سینماتیک ربات ۳۹
۳-۶-۴ استخراج ماتریس قیود ۴۰
۳-۶-۵ استخراج ماتریس ژاکوبین ۴۱
۳-۷ معادلات دینامیک ۴۲
۳-۷-۱ انرژی جنبشی ۴۳
۳-۷-۲ انرژی پتانسیل ۴۳
۳-۷-۳ توان ورودی به سیستم ۴۳

فصل چهارم: طراحی و کنترل تطبیقی مسیر بهینه ربات WMM در فضای مفاصل برای اندیس‌های کلی

۴-۱ طراحی مسیر بهینه کلی در فضای مفاصل برای ربات‌های با درجات آزادی افزونه[۴۲] ۴۵
۴-۲ طراحی مسیر بهینه کلی ربات WMM برای اندیس‌های سینماتیکی ۴۹
۴-۳ طراحی مسیر بهینه کلی ربات WMM برای اندیس‌های دینامیکی ۵۵
۴-۴ کاهش خطای مدلسازی در طراحی مسیر بهینه و طراحی مسیر تطبیقی ۵۸
۴-۴-۱ مسئله اول: استفاده از کنترل‌کننده غیرتطبیقی خطی‌ساز فیدبک و طراحی مسیر غیرتطبیقی ۶۰
۴-۴-۲ مسئله دوم: استفاده از کنترل‌کننده تطبیقی و طراحی مسیر غیرتطبیقی ۶۴
۴-۴-۳ مسئله سوم: استفاده از کنترل‌کننده تطبیقی و طراحی مسیر تطبیق‌گرا ۶۸

فصل پنجم: طراحی مسیر بهینه ربات WMM در فضای مفاصل برای اندیس‌های محلی

۵-۱ بهینه‌سازی دقیق برای اندیس‌های سینماتیکی و دینامیکی محلی ۷۲
۵-۱-۱ اندیس سینماتیکی $\dot{\mathbf{q}}^T\dot{\mathbf{q}}$ ۷۳
۵-۱-۲ اندیس دینامیکی $\boldsymbol{\tau}^T\mathbf{M}^{-1}\boldsymbol{\tau}$ ۷۴
۵-۱-۳ اندیس دینامیکی $\boldsymbol{\tau}^T\boldsymbol{\tau}$ ۷۵
۵-۲ بهینه‌ساز بلادرنگ تقریبی برای ربات‌های با افزونگی درجات آزادی ۷۷
۵-۲-۱ بهینه‌سازی تقریبی و بلادرنگ برای اندیس سینماتیکی $\dot{\mathbf{q}}^T\dot{\mathbf{q}}$ ۷۷
۵-۲-۲ طراحی بهینه‌ساز و کنترل‌کننده بلادرنگ برای اندیس دینامیکی $\boldsymbol{\tau}^T\boldsymbol{\tau}$ ۸۵
۵-۲-۳ طراحی بهینه‌ساز و کنترل‌کننده بلادرنگ برای اندیس دینامیکی $\boldsymbol{\tau}^T\mathbf{M}^{-1}\boldsymbol{\tau}$ ۹۰
۵-۳ تطبیقی نمودن بهینه‌ساز تقریبی به منظور کاهش خطای مدلسازی ۹۲
۵-۳-۱ مسئله اول: استفاده از کنترل‌کننده خطی‌ساز فیدبک مبتنی بر مدل دارای خطا و طراحی مسیر غیرتطبیقی ۹۳
۵-۳-۲ مسئله دوم: استفاده از کنترل تطبیقی و طراحی مسیر تقریبی و غیرتطبیقی ۹۵

۵-۳-۳ مسئله سوم: استفاده از کنترل تطبیقی و طراحی مسیر تقریبی و تطبیق‌گرا ۹۷
۵-۳-۴ مقایسه نتایج ۹۹

فصل ششم: طراحی و کنترل مسیر چند منظوره به منظور جداسازی وظایف در فضای کار و مفاصل
۶-۱ قانون کنترل فیدبک خطی ساز برای جداسازی فضای کاری از فضای هیئت ۱۰۲
۶-۱-۱ قاعده سازی برای روابط سینماتیک ۱۰۲
۶-۲ قاعده سازی برای انتخاب ماتریس $\mathbf{J}^{\#}$ ۱۰۳
۶-۳ قاعده سازی برای روابط دینامیک ۱۰۳
۶-۴ قاعده سازی برای قانون کنترل غیرممزوج ۱۰۴
۶-۵ قوانین کنترل برای فضای کاری و فضای هیئت ۱۰۵
۶-۵-۱ فضای کاری ۱۰۵
۶-۵-۲ فضای هیئت ۱۰۶
۶-۶ مسائل نمونه ۱۰۹

فصل هفتم: نتیجه‌گیری و پیشنهادات

مراجع ۱۲۰

فصل اول
مقدمه

رباتیک به علم مطالعه، ساخت و استفاده از ربات‌ها اطلاق می‌شود. در مطالعه رباتیک ارتباط میان این زمینه مطالعاتی و خود انسان بسیار قابل لمس است. گسترش روز افزون این علم سبب شده‌است که بشر فعالیت‌های خود را بطور خودکار انجام دهد. به همین منظور بسیاری از دانشمندان در این زمینه فعالیت می‌کنند. حضور علومی چون مهندسی مکانیک، کامپیوتر، کنترل و الکترونیک در این زمینه باعث شده‌است تا این علم جایگاه بالایی در میان سایر علوم قرار بگیرد بطوریکه به شاخه‌ای مستقل و نوپا با عنوان مهندسی رباتیک تبدیل شده‌است. به علت اینکه این علم به مطالعه و بررسی ماشین‌ها و دستگاه‌هایی می‌پردازد که می‌تواند جایگزین انسان در اجرای کارها، چه در فعالیت-های فیزیکی و چه در تصمیم گیری باشد، در بسیاری از فعالیت‌های صنعتی، پزشکی، اقتصادی و رفاهی ربات‌ها حضور فعال دارد.

در این فصل ابتدا به تاریخچه مختصری در مورد رباتیک اشاره و سپس به توضیح ربات‌های متحرک و انواع آن‌ها و همچنین افزونگی در ربات‌ها پرداخته می‌شود. در پایان، مسئله مورد بررسی در این پایان نامه و مباحثی که در فصول بعدی مد نظر قرار گرفته‌اند، به اختصار ارائه می‌گردد.

۱-۱ پیشگفتار

ربات‌ها! ربات‌ها برروی مریخ، در اقیانوس‌ها، بیمارستان‌ها و خانه‌ها، کارخانه‌ها ،مدارس و ایستگاهای آتش نشانی حضور دارند، کالا و محصولات متنوع تولید می‌کنند، در زمان و وقت صرفه جویی می‌کنند... . امروزه ربات‌ها

تاثیر غیر قابل انکاری را در جوانب مختلف زندگی مدرن، از تولیدات صنعتی گرفته تا بهداشت و سلامت، حمل و نقل، جستجو در اعماق دریا و فضا، دارند. در آینده، ربات‌ها همانند کامپیوترهای شخصی امروزی، فراگیر و شخصی خواهند شد. در طول قرن‌ها انسان همواره در جستجوی وسایلی بود تا بتواند رفتار او را در شرایط مختلفی که با محیط اطراف به تقابل می‌پردازد، تقلید کند. این رویا در دنیای امروزه ما دیگر تبدیل به واقعیت شده‌است.

از همان تمدن‌های اولیه، یکی از رویاهای بشر، ساخت وسایلی بود که در ذهن خود می‌پنداشت. افسانه تیتان پرومیتوس[۱]، خدایی که انسان را از خاک رس آفرید، یا مجسمه تالوس[۲] که بوسیله هیفستس[۳] (۳۵۰۰ ق.م.) آهنگری شده‌است، گواهی بر این امر است. شاید دانشمندان مصری (۲۵۰۰ ق.م.) پیشرو در تفکر ماشینی بوده‌اند. ساعت آبی که بوسیله بیبی لونیاس[۴] (۱۴۰۰ ق.م.) معرفی شد یکی از ابزارهای مکانیکی خودکار بوده‌است. در قرن‌های بعد، خلاقیت‌های انسان سبب شد تا تئاتر آدمک‌های مکانیکی به نام "قهرمان الکساندرا"[۵] (۱۰۰ ب.م.)، ماشین‌های انسان نما ، فواره‌های آبی ال جزری[۶] (۱۲۰۰ ب.م.) و طراحی‌های بیشمار و خلاقانه لئوناردو داوینچی (۱۵۰۰ ب.م.) نمونه-هایی از پیشرفت او در این زمینه باشد. توسعه ماشینهای خودکار در قرن هجده در قاره آسیا و اروپا با خلقت ماشین انسان نمای "Jacquet-Droz" و عروسک مکانیکی "Karakuri-Ningyo" شکوفا شد.

بوجود آمدن کلمه "ربات" خود نیز دارای تاریخچه‌ای قدیمی است. با این وجود، استفاده فیزیکی از کلمه "ربات" تا ظهور و ورود تکنولوژی در قرن بیستم پوشیده ماند. در سال ۱۹۲۰ برای اولین بار از عبارت ربات – از کلمه ”ROBOTA“ که در زبان اسلاو به معنی "کارگر اجباری" است مشتق شده‌است- در نمایشنامه آقای کارل چاپک به نام ”Russom’s Universal Robots (R.U.R.)“ استفاده شد. در سال ۱۹۴۰، قوانین اخلاقی و خیالی میان انسان و ربات بوسیله سه قانون مشهور نویسنده داستان‌های تخیلی، ایزاک آسیموف، در کتاب رمان ”Runaround“ خلق شد.

در اواسط قرن بیستم اولین تحقیقات برای ارتباط میان هوش انسان و ماشین صورت گرفت که باعث بوجود آمدن زمینه‌ای با عنوان هوش مصنوعی[۷] شد. در همان دوران، اولین ربات‌ها ساخته شدند. در این ربات‌ها از تکنولوژی و علم مکانیک، کنترل، کامپیوتر و الکترونیک استفاده شده‌بود. با پیشرفت روز افزون تحقیقات و روش-های حل، علمی جدید به نام رباتیک به دنیا آمد. در دهه ۱۹۶۰ اولین ربات‌ها ساخته شدند. این ربات‌ها در صنعت-هایی نظیر ماشین‌های کنترل عددی در تولیدات دقیق و جابجایی مواد رادیواکتیو مورد استفاده قرار می‌گرفتند. این

---

[1] Titan Prometheus
[2] Talus
[3] Hephaestus
[4] Babylonians
[5] Hero of Alexandria
[6] Al-Jazari
[7] Artificial Intelligence (AI)

بازوها همانند بازوهای انسان و با نصب کنترل‌کننده و قابلیت درک محیط طراحی شده بودند. در اواسط و اواخر قرن بیستم با توسعه مدارهای یکپارچه، کامپیوترهای دیجیتالی و کوچک شدن اجزای آن‌ها، امکان ساخت ربات‌هایی با قابلیت برنامه‌ریزی و کنترل توسط کامپیوترها مهیا شد. این ربات‌ها که به ربات‌های صنعتی معروفند به یکی از پایه-های اساسی در اتوماسیون سیستم‌های صنعتی در دهه ۱۹۷۰ تبدیل شدند. به علت افزایش تولیدات صنعتی، این ربات-ها در صنایع مختلف از جمله صنایع آهن، صنایع شیمیایی، الکترونیک و صنایع غذایی مورد استفاده قرار می‌گرفتند. همچنین ربات‌ها کاربردهای دیگری در خارج از کارخانه همانند تمیز کردن، یافتن و نجات دادن مجروحین، تحقیقات در زیر آب، در فضا و علم پزشکی پیدا کردند.

در دهه ۱۹۸۰ ربات‌ها به عنوان *دانش و مطالعه ارتباط هوشمند میان درک و عمل* معرفی شدند. با توجه به این تعریف، حرکت[1] سیستم ربات، یا به صورت حرکت سیستم در محیط اطراف (بوسیله چرخ‌ها یا پا) یا بصورت بازوهایی جهت انتقال اشیا (بازوها، پنجه، دست‌های مصنوعی) پیاده‌سازی می‌شوند. این اعمال توسط سنسورهایی که برروی ربات نصب شده‌اند انجام می‌گیرد. بطوریکه اطلاعات حالت ربات، سرعت و موقعیت، محیط اطراف توسط این سنسورها جمع آوری می‌شوند که این شرایط بسته به نوع ربات و محیط فرق خواهد داشت.

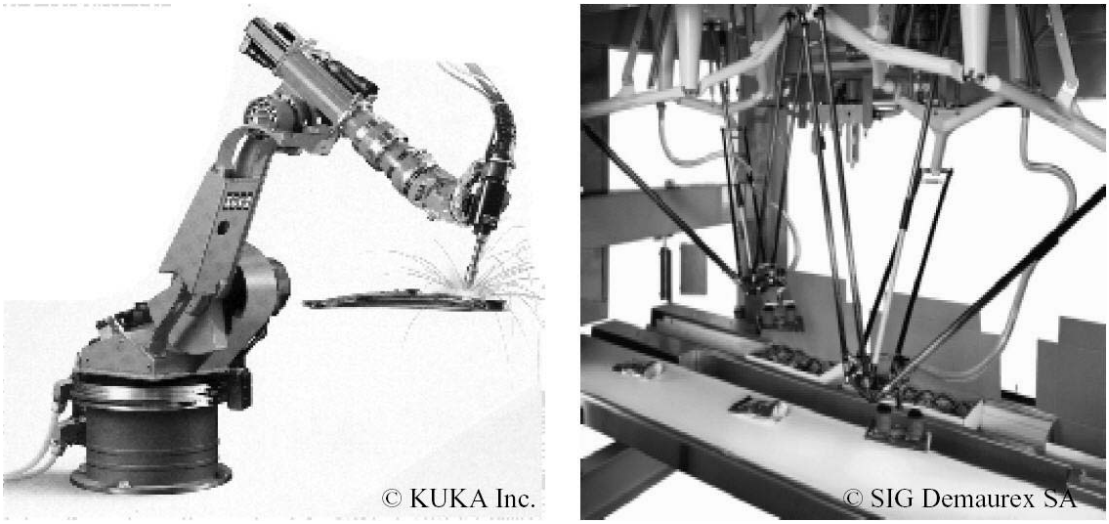
در دهه ۱۹۹۰ تحقیقات پیشرفته‌تری برروی جایگزین کردن ربات با انسان برای کار در مکان‌های خطرناک و برای کاهش خستگی انسان در امور طاقت فرسا و بهبود کیفیت زندگی صورت گرفت. ربات‌ها بسته به نوع محیطی که در آن قرار می‌گرفتند دارای قدرت تحرک پذیری و درجات آزادی گوناگون بودند. با پا گذاشتن در هزاره جدید، رباتیک وارد عرصه جدیدی از علم شد. نسل‌های جدید از ربات‌ها به صورت مستقل و ایمن با انسان در محیط خانه، محل کار، سرویس دهی، سرگرمی، آموزش، مراکز بهداشتی، صنعت شروع به کار کردند.

۱-۲ ربات‌های متحرک

امروزه علم رباتیک به یکی از پرکاربردترین علوم در دنیای تولیدات صنعتی تبدیل شده‌است. بازوهای رباتی یا بازوهای مکانیکی[2] یکی از مثال‌هایی است که در صنعت به وفور یافت می‌شود. این ربات‌ها به علت شکل بازویی خود و داشتن سرعت و دقت بالا، نقش مهمی در قسمت مونتاژ کارخانه دارند. به عنوان مثال از این ربات‌ها در کارهای جوش نقطه‌ای و نقاشی استفاده می‌شود (شکل ۱-۱). در صنعت الکترونیک نیز اینگونه ربات‌ها با داشتن دقتی چند برابر یک انسان توانایی ساخت تلفن‌ها و قطعات یک لپ تاپ و یا هر گونه وسیله الکترونیکی را دارند. تاریخ اتوماسیون صنعتی با دوره‌هایی مشخص می‌شود که در آن‌ها تغییرات سریع و ناگهانی در روش‌های معمول

[1] Locomotion
[2] Manipulator

صورت گرفته است. استفاده از ربات‌های صنعتی، که در دهه‌ی ۱۹۶۰میلادی به عنوان دستگاهی منحصر به فرد شناخته شد، به همراه سیستم‌های طراحی به کمک کامپیوتر (CAD) و سیستم‌های تولید به کمک کامپیوتر (CAM)، مشخصه‌ی آخرین روندهای اتوماسیون فرایند تولید است [۱].



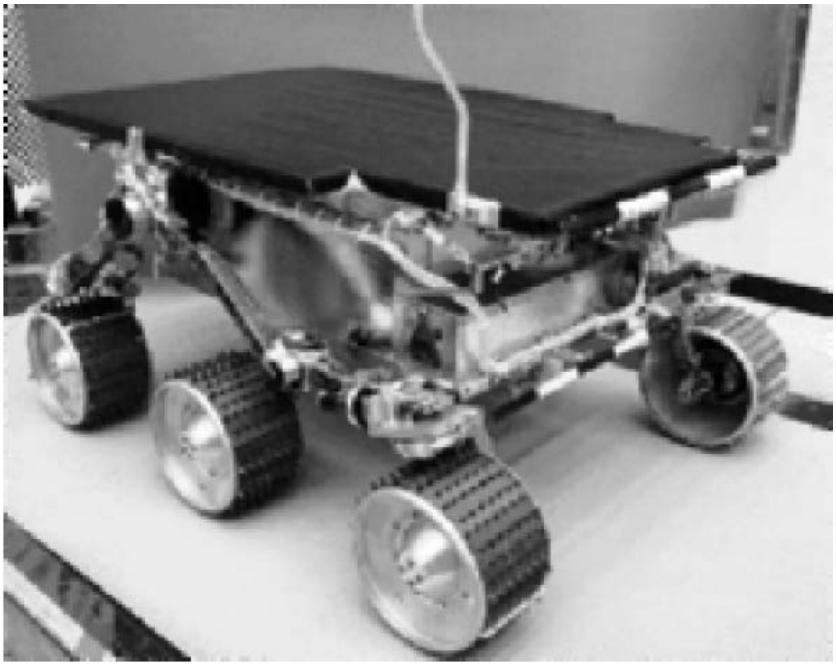
شکل ۱-۱. بازوی مکانیکی KUKA در حال جوشکاری نقطه‌ای و ربات موازی SIG Demaurex SA در حال بسته‌بندی بسته‌های شکلات [۱].

البته با وجود این همه موفقیت، اینگونه ربات‌های صنعتی از یک ضعف اساسی رنج می‌برند، کمبود تحرک و نداشتن فضای کاری گسترده. یک بازوی مکانیکی دارای محدوده‌ی کمی از حرکت است یا به عبارتی دیگر دارای فضای کاری کم است. برخلاف آن یک ربات متحرک قابلیت حرکت در کل مساحت کارخانه را دارد و می‌توان از اینگونه ربات‌ها در هر جای کارخانه استفاده کرد.

اینگونه ربات‌ها معمولا برای مکان‌های خطرناک یا غیر قابل دسترس استفاده می‌شوند. به عنوان مثال رباتی که در شکل ۱-۲ مشاهده می‌کنید برای کاوش در محیط نامساعد مریخ توسط ناسا ساخته شده است. این ربات تماما از طریق زمین کنترل و مسیریابی می‌شود، هر چند سنسورهایی برای جلوگیری از برخورد با موانع برروی آن تعبیه شده‌است. کاربرد اینگونه ربات‌ها تنها در سیاره‌های غیرزمینی نیست بلکه در محیط‌های خطرناک و مکان‌هایی که حضور انسان در آن می‌تواند خطرناک باشد نیز کاربردهای فراوانی دارد. این مثال‌ها در شکل‌های شکل ۱-۳ تا شکل ۱-۶ نشان داده شده‌اند. در این شرایط به علت پیچیده بودن ربات، کنترل مستقیم ربات توسط انسان تا حدودی دشوار می‌باشد. بنابراین ربات باید قادر باشد تا با استفاده از قوانین کنترلی ماموریت‌های خواسته شده را انجام دهد. مثلا ربات نشان داده شده در شکل ۱-۳، هنگامیکه اپراتور یک مسیر کلی را برای حرکت مشخص می‌کند، ربات باید بتواند مختصات پاها را به طور اتوماتیک محاسبه کند. مثال دیگری که در اینجا می‌توان اشاره کرد شکل ۱-۶ است.

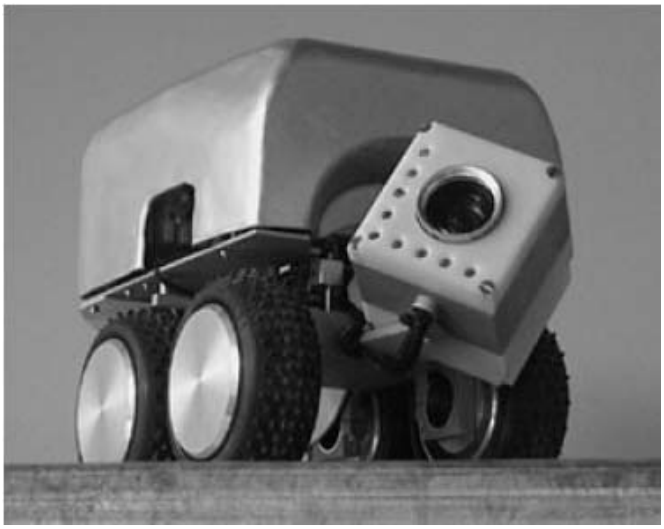
در این ربات از ۶ موتور استفاده شده تا ربات توانایی پایداری در برابر شرایط نامساعد جوی و اغتشاشات را داشته باشد و اپراتور تنها می‌تواند موقعیت هدف را برای ربات تعیین کند.

همچنین از این دسته می‌توان به ربات‌های تجاری دیگری اشاره کرد که هدف آنها حضور در مکان‌های غیر آمدوشد برای انسان نیست، بلکه تقسیم فضای کاری انسان‌ها با اینگونه ربات‌هاست. به عنوان مثال یکی از این ربات‌ها در شکل ۱-۷ نشان داده شده است. این ربات‌ها نه تنها به دلیل تحرک پذیری بلکه به دلیل خودکار بودن برای انجام این کار گماشته شده است. بنابراین قابلیت و برتری این ربات، انتخاب مسیر و موقعیت مناسب و هدایت آن بدون دخالت انسان می‌باشد.



شکل ۱-۲. ربات مریخ پیما، ساخته شده توسط ناسا در سال ۱۹۹۷ [۱].

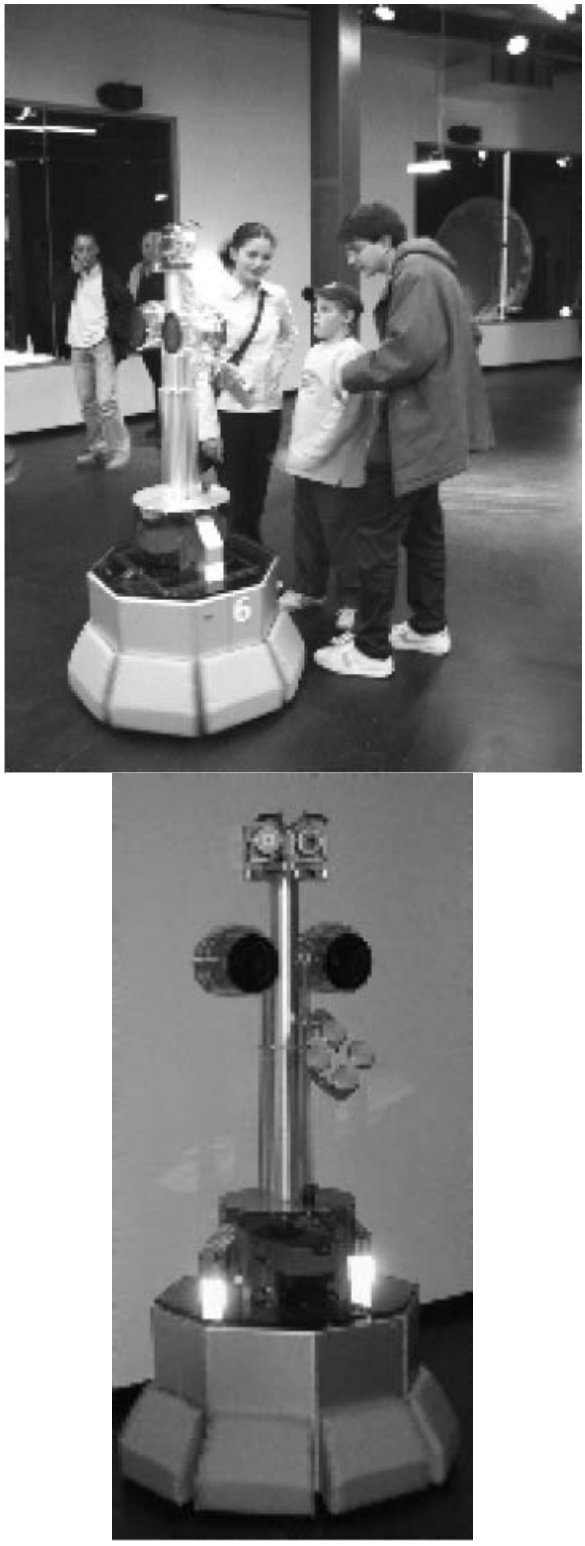
شکل ۱-۳. یک ربات راه‌رونده برای جمع‌آوری الوار در جنگل [۱].



شکل ۱-۴. ربات بازرسی کانال‌های هوا که با دوربین چرخشی خود قابلیت تعقیب دیوار و کنترل اتوماتیک شیب را دارد [۱].

شکل ۱-۵. ربات Pioneer که به منظور اکتشاف و تفحص در چرنوبیل طراحی شده‌است [۱].

شکل ۱-۶. ربات MBARI ALTEX AUV در حال فرستاده شدن به زیر آب‌های قطب شمال برای انجام تحقیقات علمی [۱].



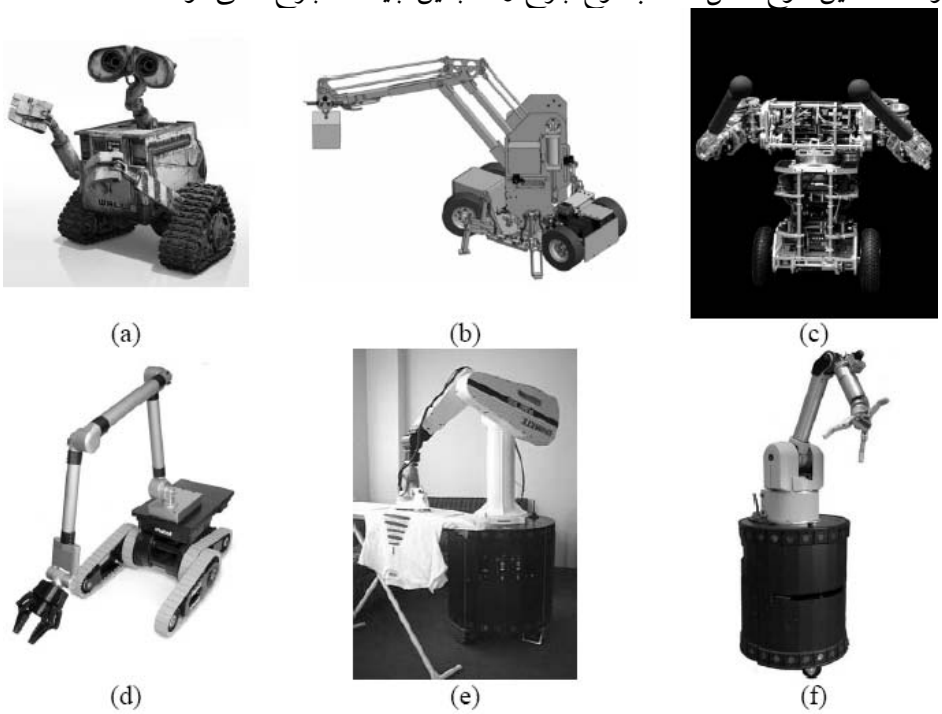
شکل ۱-۷. ربات‌های راهنمای مسیر که در نمایشگاه‌ها قابلیت راهنمایی و هدایت بازدیدکنندگان را دارد [۱].

ربات‌های متحرک را می‌توان به دو گروه ربات‌های چرخ‌دار و پادار[1] تقسیم کرد. اگرچه تاکنون حرکت ربات‌های پادار بررسی شده‌است و پیشرفت‌های بسیاری در این زمینه بوده‌است اما قابلیت‌ها و انعطاف پذیری ربات-

[1] Legged robots

های چرخ‌دار نسبت به این ربات‌ها بیشتر است. ربات‌های متحرک چرخ‌دار[1] (WMR) دارای کارایی بیشتری نسبت به ربات‌های پادار در سطوح صاف و سفت هستند و اینگونه ربات‌ها جز ربات‌هایی هستند که به طور گسترده در صنعت کاربرد دارند به این علت که سطح کارخانه‌ها سطح صاف و سفتی هستند. ربات‌های WMR دارای اجزای ساده و کمی هستند بنابراین ساده‌تر از ربات‌های پادار ساخته می‌شوند. همچنین کنترل چرخ نسبت به پاهای چند مفصله راحت تر بوده و یکی دیگر از مزایای ربات WMR است.

دسته‌ای دیگر از ربات‌های WMR بازوهای مکانیکی با پایه متحرک چرخ‌دار[2]،WMM ، هستند. گونه‌ای از این ربات‌ها در شکل ۱-۸ نشان داده شده‌اند. بعضی از این ربات‌هایی که در این شکل نمایش داده شده‌اند یا در مرحله طراحی هستند یا اینکه به طور عملی ساخته شده‌اند و در پروژه‌های مختلف مورد آزمایش قرار گرفته‌اند. این ربات‌ها که اساس آن‌ها بر پایه‌ی ربات‌های WMR و بازوهای مکانیکی، Manipulators ، هستند تنوع زیادی دارند. به عنوان مثال این تنوع شامل انتخاب نوع چرخ و همچنین چیدمان چرخ‌ها می‌شود.



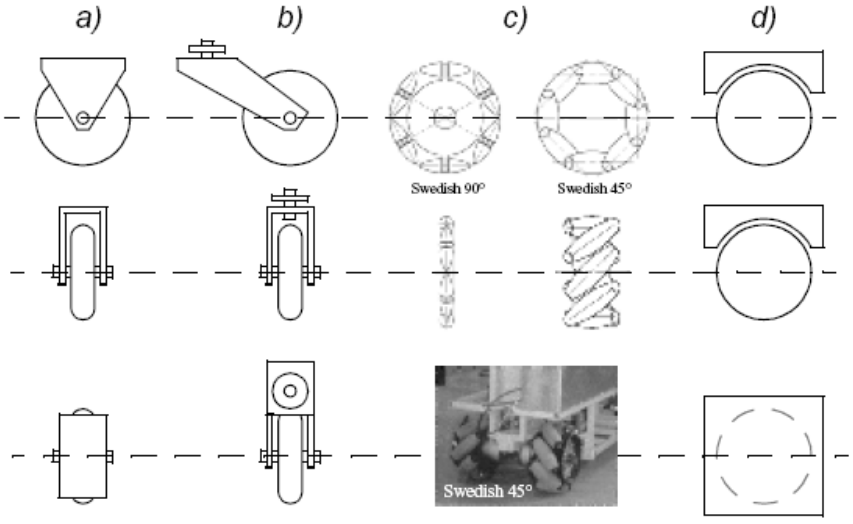
شکل ۱-۸. چند نمونه از انواع بازوی مکانیکی با پایه چرخ دار متحرکWMM .(a) WALL-E: ربات نظافتچی در انیمیشن پیکسار [۲]. (b) NIOSH: رباتی که برای کار در معدن ساخته شده‌است [۳]. (c) ربات خود متعادل‌ساز که در لابراتوار دانشگاه ام.ای.تی ساخته شده-است. (d) iRobot: ربات با ظرفیت باربری بالا [۴]. (e) ربات دانشگاه استنفورد که از بازوی پیوما ۵۶۰ و پایه‌ی هولونومیک متحرک تشکیل شده‌است. (f) UMAN [۵].

[1] Wheeled Mobile Robot (WMR)
[2] Wheeled Mobile Manipulator (WMM)

چرخ‌ها در ربات‌های متحرک چرخ‌دار به چهار دسته‌ی کلی، نشان داده شده در شکل ۱-۹، تقسیم می‌شوند. تفاوت چرخ‌ها در سینماتیک آن‌ها می‌باشد، بنابراین انتخاب نوع چرخ تاثیر زیادی برروی سینماتیک ربات متحرک خواهد گذاشت.

چرخ‌های استاندارد[1] و چرخ‌های کاستر[2] یک محور اولیه دوران دارند. برای حرکت در جهات مختلف، بایستی چرخ در راستای یک محور عمودی هدایت شود. تفاوت عمده‌ی بین این دو چرخ در این است که چرخ استاندارد می‌تواند این حرکت هدایتی را بدون اثرات جانبی انجام داده و مرکز دوران آن از نقطه تماس با زمین عبور کند، در صورتی که چرخ کاستر حول یک محور افست، محوری فاصله‌دار از مرکز چرخ، که باعث اعمال نیرویی به شاسی ربات در خلال حرکت می‌شود، دوران می‌کند.

چرخ‌های سوئدی مشابه چرخ استاندارد عمل می‌کنند، ولی مقاومت کمی را در جهات دیگر حرکت، از خود نشان می‌دهند. مثلا در چرخ سوئدی ۹۰ درجه، در جهت عمود بر راستای مرسوم، مقاومت کمی در برابر حرکت وجود دارد. غلتک‌های کوچک متصل به اطراف محیط چرخ، منفعل[3] و محور چرخ تنها مفصل تولید توان است. مزیت عمده این طراحی در این است که اگرچه دوران چرخ تنها در راستای یک محور اصلی انجام می‌گیرد، با این وجود چرخ مذکور توانایی حرکت سینماتیکی با اصطکاک بسیار کم، در طول بسیاری از مسیرهای ممکن را دارا می‌باشد.



شکل ۱-۹. چهار دسته کلی چرخ‌ها (a) چرخ‌های استاندارد: دو درجه آزادی، دوران حول محور چرخ و نقطه تماس. (b) چرخ کاستر: دو درجه آزادی، دوران حول یک مفصل افست. (c) چرخ سوئدی، سه درجه آزادی، دوران حول محور چرخ، حول غلتک‌ها و حول نقطه تماس. (d) چرخ کروی یا توپی.

[1] Standard wheel
[2] Castor wheel
[3] Passive