**فصل طراحی ربات دلتا**

**مقدمه**

**سورس این بخش:** [ربات دلتا چیست؟ | فروش | قیمت | کاربرد | ساخت (famcocorp.com)](https://www.famcocorp.com/pcat/170916/%D8%B1%D8%A8%D8%A7%D8%AA-%D8%AF%D9%84%D8%AA%D8%A7-delta)

**ربات دلتا چیست؟**

ربات دلتا یک ربات صنعتی موازی است. این ربات از انواع جدید ربات های صنعتی می باشد که جای خود را در صنعت برای انجام کاربری های سریع پیدا کرده است. ربات موازی دلتا در مقایسه با سایر ربات های صنعتی ثابت، طراحی منحصر به فردی دارد. نام دلتا (حرف یونانی Δ) از شکل مثلثی وارونه آن گرفته شده است. ربات های دلتا در بالای منطقه کاری نصب می شوند. به طور معمول، این منطقه کاری یک نوار نقاله است که محصولات را به سمت پایین خط تولید منتقل می کند. ابزار گیره (gripper) ربات به اتصالات مکانیکی بلند و باریک متصل است. این اتصالات به سه یا چهار موتور بزرگ در پایه ربات منتهی می شوند. گاهی اوقات موتورهای اضافی وجود دارند که درجات آزادی بیشتری را در گیره ایجاد می کنند. ربات دلتا از قسمت پایه خود و بالای منطقه تولید نصب می شوند و در حالی که این امکان برای انواع دیگر ربات ها وجود دارد، برای ربات های دلتا یک استاندارد می باشد.

**ویژگی های ربات موازی دلتا**

اصلی ترین ویژگی ربات های دلتا، سرعت بی نظیر آنهاست. به عبارت ساده، قرارگیری موتورها و بازوهای سبک وزن به ربات دلتا اجازه می دهد به سرعت هایی برسد که دیگر انواع ربات ها امکان آن را ندارند. در برخی از کاربری ها، سرعت در اولویت قرار دارد. بنابراین، منطقی است که از سریع ترین ربات ممکن استفاده شود.

یکی از مزایای ربات موازی دلتا که اغلب نادیده گرفته می شود، استفاده کارآمد آنها از فضای کف است. بیشتر ربات های ثابت، روی زمین نزدیک محل کار نصب می شوند. ربات ممکن است با یک قفس ایمنی و سایر تجهیزات احاطه شود و ده ها متر مربع را اشغال کند. ربات موازی دلتا در بالای فضای کاری نصب می شود و به دلیل این طراحی، می تواند از فضای عمودی که معمولا بلا استفاده هستند در تاسیسات تولیدی استفاده کند. استفاده بهتر از فضای عمودی فضای بیشتری را برای تجهیزات اضافی و انبار آزاد می کند.

**محدودیت های ربات دلتا**

البته ربات موازی دلتا محدودیت هایی هم دارد. در ربات دلتا، دسترسی و بار فدای سرعت زیاد می شود. طراحی مکانیکی به ربات دلتا اجازه نمی دهد بارهای بسیار سنگین را جابجا کند. بیشتر ربات های دلتا قابلیت حمل وزنی در حدود چند کیلوگرم دارند که دامنه کاربرد ربات دلتا را مقداری محدود می کند.

دسترسی یکی دیگر از محدودیت های دیگر ربات دلتا می باشد. به دلیل ساختار مکانیکی، دامنه حرکت به طور قابل توجهی برای دلتا محدود است. فضای کار ربات دلتا مخروطی شکل بوده و این بدان معنی است که هر چه دلتا به سمت پایین تر حرکت می کند، توانایی حرکت پهلو به پهلوی کمتری دارد. این موارد باعث می شود ربات دلتا فقط برای کارهای کوچک و سبک وزن قابل استقرار باشد.

**سینماتیک ربات دلتا**

**سورس تعاریف این بخش:** [سینماتیک مستقیم و معکوس در رباتیک – انجام پروژه های حرفه ای مهندسی برق (barghtech.ir)](http://barghtech.ir/%D8%B3%DB%8C%D9%86%D9%85%D8%A7%D8%AA%DB%8C%DA%A9-%D9%85%D8%B3%D8%AA%D9%82%DB%8C%D9%85-%D9%88-%D9%85%D8%B9%DA%A9%D9%88%D8%B3-%D8%B1%D8%A8%D8%A7%D8%AA%DB%8C%DA%A9/)

**تعریف سینماتیک در رباتیک**

سینماتیک شاخه ای از مکانیک است که به توصیف حرکت اجسام و مایعات بدون در نظر گرفتن نیروهای تولیدکننده حرکت می پردازد. سینماتیک مستقیم و معکوس در رباتیک به بررسی موقعیت اندفکتور و تغییرات آن نسبت به تغییرات زوایای مفاصل می پردازد. هنگام بررسی مکانیزم های مفصل دار همانند انواع ربات ها، علم سینماتیک به تحلیل هر یک از رابط های ربات نسبت به یک چهارچوب مرجع می پردازد.

**تعریف سینماتیک مستقیم و معکوس**

هدف از سینماتیک مستقیم، بدست آوردن موقعیت و جهت گیری مجری نهایی با توجه به پیکربندی رابط های میانی ربات است. هدف از سینماتیک معکوس، بدست آوردن موقعیت و جهت گیری رابط های میانی ربات با توجه به موقعیت و جهت گیری مجری نهایی است. برای توصیف موقعیت ربات، چهارچوب های مختلفی را می توان به کار برد. بعنوان مثال می توان از دستگاه های مختصات کارتزین، استوانه ای و کروی استفاده کرد. انتخاب نوع دستگاه مختصات به ساختار سینماتیک ربات بستگی دارد.

**شبه کد سینماتیک مستقیم**

(psudo code FPK )

**شبه کد سینماتیک معکوس**

(psudo code IPK )

**تکینگی و فضای کار ربات دلتا**

**تعریف تکینگی یا سینگولاریتی**

هر ربات دارای مجموعه ای از نقاط در فضا می باشد که هنگام وارد شدن به این نقاط، مشکلات اساسی می تواند برای ربات به وجود بیاورد. هنگام ورود به این نقاط، ممکن است ربات حرکتی غیر قابل پیش بینی انجام دهد که منجرب به آسیب دیدن مفاصل و موتورها و همچنین برخورد با موانع را داشته باشد. به همین سبب لازم است هنگام طراحی ربات، این نقاط مورد نظر قرار گیرند و از ورود ربات به این نقاط جلوگیری شود.

**انواع تکینگی در ربات**

در حالت کلی 5 نوع تکینگی در ربات ها وجود دارد که به صورت زیر می باشند:

1. تکینگی مچ 2- تکینگی آرنج 3- تکینگی شانه 4 - تکینگی فضای کار داخلی 5- تکینگی فضای کار خارجی

سه مورد اول معمولا برای ربات های سری وجود دارد. در ربات موازی دلتا، تکینگی فضای کار داخلی و خارجی مورد هدف می باشند.

**تعریف فضای کار ربات**

فضای کار ربات به فضایی گفته می شود که ربات می تواند بدون خطر وارد شدن به نقاط تکینگی در آن مانور دهد.

**تشخیص تکینگی و فضای کار با استفاده از ماتریس ژاکوبی**

در این روش با استفاده از تحلیل ماتریس ژاکوبین ربات و بررسی نقاط منفرد در این ماتریس می توان فضای کار ربات را بدست آورد. در این روش، با پیچیده شدن مدل، بررسی تکینگی ربات هم پیچیده تر می شود.

**تشخیص تکینگی و فضای کار با استفاده از روش های عددی**

در روش های عددی، با استفاده از جایگذاری متغیر ها در معادلات ربات در بازه های مختلف، سعی بر این می باشد تا به طور تقریبی نقاط نزدیک به نقاط منفرد در ربات پیدا شوند. با پیچیده شدن مدل ربات، روش های عددی می توانند بسیار پر هزینه و در مواردی غیر دقیق باشند.

**تشخیص تکینگی و فضای کار ربات دلتا با استفاده از روش های عددی**

در سال های اخیر، روش های عددی بهینه نیز برای ربات دلتا توسعه داده شده است که یکی از آن ها مورد بررسی و استفاده قرار گرفته شده است. در این روش برخلاف روش های عددی دیگر، روش حرکت بر روی فضای کار برای پیدا کردن نقاط تقریبی فضای کار استفاده شده است.

در این روش، از مختصات کروی برای جستجوی نقاط اولیه استفاده شده است. با هدف پیدا کردن نقطه ای بر روی فضای کار، مقدار اپسیلون به عنوان بازه ی خطا در نظر گرفته می شود. نقطه ی مورد نظر در معادله ی سینماتیک زیر قرار می گیرد. مقدار تابع اگر برابر صفر باشد، به این معناست که این نقطه دقیقا بر روی مرز فضای کاری می باشد. در صورتی که مقدار تابع مثبت باشد، بدین معنا می باشد که این نطقه داخل فضای کاری می باشد و اگر مقدار تابع منفی باشد بدین معنا می باشد که خارج از فضای کاری می باشد. (تابع استفاده شده در مقاله)

هنگامی که نقطه ای پیدا شود که مقدار تابع آن کمتر از مثبت منفی نصف خطای اپسیلون باشد، این نقطه به عنوان مرز فضای کار در نظر گرفته می شود سپس الگوریتم با تغییر در زوایای مختصات کروی به جستجوی نقاط بعدی می پردازد . در صورت خارج یا داخل بودن نقطه نسبت به فضای کاری، شعاع این نطقه در مختصات کروی افزایش یا کاهش می یابد تا مقدار تابع ارضا شود. برای اطلاعات بیشتر در رابطه با این الگوریتم به مقاله ی مربوطه مراجعه کنید.

**شبه کد جستجوی فضای کار**

(psudo code workspace )

**الگوریتم برنامه ریزی مسیر**

**تعریف برنامه ریزی مسیر**

مساله طراحی مسیر عبارت است از یافتن مسیری برای بازوی ربات بین دو پیکربندی ابتدایی و انتهایی بدون اینکه برخوردی با موانع محیط رخ دهد. حل این مساله در حالت کلی پیچیده است و پیچیدگی آن با افزایش تعداد درجات آزادی به صورت نمایی افزایش می یابد. روش های متعددی برای طراحی مسیر ارائه شده اند نظیر میدان پتانسیل مصنوعی و نقشه راه احتمالی.

**تعریف برنامه ریزی مسیر زمانی**

برنامه ریزی مسیر زمانی یا ترجکتوری به مسیری گفته می شود که ربات به صورت تابعی از زمان طی می کند. یکی از معروف ترین الگوریتم ها، روش LSPB می باشد که در ادامه توضیح داده شده است.

**ترجکتوری LSPB**

این ترجکتوری ترکیبی از ترجکتوری های سهموی و خطی می باشد که نمودار سرعت آن ذوزنقه ای می باشد و هنگامی استفاده می شود که لازم است ربات یک سرعت ثابتی را در طول مسیر داشته باشد. بخش اول ترجکتوری یک سهمی با سرعت افزایشی و شتاب ثابت مثبت است. بخش دوم، یک ترجکتوری خطی با سرعت ثابت می باشد و نهایتا در بخش سوم، یک ترجکتوری خطی با شتاب منفی و سرعت کاهشی می باشد.

(یک شکل مثال از نمودار)

**ترجکتوری های منتخب**

در شبیه سازی دینامیکی ربات که در جلوتر اشاره شده است، نیاز به تعریف ترجکتوری هایی می باشد که ربات را در سخترین شرایط ممکن و در عین حال معقول مورد آزمایش و شبیه سازی قرار داده شود. در این پروژه، دو نوع ترجکتوری مورد بررسی قرار گرفته شده اند. اولین ترجکتوری، ترجکتوری جا به جایی اشیا می باشد و دومین ترجکتوری، حرکات دوار با استفاده از توابع مثلثاتی می باشد.

ترجکتوری های انتخاب شده، در زمان ها و مختصات های مختلف مورد آزمایش قرار داده شده اند. همچنین ترجکتوری هایی در مرز فضای کاری ربات انتخاب شده اند زیرا حرکت در این نواحی ربات را زیر فشار بالاتری قرار می دهد.

**شبه کد ترجکتوری جا به جایی اشیا**

(psudo code pick and place )

**شبه کد ترجکتوری حرکت دوار**

(psudo code circular )

**بررسی دینامیک ربات دلتا**

**تعریف دینامیک در رباتیک**

دینامیک به علم تحلیل فیزیکی نیرو و حرکت در اجسام گفته می شود. دینامیک در رباتیک به بررسی نیرو ها و گشتاور های وارده بر مفصل ها و بازو های ربات در هنگام حرکت گفته می شود.

هدف از تحلیل دینامیکی ربات می تواند دلایل متنوعی داشته باشد. از رایج ترین دلایل آن می توان به کنترل نیرو و گشتاور ربات اشاره کرد. در این پروژه، هدف از تحلیل دینامیکی ربات، پیش بینی گشتاورهای لازم برای موتورها در مانورهای مختلف ربات می باشد.

**شبیه سازی دینامیک ربات دلتا**

با هدف شبیه سازی ربات طراحی شده، بعد از هر طراحی، مدل 3 بعدی آن در نرم افزار SolidWorks طراحی شده و سپس مدل طراحی شده به نرم افزار simscape multibody منتقل شده و مدل دینامیکی آن تولید شده. سپس کدهای مربوط به سینماتیک معکوس و مسیریابی ربات، با توجه به نوع مانور، زوایای موتورهای ربات را در هر لحظه ی زمانی تولید می کنند. سپس داده های تولید شده با نرم افزار شبیه سازی هماهنگ شده و نتیجه ی شبیه سازی که شامل نمودار های مربوط به گشتاور، سرعت زاویه، شتاب زاویه ای و توان موتورها می باشد، ذخیره می شود.

(تصاویر مربوط سیم اسکیپ – ربات دلتا – کل سیستم – شبیه سازی متلب)

**فرآیند طراحی ربات دلتا**

**طراحی دلتا 1**

در طراحی دلتا-1 از ربات دلتای فلکس پیکر ساخت شرکت ای بی بی الگو برداری شده است. با هدف کاهش هزینه های ساخت و امکان پذیر شدن ساخت ربات در آزمایشگاه، ابعاد این ربات در ضریب 5/0 ضرب شده اند. نوع مدل کاملا ساده و بدون در نظر گرفتن امکان ساخت ربات، طراحی شده است. جنس مفاصل از آلومنیوم و بازو ها از فیبر کربن تعیین شده است. وزن 750 گرم برای مجموعه ی صفحه ی اندافکتور و گریپر و بار آن در نظر گرفته شده است.

**طراحی دلتا 2**

هدف در طراحی دلتا-2، نزدیک شدن مدل دلتا-1 به مدل واقعی برای ساخت بوده است. به همین سبب قطعات واقعی موجود در بازار در این مدل استفاده شده است. مفصل به کار رفته در این مدل، قطعه ی PHS5mm می باشد که موجب افزایش ابعاد اندافکتور نیز شده است. در هنگام طراحی دلتا-2، موتور دی سی کروزه مورد هدف قرار گرفته شده است و به همین دلیل مدل 3 بعدی این موتور در طراحی دلتا-2 در نظر گرفته شده است. در طراحی دلتا-2 از فیبر کربن برای بازوها و استیل برای مفصل ها و وزن 750 گرم برای مجموعه ی صفحه ی اندافکتور و گریپر و بار آن در نظر گرفته شده است.

**طراحی دلتا 3**

هدف از طراحی دلتا-3 رفع نقوص احتمالی دلتا-2 بوده است. طبق مشورت های انجام شده، ابعاد 5 میلی متر برای قطر بازوهای ربات بسیار نازک بوده و به همین سبب ابعاد قطر بازو ها به 8 میلی متر تغییر یافته اند که شامل تغییر نوع مفصل به PHS8mm نیز شده است . همچنین برای بازوهای بالایی ربات، قطعه ای جدید از جنس آلومینیوم با قطری بیشتر با هدف استحکام بیشتر طراحی شده است. هنگام طراحی دلتا-3 با توجه به نتایج شبیه سازی بدست آمده از مدل های قبلی نتیجه گیری شده است که استپ موتور ها موتورهای مناسب تری برای مدل دلتا-3 می باشند. به همین سبب در مدل دلتا-3 از استپ موتورهای سری 46 میلیمتری شرکت لیدشاین استفاده شده است. وزن های 750 گرم و 1 کیلوگرم برای مجموعه ی صفحه ی اندافکتور و گریپر و بار آن در نظر گرفته شده است.

**معرفی مدل پایه ی دلتا**

مدل و نام های مربوط به هر بخش مدل ربات دلتا در تصویر نشان داده شده اند.

(تصویر دیاگرام ربات دلتا)

**مقایسه ی ابعاد مدل های مختلف دلتا**

ابعاد هر بخش برای هر مدل دلتا پس از هر طراحی در جدول زیر آورده شده است. ابعاد قرار گرفته در پرانتز، ابعاد قطعه در مدل واقعی می باشند که با ابعاد مدل سینماتیکی متفاوت می باشند.

(جدول ابعاد مدل های دلتا)

**جمع بندی**

**فضای کار ربات دلتا**

(تصاویر فضای کاری ربات)

**شبیه سازی دینامیکی ربات دلتا**

(تصاویر نمودار های موتور ربات)

**نتیجه ی شبیه سازی**

با توجه به نمودار های مربوطه، مشخص می شود که با هدف ساخت ربات دلتا برای جا به جایی میوه هایی با اندازه متوسط، به موتور هایی با گشتاور تقریبی 4.5 نیوتون متر و سرعت زاویه ای تقریبی 5 رادیان بر ثانیه نیاز می باشد.