بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه صنعتی «نوشیروانی» بابل

دانشکده مهندسی مکانیک

پایان‌نامه دوره کارشناسی ارشد رشته مهندسی مکانیک گرایش طراحی کاربردی

موضوع:

تأثیر مفاصل فعال و غیر فعال در مسأله حرکت حداقل زمان ربات‌های همکار با افزونگی عملگر

استاد راهنما:

دکتر محمد حسن قاسمی

دکتر حمیدرضا محمدی دانیالی

استاد مشاور:

دکترمرتضی دردل

نگارش:

ابوذر کریم‌پور بصرا

دی ۱۳۹۲

من علمنی حرفا، فقد صیرنی عبدا

پس از حمد و سپاس یگانه خالق هستی، بر خود لازم می دانم از زحمات تمامی اساتید و معلمینی که در طی دوران تحصیل در حضورشان درس زندگی، عشق به وطن و امید به فردا آموختم، تقدیر و تشکر نمایم. به ویژه اساتید بزرگوار دکتر محمد حسن قاسمی، دکتر حمیدرضا محمدی دانیالی و دکتر مرتضی دردل که در انجام این رساله از راهنمایی های ارزشمندشان بهره مند بوده ام.

تقدیم به

دختر عزیزم که شادی بخش زندگی و امید من به تلاش برای ساختن آینده می باشد

همسر مهربانم که بهترین مشوق من در طی مراحل تحصیل بوده اند

پدر و مادر بزرگوارم که همواره قدردان زحمات و محبت های آنان بوده و محتاج دعای خیر آن ها می باشم.

چکیده:

در این تحقیق به تأثیر مسیر حرکتی و حضور مفاصل فعال و غیر فعال در مسأله حداقل زمان حرکتی ربات همکار پرداخته می‌شود. بدین منظور ابتدا به بیان منطق حاکم بر الگوریتم‌های حداقل زمان پرداخته شده و نحوه بدست آوردن معادلات دینامیکی ربات و فرمول بندی این الگوریتم‌ها تشریح خواهد شد. نتایج عددی حل مسأله حداقل زمان برای یک ربات همکار ارائه خواهد شد. در ادامه به تأثیر مسیر بر روی سرعت حرکت، میزان مشارکت عملگرها و قابلیت ربات در حرکت با حداقل زمان پرداخته خواهد شد. در انتخاب مسیرها سعی گردیده است تا تنوع آن‌ها حفظ شود و حرکت ربات در مسیرهای متفاوت بررسی شود. دانستن این نکته که مسیر چه تأثیری می‌تواند در تحریک عملگرها و میزان فعالیت آن‌ها داشته باشد، نکته‌ای است که می‌تواند برای طراحان ربات‌ها مهم باشد. در پایان به بررسی تأثیر حضور عملگرهای غیر فعال در قابلیت ربات در حرکت در حداقل زمان پرداخته می‌شود. اینکه غیر فعال گشتن هر کدام از عملگرها به چه میزان موجب کاهش قابلیت‌های ربات می‌گردند، دلیل اصلی پرداختن به این موضوع می‌باشد. فرض می‌شود که ربات مورد تحقیق دارای سه عملگر غیرفعال می‌باشد. سعی می‌شود تا با استفاده از حداکثر قابلیت‌های عملگر فعال باقیمانده بتوان زمان حرکتی ربات را حداقل نمود.

ربات مورد تحقیق در این پایان نامه، دو ربات همکار می‌باشد، که هرکدام از بازوها داری سه میله هستند. همچنین ربات دارای شش عملگر می‌باشد ربات مورد تحقیق یک مکانیزم صفحه‌ای سه درجه آزادی با سه درجه افزونگی عملگر می‌باشد.

واژه‌های کلیدی:

ربات همکار، عملگرهای غیر فعال، زمان بهینه، شتاب حرکتی، صفحه فازی

فهرست مطالب

فصل اول ۱

۱- ربات‌ها ۱

۱-۱- مقدمه ۱

۱-۲- ربات‌های همکار ۴

۱-۳- افزونگی در ربات‌ها ۶

۱-۳-۱- افزونگی درجه آزادی ۶

۱-۳-۲- افزونگی عملگر: ۸

۱-۴- الگوریتم‌های زمان بهینه در ربات‌ها ۸

۱-۵- پژوهش‌های انجام‌شده در حوزه زمان بهینه ربات‌ها ۱۰

۱-۶- مروری بر مطالب ارائه شده در این تحقیق ۱۴

فصل دوم ۱۵

۲- الگوریتم زمان کمینه با تکیه بر قیود گشتاور ۱۵

۲-۱- مقدمه ۱۵

۲-۲- دینامیک سیستم‌های رباتیک ۱۶

۲-۳- دینامیک سیستم ربات‌های همکار ۱۸

۲-۴- روش حل الگوریتم زمان کمینه ۲۰

۲-۵- صفحه فازی: ۲۵

۲-۶- ناحیه مجاز ۲۷

۲-۷- نقطه تغییر وضعیت ۲۸

فصل سوم ۳۰
۳- تحلیل عددی ۳۰
۳-۱- مقدمه ۳۰
۳-۲- حل مسأله زمان کمینه برای یک ربات دو میله‌ای ۳۰
۳-۲-۱- معادلات دینامیکی برای ربات سری دو میله‌ای ۳۰
۳-۲-۲- نتایج عددی برای ربات دومیله‌ای ۳۶
۳-۳- حل مسأله زمان کمینه برای دو ربات همکار سه میله‌ای ۳۹
۳-۳-۱- معادلات دینامیکی دو ربات همکار ۳۹
۳-۳-۲- نتایج عددی مسأله حداقل زمان دو ربات همکار ۴۴
۳-۴- تأثیر مسیر در میزان مشارکت عملگرها ۴۹

فصل چهارم ۶۱
۴- حداقل نمودن زمان حرکتی یک ربات در یک مسیر مشخص با عملگرهای غیر فعال ۶۱
۴-۱- مقدمه ۶۱
۴-۲- فرمول بندی مسأله حداقل زمان برای ربات همکار دارای عملگر غیرفعال ۶۱
۴-۳- نتایج عددی **۶۳**

فصل پنجم ۷۲
۵- نتیجه‌گیری و پیشنهاد ۷۲

مراجع ۷۵

فهرست اشکال

شکل ۱-۱: یک ربات همکار ۵

شکل ۱-۲: یک ربات دو میله‌ای ۷

شکل ۲-۱: نمودار فازی مربوط به یک ربات مشخص ۲۴

شکل ۲-۲: یک نمودار فازی با چند نقطه تغییر وضعیت ۲۵

شکل ۲-۳: جهت حرکت ربات با توجه به سرعت ۲۶

شکل ۲-۴: ناحیه مجاز حرکتی در صفحه برای یک ربات ۲۸

شکل ۲-۵: نقطه تغییر وضعیت در نمودار صفحه فازی ۲۹

شکل ۳-۱: یک ربات دو میله‌ای ۳۱

شکل ۳-۲: پیکربندی های ممکن برای یک ربات دو میله‌ای ۳۳

شکل ۳-۳: مسیر حرکتی ربات ۳۷

شکل ۳-۴: نمودار ناحیه مجاز و منحنی فازی حرکت ۳۸

شکل ۳-۵ : نمودار گشتاور اعمالی از سوی عملگرها ۳۸

شکل ۳-۶: ربات همکار دو بازویی ۳۹

شکل ۳-۷: سینماتیک معکوس بازوی سمت چپ ۴۳

شکل ۳-۸: مسیر حرکتی ربات ۴۶

شکل ۳-۹: ناحیه مجاز حرکتی ربات ۴۷

شکل ۳-۱۰: نمودار صفحه فازی ربات ۴۸

شکل ۳-۱۱: نمودار گشتاورهای اعمالی از جانب عملگرها ۴۹

شکل ۳-۱۲: مسیر دوم ۵۱
شکل ۳-۱۳: گشتاور اعمالی عملگرها در مسیر دوم ۵۱
شکل ۳-۱۵: گشتاور اعمالی عملگرها در مسیر سوم ۵۳
شکل ۳-۱۶: مسیر چهارم ۵۴
شکل ۳-۱۷: گشتاور اعمالی عملگرها در مسیر چهارم ۵۴
شکل ۳-۱۸: مسیر پنجم حرکتی ربات ۵۶
شکل ۳-۱۹: گشتاور عملگرها در مسیر پنجم ۵۶
شکل ۴-۱: ربات همکار دارای عملگر غیر فعال ۶۴
شکل ۴-۳: نمودار صفحه فازی و مرز ناحیه مجاز ۶۶
شکل ۴-۴: گشتاور اعمالی از جانب عملگرها ۶۶
شکل ۴-۵: نمودار فازی و منحنی ناحیه مجاز برای حالت ۱۴۵ ۶۷
شکل ۴-۶: گشتاور اعمالی از جانب عملگرها در حالت ۱۴۵ ۶۸
شکل ۴-۷: نمودار صفحه فازی برای حالت ۲۴۵ ۶۹
شکل ۴-۸: گشتاور وارده از سوی عملگرها در حالت ۲۴۵ ۶۹

فهرست جداول

جدول ۳-۱ :مشخصات ربات دو میله‌ای ۳۷

جدول ۳-۲: مشخصات عملگرهای ربات دو میله‌ای ۳۷

جدول ۳-۳: مشخصات بازوهای دو ربات همکار ۴۵

جدول ۳-۴: مشخصات عملگرهای بازوها ۴۵

جدول ۳-۵: میزان مشارکت هرکدام از عملگرها در مسیرهای مختلف ۵۷

فصل اول

۱– ربات‌ها

۱–۱– مقدمه

با پیشرفت صنعت و اتوماسیون که همزمان با افزایش بی‌سابقه جمعیت جهانی به ویژه در کشورهای در حال توسعه بود، نیاز به افزایش سرعت و دقت تولید هر روز بیش از پیش احساس می‌شد. طبیعی بود که استفاده از روش‌های سنتی تولید و نیروی کار نمی‌تواست پاسخگوی نیاز بشر باشد، به ویژه آن‌که استفاده از نیروی انسانی هزینه‌هایی نظیر دستمزد، حوادث ناشی از کار، پایین بودن سرعت و دقت تولید را به همراه داشت که در صورت افزایش میزان تولید، هزینه‌های یاد شده نیز رشد چشمگیری می‌یافت که در آن‌صورت هیچ‌گونه توجیه اقتصادی را به همراه نمی‌داشت. از این رو محققین و پژوهشگران در جستجوی روشی برای تولید بودند که ضمن افزایش سرعت تولید و داشتن دقت قابل قبول، هزینه‌های تولید و حوادث احتمالی را به حداقل برساند. به تدریج بشر دریافت که در صورت جایگزین نمودن نیروی انسانی با ابزاری که قابلیت برنامه‌نویسی و کنترل را داشته باشد، به هدف مطلوب خود نزدیک گردیده است، که همان استفاده از ربات بوده است.

ربات یک ماشین هوشمند است که قادر است در شرایط خاصی که در آن قرار می‌گیرد، کار تعریف شده‌ای را انجام دهد و همچنین قابلیت تصمیم گیری در شرایط مختلف را نیز ممکن است داشته باشد. ربات‌ها در واقع ابزاری هستند که قابلیت انجام کارهای سری و تکراری را با دقت، سرعت و تکرارپذیری بالا به همراه دارند. باید اذعان نمود که اختراع ربات سبب تحول بزرگی در صنعت گردیده است. ربات‌ها به آسانی قادر به انجام کارهایی هستند که انجام آن برای بشر طاقت‌فرسا و یا حتی غیر ممکن می‌باشد. امروزه استفاده از ربات‌ها چنان توسعه یافته که حتی جهت انجام امور خدماتی و امدادرسانی نیز از آن ها سود می‌برند.

کلمه ربات بعد از به صحنه درآمدن یک نمایش در سال۱۹۲۰ میلادی در فرانسه متداول و مشهور گردید. در این نمایش که اثر کارل کاپک[۱] نویسنده نمایشنامه روبات‌های جهانی روسیه[۲] بود، موجودات مصنوعی شبیه انسان به نمایش درآمد که قادر بودند کارهای بسیاری شبیه به انسان انجام دهند. این موجودات مصنوعی شبیه انسان در آن نمایش، ربات نام داشتند. ریشه کلمه ربات از یک کلمه در ادبیات چکسلواکی به معنی کارگر[۳] می‌باشد. البته پیش از کارل کاپک، یونانیان مجسمه متحرکی ساخته بودند که نمونه اولیه چیزی بوده که امروزه ربات نامیده می‌شود. امروزه معمولاً کلمه ربات به معنی هر ماشین ساخت بشر عنوان می‌شود که بتواند کار یا عملی که به طور طبیعی توسط انسان انجام می‌شود را انجام دهد. موسسه ربات‌های صنعتی آمریکا[۴]، ربات را این گونه تعریف می‌کند:

"یک ربات، یک جابجا کننده چند وظیفه‌ای برنامه‌پذیر است که برای حرکت دادن مواد، قطعات، ابزارها یا وسایل خاص، با استفاده از حرکات برنامه‌ریزی شده قابل تغییر برای تحقق فرامین مختلف، طراحی شده است."

---

[1] Karel Capek
2 Russian Universal Robot(R.U.R)
3 Robotnic
4 Robotic Industrial Association(RAI)

در حال حاضر ربات‌هایی را که در شاخه‌های مختلف صنایع مورد استفاده می‌باشند، می‌توان به عنوان "ماشین‌های مدرن، خودکار، قابل هدایت و برنامه‌ریزی" تعریف کرد. این ربات‌ها قادرند در محل‌های متفاوت خطوط تولید، به طور خودکار، وظایف گوناگون تولیدی را تحت یک برنامه از پیش نوشته شده انجام دهند. گاهی ممکن است یک ربات، جای اپراتور در خط تولید را بگیرد و زمانی این امکان هم وجود دارد که یک کار مشکل و یا خطرناک به عهده ربات واگذار شود. همان‌طور که یک ربات می‌تواند به صورت منفرد یا مستقل به کار بپردازد، این احتمال نیز وجود دارد که چند ربات به صورت جمعی و به‌شکل رایانه‌ای در خط تولید به کار گرفته شوند. ربات‌هایی که امروزه مورد استفاده قرار می‌گیرند دارای تنوع فراوانی می‌باشند، از ربات‌های چند میله‌ای معمولی تا ربات‌های انسان‌نما و ربات‌های موازی و حتی بازوهای مکانیکی را نیز می‌توان در طبقه ربات‌ها قرار داد. هرکدام از این ربات‌ها دارای کاربردهای مخصوص به خود می‌باشند. امروزه استفاده از ربات چنان توسعه یافته است که می‌توان ادعا نمود به ندرت می‌توان شاخه‌ایی از صنعت را یافت که رباتیک در آن کاربردی نداشته باشد.

از مطالب بیان شده فوق می‌توان اذعان نمود که استفاده از ربات‌ها مزایای ذیل را به همراه خواهد داشت:

- ربات‌ها در بسیاری از موارد می‌توانند ایمنی، میزان تولید، بهره‌وری و کیفیت محصولات را افزایش داده و در مقابل هزینه‌های تولید را کاهش دهند.
- ربات‌ها می‌توانند در کارهای امدادی و موقعیت‌های خطرناک کار کنند و با این کار جان انسان‌ها را نجات دهند.
- ربات‌ها به محیط اطراف خود توجه ندارند و نیازهای انسانی برای آنها مفهومی ندارد و از این‌رو هیچ‌گاه خسته نمی‌شوند.
- دقت ربات‌ها خیلی بیشتر از انسان‌ها است آن‌ها در حد میلی یا حتی میکرومتر دقت دارند.

- ربات‌ها می‌توانند در یک لحظه چند کار را با هم انجام دهند ولی انسان‌ها در یک لحظه تنها یک کار انجام می‌دهند.

اما در مقابل مزایای ذکرشده برای ربات‌ها طبیعی است که استفاده از آن‌ها معایب و محدودیت‌هایی را نیز به همراه خواهد داشت از جمله این‌که:

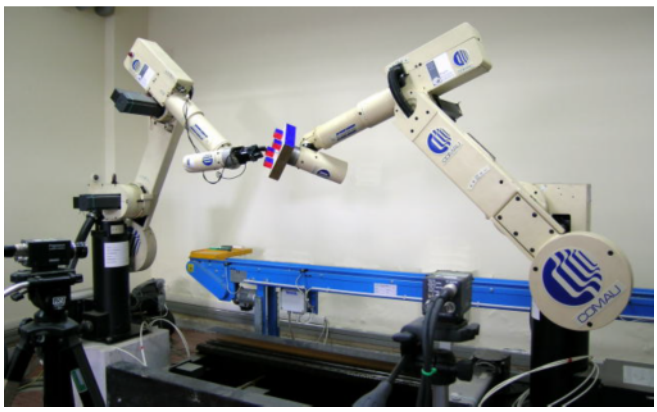
- هزینه‌های اولیه و نصب ربات‌ها بسیار بالا می‌باشد.
- ربات‌ها در موقعیت‌های اضطراری توانایی پاسخگویی مناسب ندارند که این مطلب می تواند بسیار خطرناک باشد.
- قابلیت‌های محدود دارند یعنی فقط کاری را که برای آن ساخته شده‌اند انجام می‌دهند.

۱-۲- ربات‌های همکار

استفاده از ربات‌های سری یا به اصطلاح چند میله‌ای اگرچه تا حدود زیادی انجام بسیاری از امور را سهل و آسان نمود اما زمانی که مسیر حرکت ربات اندکی پیچیده شود و یا باری که باید توسط مچ ربات[1] حمل شود اندکی سنگین باشد این ربات قادر به انجام صحیح وظایف خود نمی‌باشد. علاوه بر این صلبیت مجموعه در ربات‌های سری پایین می‌باشد، که این امر سبب کاهش دقت در موقعیت مسیر حرکتی ربات می‌گردد. این نقص‌ها زمینه را برای ظهور و پیدایش ربات‌های همکار[2] فراهم نمود. همکاری بین ربات‌ها جهت انجام کاری به صورت مشترک، منجر به پیدایش مبحث جدیدی در عرصه علم رباتیک شده است که از آن به عنوان ربات‌های همکار (شکل ۱-۱) نام برده می‌شود. ربات‌های همکار در واقع گونه‌ای از زنجیره‌های بسته سینماتیکی می‌باشند که از چندین بازو که هر کدام یک ربات چند میله‌ای هستند

[1] End-Effector
[2] Cooperative Robot

تشکیل شده است. توانایی این نوع از سیستم‌ها در انجام کارهایی که به لحاظ پیچیدگی، کارایی و یا دقت از عهده یک ربات معمولی خارج می‌باشد، توجه محققان را به خود جلب کرده است. علاوه بر این به کارگیری افزونگی درجات آزادی در بازوهای مکانیکی به دلیل قابلیت‌های مفید آن از قبیل افزایش تسلط، مهارت و دوری جستن از نقاط تکین[1] در فضای کاری مچ ربات نیز مورد توجه محققان قرار دارد. به علاوه این ربات‌ها بسیار سریع‌تر و دقیق‌تر از ربات‌های چند میله‌ای عمل می‌کنند. از این رو استفاده از این ربات‌ها در بسیاری از حوزه‌های صنعتی و تحقیقاتی معمول می‌باشد.



شکل ۱-۱: یک ربات همکار

یکی از دلایل وجود ویژگی‌های فوق افزایش فضای کاری[2] ربات‌های همکار نسبت به ربات‌های سری می‌باشد. استفاده از ربات همکار نسبت وزن بار قابل حمل به وزن کل ربات و نیز صلبیت کل سیستم را به میزان چشمگیری افزایش می‌دهد. دقت و سرعت ربات‌های همکار در حرکت در مسیر از پیش تعیین شده سبب پیشرفت عظیمی در حوزه‌ی کاربرد ربات‌ها گردیده است. به لحاظ این‌که حرکت مچ ربات توسط چندین بازوی مستقل تأمین می‌گردد، وجود قید[3]هایی در حرکت بین هرکدام از بازوها با یکدیگر

[1] Singular Point
[2] Work Space
[3] Constraint

ضروری می‌باشد. این قیود سبب می‌شوند که حرکت بازوها با یکدیگر هماهنگ گردیده و از حرکت آزادانه بازوها نسبت به یکدیگر که سبب اخلال در حرکت مچ ربات می‌گردد جلوگیری به عمل آید. تعداد قیود حاکم بر سیستم به درجات آزادی هرکدام از بازوها و درجه آزادی مچ ربات وابسته می‌باشد که برابر اختلاف بین مجموع درجات آزادی بازوها و درجه آزادی مچ ربات می‌باشد. حل مسائل مربوط به دینامیک مقید معمولاً به صورت تحلیلی قابل حل نبوده و نیاز به استفاده از روش‌های عددی دارند.

ربات‌های همکار یک قابلیت مهم جهت توسعه حوزه کاربرد ربات‌ها محسوب می‌گردد. بازوهای همکار این امکان را بوجود می‌آورند تا چندین ربات مستقل با یکدیگر در جهت انجام وظیفه‌ای مشخص همکاری نموده و در نتیجه کارایی مجموعه افزایش یابد.

۱-۳-افزونگی در ربات‌ها

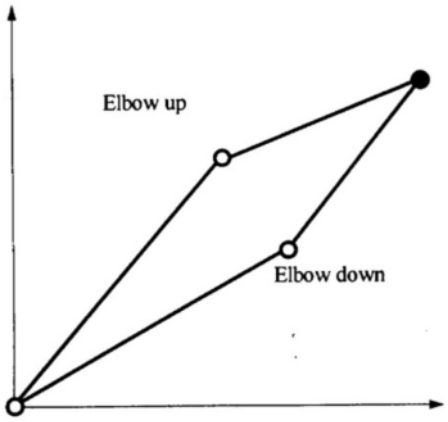
افزونگی[1] در لغت به معنای دارا بودن و یا به همراه داشتن یک ویژگی خاص بیش از اندازه مورد نیاز می‌باشد. در ربات‌ها نیز اگر یک ویژگی بیش از آن‌چه که نیاز می‌باشد وجود داشته باشد به آن افزونگی گویند. یکی از مباحث کلیدی در بررسی دینامیکی و سینماتیکی ربات‌ها پدیده افزونگی در ربات‌ها می‌باشد. افزونگی در ربات می‌تواند بر دو نوع باشد: افزونگی درجه آزادی و افزونگی عملگر.

۱-۳-۱- افزونگی درجه آزادی

افزونگی درجه آزادی یک ربات که از آن به عنوان افزونگی سینماتیکی[2] نیز یاد می‌شود را می‌توان بدین صورت تعریف نمود: "اگر مچ ربات بتواند به یک موقعیت خاص در فضا دست یابد به گونه‌ای که بتوان

[1] Redundancy
[2] Kinematic Redundancy

چندین حالت قرارگیری یا به عبارت دیگر پیکربندی[۱] برای بازوها فرض نمود، آن‌گاه این ربات افزونه[۲] می‌باشد [۱]." این تعریف یک بیان کلی از مفهوم افزونگی می‌باشد، چرا که با این تعریف حتی ساده‌ترین ربات‌ها را نیز به عنوان افزونه محسوب نمود. به عنوان مثال ربات دو میله‌ای صفحه‌ای شکل ۱-۲ را نیز می‌توان یک ربات افزونه نامید، چرا که در این ربات در هر نقطه‌ای که مچ ربات قرار دارد، می‌توان دو پیکربندی بازو بالا[۳] و یا بازو پایین[۴] را فرض نمود، که با تعریف ارائه شده، یک ربات افزونه محسوب می‌گردد. اما بسیاری از محققین از جمله سامسون[۵] تعریف دقیق‌تری جهت افزونگی بیان می‌کنند و آن این است که "اگر برای یک موقعیت خاص از مچ ربات در فضا بتوان چندین پیکربندی محدود در فضای کاری آن فرض نمود آن‌گاه این ربات از نظر سینماتیکی ربات با افزونگی چند حلی[۶] نامیده می‌شود و اگر تعداد پیکربندی‌های مفروض نامحدود باشد آن‌گاه ربات را افزونه واقعی[۷] می‌نامند [۲]".



شکل ۱-۲: یک ربات دو میله‌ای

[1] Configuration
[2] Redundant
[3] Elbow Up
[4] Elbow Down
[5] C.Samson
[6] Multiple Solution
[7] Truly Redundant

درجات آزادی ربات‌های دارای افزونگی سینماتیکی بیش از درجات آزادی مورد نیاز جهت انجام عملیات موردنظر می‌باشد، که این امر نکته بسیار مهمی در عملکرد آن‌ها محسوب می‌شود. این ربات‌ها از نظر طراحی مسیر دارای انعطاف پذیری بهتری نسبت به سایر ربات‌ها بوده، همچنین تسلط بهتری در انجام وظایف از خود نشان می‌دهند و از این‌رو دارای آزادی بیشتری در اجتناب از پیکربندی‌هایی که می‌تواند سبب تکینگی[1] گردد و یا انتخاب مسیرهای بدون مانع می‌باشند. این ویژگی‌های ذاتی موجود در ربات‌های افزونه سبب می‌شود که امکان استفاده از این ربات‌ها در کارهای تکرارپذیر مانند خطوط مونتاژ، بازرسی و یا انتقال در یک مسیر هندسی خاص شامل موانع نیز ممکن گردد.

۱-۳-۲- افزونگی عملگر

افزونگی عملگر در واقع به معنای داشتن عملگرهای فعال بیش از درجات آزادی یک سیستم می‌باشد. به عنوان مثال اگر یک ربات همکار شش میله‌ای صفحه‌ای دارای شش عملگر فعال باشد، آن‌گاه این ربات از نظر عملگر دارای افزونگی می‌باشد. این نوع از افزونگی تنها در مکانیزم‌هایی با زنجیره بسته ایجاد می‌شود. افزونگی عملگر برای انجام صحیح وظیفه ربات بدون هیچ‌گونه خرابی و ایراد بسیار مهم می‌باشد. در مبحث کمینه سازی، داشتن افزونگی عملگر برای ربات یک مزیت به شمار می‌آید.

۱-۴- الگوریتم‌های زمان بهینه در ربات‌ها

در بسیاری از حوزه‌های صنعتی سرعت حرکتی ربات‌های مورد استفاده آهسته بوده و در نتیجه قضاوت در مورد اقتصادی بودن آن‌ها را مورد تردید قرار داده است. پایین بودن سرعت و به دنبال آن میزان کم تولید در ربات‌ها، به علت محدودیت اعمال شده بر روی عملگرهای آن‌ها می‌باشد. افزایش توان عملگرها

[1] Singularity

همواره بهترین راه حل نمی‌باشد، چرا که موجب افزایش هزینه اولیه و همچنین توان مصرفی در خلال عملکرد می‌گردد. بهترین راه حل، استفاده از حداکثر قابلیت عملگرهای نصب شده بر روی ربات‌ها می‌باشد. کاهش زمان کاری و افزایش سرعت کاری ربات‌ها سبب مقرون به صرفه بودن آن‌ها از نظر اقتصادی و جلب بیشتر سرمایه‌گذاران می‌گردد. تاکنون الگوریتم‌های بسیاری در مورد بهینه نمودن زمان حرکتی ربات در یک مسیر مشخص ارائه گردیده است. روابط دینامیکی و سینماتیکی حاکم بر یک ربات معمولاً غیرخطی و یا دیفرانسیلی می‌باشد که حل آن‌ها به روش‌های تحلیلی امکان‌پذیر نمی‌باشد. مسأله کمینه نمودن زمان حرکتی یک ربات، بوسیله روش‌های عددی بهینه‌سازی حل می‌گردد. در این زمینه الگوریتم‌های سنتی بهینه‌سازی مانند الگوریتم سیمپلکس و الگوریتم‌های نوین بهینه‌سازی کاربرد دارند. فلسفه و روش حل الگویتم‌های حداقل زمان بدین شکل می‌باشد که با توجه به قیود حاکم بر مسأله، ربات بتواند با حداکثر سرعت ممکن و قابل دستیابی در مسیر حرکت نماید. در تعدادی از این الگوریتم‌ها، شتاب حرکتی کراندار می‌گردد، بدین معنی که شتاب در کل مسیر از یک محدوده مشخصی نمی‌تواند تجاوز کند. اما در گونه دیگری از الگوریتم‌ها که روشی جدیدتر از نوع قبلی می‌باشند، جهت استفاده بهینه از حداکثر قابلیت عملگرها، با توجه به حداکثر و حداقل گشتاور قابل اعمال از جانب عملگرها، شتاب در هر نقطه به صورت تابعی از گشتاور قابل اعمال از جانب عملگرها محاسبه می‌گردد. تفاوت آن با الگوریتم‌های معرفی شده اولیه در این است که در آن‌ها در کل مسیر یک کران بالا و پایین ثابت برای شتاب تعریف می‌گردید، در صورتی‌که در الگوریتم‌های نوین، در هر نقطه از مسیر، شتاب حرکتی محاسبه می‌گردد. با توجه به این‌که در این الگوریتم هیچ کران ثابتی برای شتاب تعریف نمی‌شود، می‌توان با حرکت با شتاب حداکثری و یا حداقلی در هر نقطه، مسیر را با سرعت بالاتری طی نمود و در نتیجه زمان کمتری برای حرکت ربات ثبت می‌گردد. در این گونه از الگوریتم‌ها، متغیر قابل کنترل شتاب حرکتی مچ ربات در مسیر می‌باشد. کنترل شتاب نیز بوسیله گشتاور اعمالی از سوی عملگرها صورت می‌پذیرد. به

عبارت دیگر میزان گشتاور اعمالی از سوی هر کدام از بازوها به گونه‌ای تنظیم می‌گردد که شتاب دلخواه برای حرکت بدست آید.

۱–۵–پژوهش‌های انجام‌شده در حوزه زمان بهینه ربات‌ها

تلاش‌ها جهت حل مسائل طی مسیر در حداقل زمان برای ربات‌ها به اوائل دهه ۱۹۷۰ میلادی باز می‌گردد. در سال ۱۹۷۰ خان[۳] و در سال ۱۹۷۱ خان و روث[۴] اولین کسانی بودند که مسأله حداقل زمان را برای یک ربات حل نمودند. آن‌ها مسأله حداقل زمان را برای یک ربات سه میله‌ای مورد مطالعه قرار دادند. آن‌ها ضمن ارائه مدل خطی‌سازی شده دینامیک ربات جهت محاسبه مسیر بهینه توانستند ثابت کنند که در این حالت حداقل یک موتور باید در حالت اشباع گشتاوری باشد. الگوریتم پیشنهادی آن‌ها با فرض ثابت ماندن حداکثر گشتاور اعمالی از سوی عملگرها در طول مسیر بود.

در شروع مفهوم کمینه نمودن زمان حرکت ربات، مسیر حرکتی ربات بین دو نقطه مشخص نبود و در ابتدا مسیر بهینه بایستی طراحی می‌گردید. طراحی مسیر بهینه در دو مرحله انجام می‌گرفت: نخست طراحی مسیرهای متفاوت و سپس بهینه نمودن زمان حرکتی در هر یک از این مسیرها و یافتن مسیری با کوتاه‌ترین زمان. تحقیقات زیادی بر روی طراحی مسیر صورت پذیرفت. یکی از موارد مهمی که می‌بایست در طراحی مسیر مورد توجه قرار گیرد، اجتناب از موانع بود. به دلیل عدم وجود روش‌های کنترلی مناسب، غالباً مسیرهایی طراحی می‌گردید که بسیار ساده مانند خط مستقیم و یا مسیرهای دوار با سرعت و یا شتاب ثابت بودند. الگوریتم‌های ارائه شده توسط لاوح و لین[۵] در سال ۱۹۸۱ و پودورسکی و کلگورن [۶] نمونه‌هایی از این روش‌ها می‌باشد.

در دهه ۱۹۸۰ کنترل حرکت ربات در یک مسیر مشخص تعریف بهتری یافت و الگوریتم‌های موثرتری ارائه گردید. . نیو و اسلاندر[۷] در سال ۱۹۸۴ الگوریتمی با استفاده از حداکثر گشتاور قابل کنترل ارائه