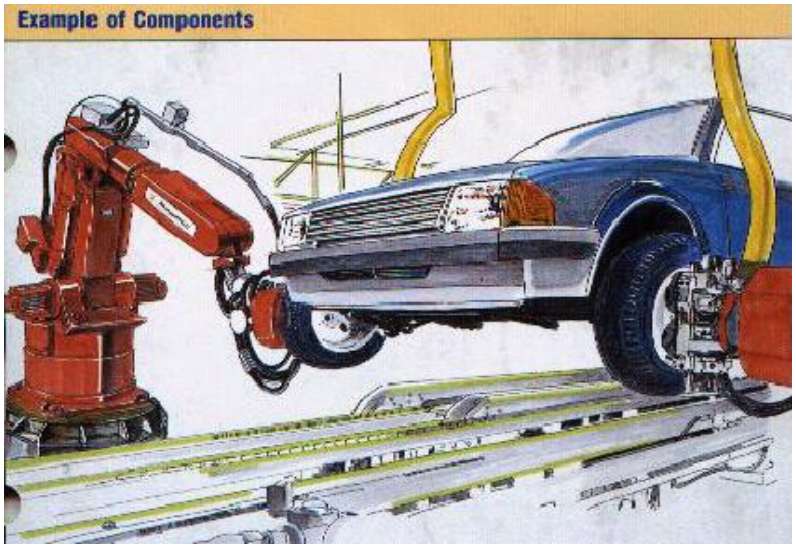
مقدمه ای بر رباتیک

1-مقدمه

اتوماسیون در بخشهای مختلف صنعت و کارهای تولیدی در چند دهه اخیر ظهـور پیـدا کرده است و روز به روز نیز در حال توسعه می باشد. بیش از چند دهه از ظهور کارخانجـات کاملاً مکانیزه که در آنها تمامی پروسه ها اتوماتیک بوده و نیروی انسانی در آن نقش اجرائی ندارد، نمی گذرد. اما در چند ساله اخیر شاهد بوجود آمدن کارخانجات مکانیزه ای بوده ایم که طراحی، ساخت و نحوه کار آنها واقعاً حیرت انگیز است. ایده و دانش کنترل اتوماتیک و استفاده از سیستمهای مکانیزه در کارخانجات به جنگ جهانی دوم می رسـد. مـا تحـولات عظیم و چشمگیر آن در سالهای اخیر بوقوع پیوسته است.

رباتها جدیدترین مرحله تلاش انسان جهت صنایع اتوماتیک به شمار می رونـد. رباتهـا آن دسته از ماشینهای ساخت بشر هستند که لزوماً حرکتهایی شبیه انسان ندارند ولـی تـوان تصمیم گیری و ایجاد و کنترل فعالیتهای از پیش تعیین شده را دارند.



شکل ۱ : نمونه ای از استفاده از ربات در صنعت

۲- تعریف ربات

دو تعریف موجود در رابطه با کلمه ربات از قرار زیر می باشند[۹] :

۱- تعریفی که توسط Concise Oxford Dic. **صورت گرفته است؛ ماشینی مکانیکی با ظاهر یک انسان که باهوش و مطیع بوده ولی فاقد شخصیت است. این تعریف چندان دقیق نیست، زیرا تمام رباتهای موجود دارای ظاهری انسانی نبوده و تمایل به چنین امری نیز وجود ندارد.**

۲- تعریفی که توسط مؤسسه ربات آمریکا صورت گرفته است؛ وسیله ای با دقت عمل زیاد که قابل برنامه ریزی مجدد بوده و توانایی انجام چند کار را دارد و برای حمل مواد، قطعات، ابزارها یا سیستم های تخصصی طراحی شده و دارای حرکات مختلف برنامه ریزی شده است و هدف از ساخت آن انجام وظایف گوناگون می باشد.

۳- دسته بندی رباتها

رباتها در سطوح مختلف دو خاصیت مشخص را دارا می باشند :

۱- تنوع در عملکرد

۲- قابلیت تطبیق خودکار با محیط

به منظور دسته بندی رباتها لازم است که قادر به تعریف و تشخیص انواع مختلف آنها باشیم. سه

دسته بندی مختلف در مورد رباتها وجود دارد. دسته بندی اتحادیه رباتهای ژاپنی، دسته بندی

مؤسسه رباتیک آمریکا و دسته بندی اتحادیه فرانسوی رباتهای صنعتی.[۹]

۱-۳-دسته بندی اتحادیه رباتهای ژاپنی

انجمن رباتهای صنعتی ژاپن، رباتها را به شش گروه زیر تقسیم می کند :

۱- یک دست مکانیکی که توسط اپراتور کار می کند : وسیله ای است که دارای درجات آزادی متعدد بوده و توسط عامل انسانی کار می کند.

۲- ربات با ترکیبات ثابت : این دسته رباتها با ترکیبات ثابت طراحی می شوند. در این حالت یک دست مکانیکی کارهای مکانیکی را با قدمهای متوالی تعریف شده انجام می دهد و به سادگی ترتیب کارها قابل تغییر نیست.

۳- ربات با ترکیبات متغیر : یک دست مکانیکی که کارهای تکراری را با قدمهای متوالی و با ترتیب تعریف شده، انجام می دهد و این ترتیب به سادگی قابل تغییر است.

۴- ربات قابل آموزش : اپراتور در ابتدای امر به صورت دستی با هدایت یا کنترل ربات کاری را که باید انجام شود، انجام می دهد و ربات مراحل انجام وظیفه را در حافظه ضبط می کند. هر وقت که لازم باشد، می توان اطلاعات ضبط شده را از ربات درخواست نمود و ربات وظیفه درخواست شده را بصورت خودکار انجام می دهد.

۵- ربات با کنترل عددی : اپراتور وظیفه ربات را توسط یک برنامه کامپیوتری به او تفهیم می نماید و نیازی به هدایت دستی ربات نیست. درواقع ربات با کنترل عددی، رباتی است که با برنامه کامپیوتری کار می کند.

۶- ربات باهوش : این ربات درک از محیط و استعداد انجام کار با توجه به تغییر در شرایط و محدوده عمل کار را دارد.

۲-۳- دسته بندی مؤسسه رباتیک آمریکا

انستیتوی رباتیک آمریکا تنها موارد ۳ و ۴ و ۵ و ۶ را به عنوان ربات پذیرفته است.

۳-۳- دسته بندی اتحادیه فرانسوی رباتهای صنعتی

مؤسسه ربات صنعتی فرانسوی، رباتها را به شکل زیر تقسیم کرده است :

نوع A : دستگاهی که توسط دست یا از راه دور کنترل می شود (مورد ۱ طبقه بندی قبل).

نوع B : وسیلهٔ حمل کننده خودکار با یک سیکل محاسبه شده از قبل (موارد ۲ و ۳ طبقه بندی قبل).

نوع C : دستگاهی قابل برنامه ریزی و با توانایی خود کنترل (موارد ۴ و ۵ طبقه بندی قبل).

نوع D : دستگاهی که قادر است اطلاعات معینی از محیط را بدست بیاورد و به عنوان ربات باهوش معروف است (مورد ۶ طبقه بندی قبل).

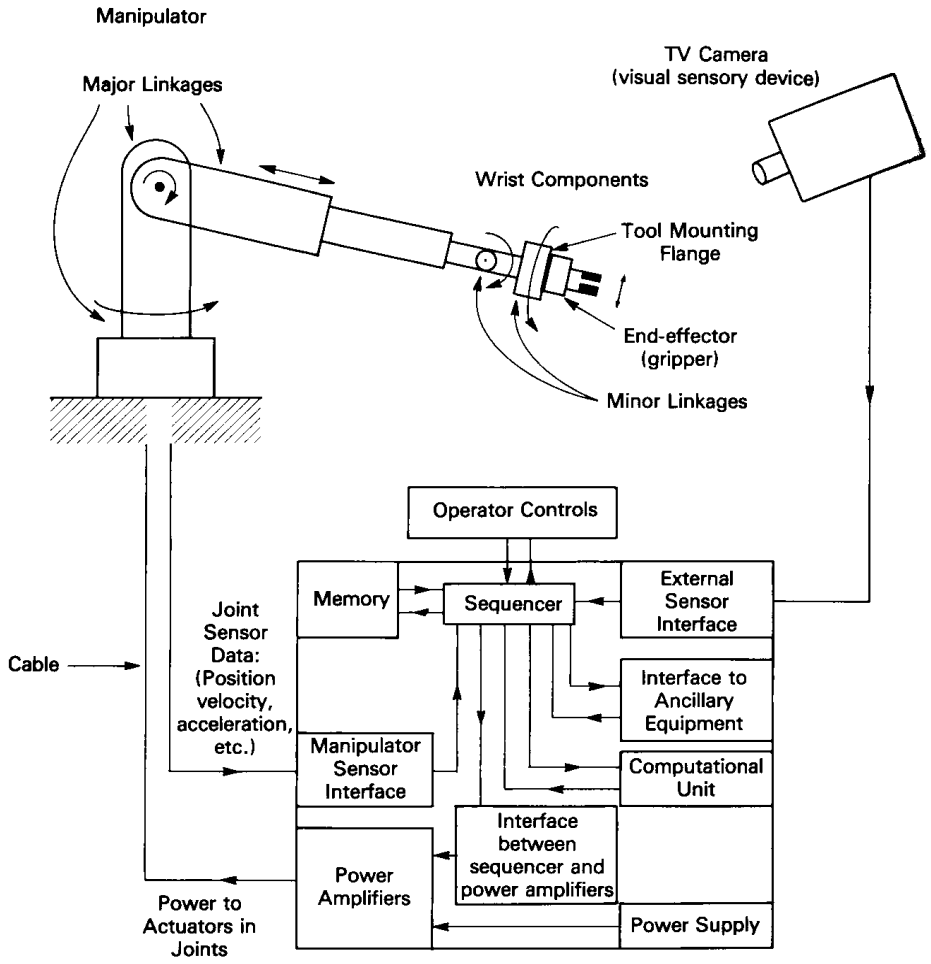
۴- اجزاء اصلی یک ربات

مهندسی ربات، مهندسیهای نرم افزار، سخت افزار، برق و مکانیک را در خدمت خود گرفته است. بعضی مواقع این علوم به حد کافی پیچیده می باشند. همچنانکه در شکل ۲-۲ مشاهده می شود هر ربات دارای ۵ مؤلفه به شرح ذیل می باشد [۹]و[۱۵]:

۱-۴- بازوی مکانیکی ماهر (Mechanical Manipulator)

بازوی مکانیکی شامل چندین واصل است که با مفصلها به هم وصل می شوند. این واصلها در جهات مختلف در فضای کاری قادر به حرکت می باشند. حرکت یک مفصل بخصوص

باعث حرکت یک یا چند واصل می شود. عامل تحریک مفصل می تواند مستقیماً یا از طریق بعضی انتقالات مکانیکی بر واصل بعدی متصل شود. به واصل نهایی بازوی مکانیکی وسیله کاری ربات وصل شده است که به آن عامل نهایی می گویند. هر یک از مفصلهای ربات یک محور مفصل دارند که واصل حول آن می چرخد. هر محور مفصل یک درجه آزادی(D.O.F.) تعریف می کند. بیشتر رباتها دارای ۶ درجه آزادی می باشند به عبارت دیگر دارای ۶ مفصل، بمنظور حرکت در ۶ جهت. اولین سه مفصل ربات به عنوان محورهای اصلی شناخته می شوند. بطورکلی صرفنظر از جزئیات، محورهایی که برای محاسبه موقعیت



شکل ۲ : مؤلفه هاي يك ربات

و استقرار مچ استفاده می شونـــد، محورهای اصلی ربـات هســتند. محورهــای مفصــلهای باقیمانده جهت قرار گرفتن دست ربات را مشخص می کنند، ولذا محورهای فرعــی نامیــده می شوند.

دو نوع مفصل اصلی به صورت گسترده در صنعت رباتها بکار گرفته می شود. مفصل دورانی که نمایش دهنده حرکت چرخشی حول یک محور است و مفصل انتقالی یا لغزشــی که نمایش دهنده حرکت خطی در طول یک محور است، (جدول ۱).

Description	Notation	Type
Rotary motion about an axis	R	Revolute
Linear motion along an axis	P	Prismatic

جدول ۱ : انواع مفصل ربات

۲-۴- سنسورها

برای کنترل صحیح بازوی مکانیکی بایستی وضعیت هر مفصل شناخته شده باشد. منظور از وضعیت، موقعیت مفصل، ســرعت و شــتاب مــی باشــد. بنــابراین در مفصــلها بایســتی سنسورهایی جهت دید مفصلها و وصلها جهت تعیین موقعیت، گشتاور، سرعت، شتاب، و ... نصب شود، تا وضعیت مفصلها به کنترلر ابلاغ شود. خواندن اطلاعات سنسور، یــا در اتمــام حرکت یا در حین حرکت انجام می گیرد و با ارسال اطلاعات آنــی سنســورها بــه کنترلــر، کنترل صحیح و واقعی سیستم مکانیکی انجام می شود. این اطلاعات سنسوری، دیجیتــال یا آنالوگ و یا ترکیبی می باشند.

۳-۴- کنترلر

بخشی است که به بازوی مکانیکی، هوش انجام کار را می دهد. کنترلر معمولاً از بخشهای ذیل تشکیل می شود :

۱- واحدی که اجازه می دهد ربات از طریق سنسورها با محیط بیرون ارتباط داشته باشد.

۲- حافظه جهت ذخیره داده هایی که مختصات را تعریف می کنند تا بازو با توجه به این مختصات حرکت کند (برنامه).

۳- واحدی که داده ذخیره شده در حافظه را تغییر می دهد و سپس داده را برای ارتباط دادن با مؤلفه های دیگر کنترل بکار می برد.

۴- حرکت مؤلفه های بخصوصی در نقاط معینی مقدار دهی اولیه شده و در نقطه بخصوص

دیگری پایان می یابند.

۵- واحد محاسباتی که محاسبات لازم برای کنترلر را انجام می دهد. به عبارت دیگر، برای

انجام صحیح اعمال بایست یک سری محاسبات جهت مشخص کردن مسیر، سرعت و موقعیت بازوی مکانیکی انجام شود.

۶- واسطی جهت بدست آوردن داده ها (مختصات هر مفصل، اطلاعاتی از سیستم بینایی و ...) و واسطی جهت اعمال سیگنالهای کنترل به محرک مفصلها.

۷- واسطی جهت انتقال اطلاعات کنترلر به واحد تبدیل توان، به طوری که محرک های مفصلها باعث بشوند که مفصلها به صورت مطلوب حرکت کنند.

۸- واسط به تجهیزات دیگر، بطوری که کنترلر ربات با واحدهای خارجی یا ابزارهای کنترل دیگر، ارتباط داشته باشد.

۹- وسایل و تجهیزات لازم جهت آموزش ربات.

کنترلرهای رباتها کلاً به ۵ دسته تقسیم بندی می شوند :

۱- کنترل با قدم ساده(Simple Step Sequencer)

۲- سیستم منطقی پنوماتیکی(Pneumatic Logic System)

۳- کنترلر با قدمهای الکترونیکی (Electronic Sequencer)

۴- میکرو کامپیوتر (Micro Computer)

۵- مینی کامپیوتر (Mini Computer)

سه کنترلر اول در رباتهای کم هزینه به کار برده می شوند. بیشتر کنترلرهای امروزی براساس میکروکامپیوترهای معمولی می باشند و سیستم کنترل براساس مینی کامپیوتر زیاد رایج نمی باشد، چرا که نسبت به میکروکامپیوترها هزینه بالاتری دارند.

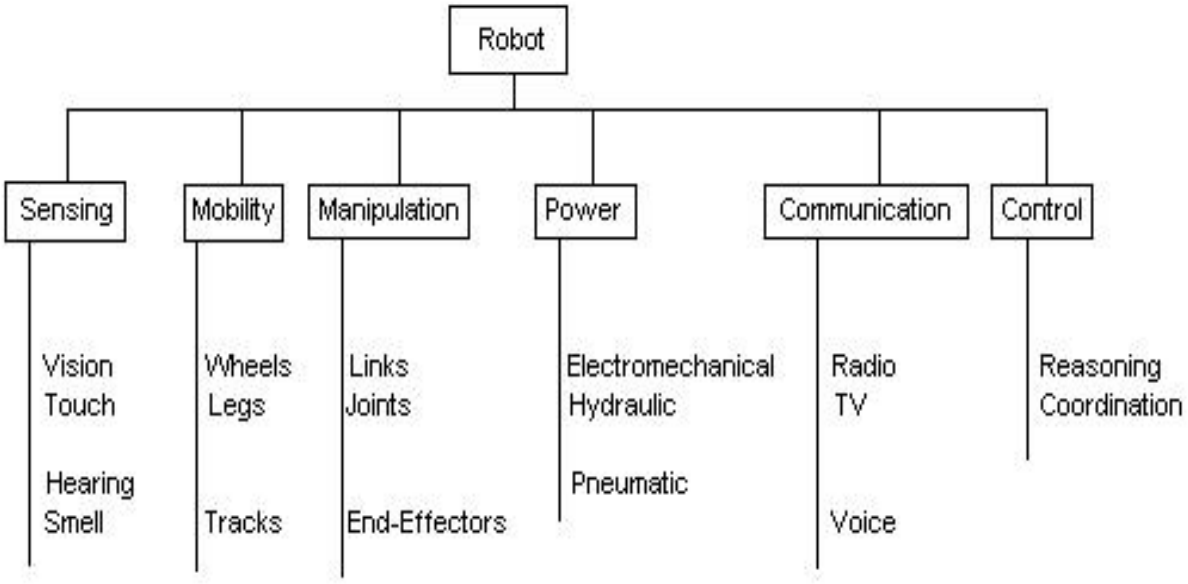
۴-۴- واحد تبدیل توان

این واحد سیگنالهای کنترلر را گرفته و به یک سیگنال در سطح توان محرک ها و موتورها، جهت حرکت، تبدیل می کند. این واحد شامل تقویت کننده های توان الکترونیکی برای رباتهای الکتریکی و شیرهای کنترلی و راه اندازهای هیدرولیکی برای رباتهای هیدرولیکی می باشد.

۵-۴- محرک مفاصل

این وسائل تحت یک سری شرایط کنترل شده و دقیق توان لازم را جهت مفصلها فراهم می آورند. این توان می تواند الکتریکی، هیدرولیکی یا پنوماتیکی باشد. پس به طور خلاصه یک ربات دارای مؤلفه های؛ اسکلت ساختاری، سیستم تحریک کننده مفصلها، سیستم سنسوری، کنترلر، سیستم تغییر سیگنال (تغییر سیگنال آنالوگ به دیجیتال و بالعکس، تقویت سیگنال، فیلتر کردن سیگنال و ...) می باشد.

در شکل ۳ سلسله مراتب ساختاری یک ربات متحرک را مشاهده می کنید. هر ماجول در شکل قابل تجزیه به زیر سیستم هایی می باشد. هم اینک رباتها با مفصلهای متحرک به خاطر سادگی ساخت و سرعت عمل و نزدیکی آن به قابلیت انعطاف بازوی انسان، در صنعت به طور وسیع استفاده می شوند.



شکل ۳ : سلسله مراتب زیر سیستم های یک ربات متحرک نمونه

۵- طبقه بندی رباتها

تا بحال طرح های زیادی در طبقه بندی رباتها ارائه شده است که بیشتر آنها بـه بعضـی جوانب رفتاری یا فیزیکی ربات توجه داشته اند. ولی طبقه بندی استانداردی در مورد ربات وجود ندارد. با طبقه بندی رباتها می توان مشخصه های آنها را با هم مقایسـه کـرد و بـرای یک کاربرد بخصوص، ربات مناسب را انتخاب کرد.[۱۱،۹و۲۱]

۱-۵- طبقه بندی رباتها از نقطه نظر کاربرد

از نقطه نظر کاربرد، رباتها را می توان به سه دسته تقسیم کرد :

۱-۱-۵- رباتهای صنعتی

بسیاری از رباتها قادر به انجام عملیات لازم برای تولیدات صنعتی مـی باشـند. رباتهـای جوشکار، رنگ پاش، مونتاژ کننده و غیره، رباتهایی می باشند که در صنعت کاربرد فراوانـی دارند.

۲-۱-۵- رباتهای شخصی و علمی

بیشتر رباتهای علمی قابلیتهای بهتری نسبت به رباتهای صنعتی دارند. این گونه رباتها در تعداد کم ساخته می شوند و هدف اصلی بهره برداری علمی از آنهاست. ایـن گونـه رباتهـا بیشتر در زمینه تحقیق در هوش مصنوعی ساخته می شوند و کنترلر بخصوصـی ندارنـد و یک کامپیوتر از طریق زبانهـای برنامه نویسـی سطح بالا کنترلـر آنهـا مـی باشـد. معمولاً به خاطر سرعت و دقت کم، قیمت کمتری دارند.

۳-۱-۵- رباتهای نظامی

این رباتها دارای مواد منفجره و سلاح های گردان می باشند و با محیط خود از طریق سنسور ارتباط برقرار می کنند. همچنین این رباتها قادر به ارتباط برقرار کردن با اپراتور انسان و دیگر سیستم ها می باشند.

۲-۵- طبقه بند از نقطه نظر استراتژی کنترل در نسلهای ربات

این تقسیم بندی ها در حقیقت متکی به اصول سیستمهای کنترلی رباتهاست و بصورت زیر نامگذاری شده اند :

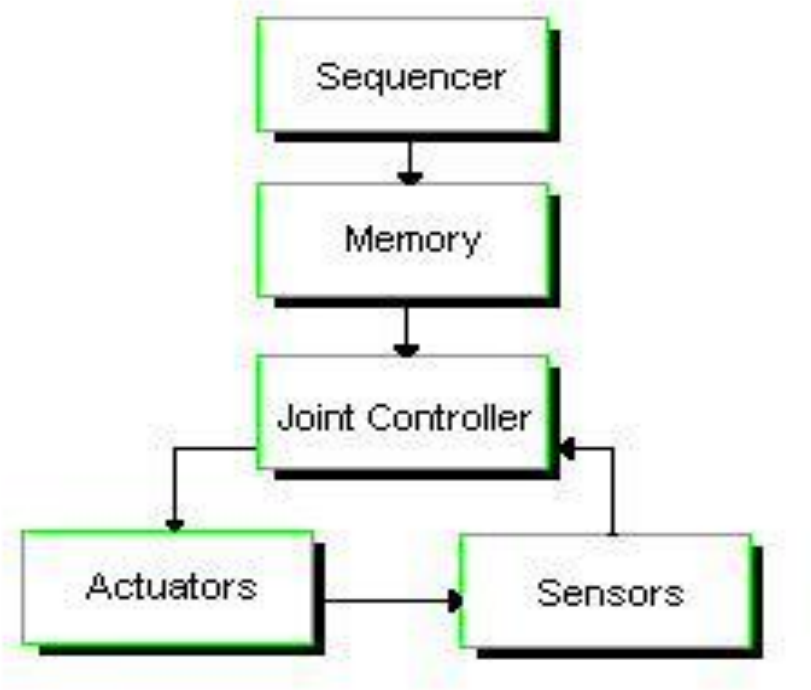
۱-۲-۵- نسل اول

در اولین نسل، کنترل فقط در یک سری نقاط توقف انجام می گیرد. اینگونه کنترل به کنترل حلقه باز معروف می باشد. این نوع رباتها محدود به انجام حرکات کوچک (حرکت دادن قطعه ای از یک نقطه به نقطه دیگر) می باشند.

۲-۲-۵- نسل دوم

ساختار کنترلی این نسل همان ساختار حلقه باز می باشد ولی بعوض یک سری کلیدهای کنترلی، حرکات کنترلی توسط یک سری عدد که در حافظه سیستم ضبط شده اند، انجام می گیرد. بعضی رباتهای امروزی جزو همین نسل می باشند که به نسل اول کلی قابلیت و توان کامپیوتری اضافه کرده اند و تنها کار هوشمند آنها یادگیری یک سری از عملیات برای بازوی مکانیکی می باشد که توسط اپراتور انسان و به کمک جعبه کنترل انجام می گیرد. این رباتها قابلیت نشان دادن عکس العمل در برابر حوادث پیش بینی نشده را ندارند. به عبارت دیگر، بخش کنترلر در نسل اول مکانیکی و در این نسل الکترونیکی می باشد.

برای این رباتها بایستی محیط کارخانه با دقت هر چه تمامتر مناسب آنها وفق داده شود، قطعات با دقت زیاد در موقعیت مناسب خود قرار گیرند و روابط بین ماشینها به دقت معین شوند. بیشتر کاربرد اینگونه رباتها در کاربردهای جوشکاری و رنگ پاشی می باشد. شکل ۲-۴ شماتیک کنترل نسل اول و دوم را نشان می دهد.



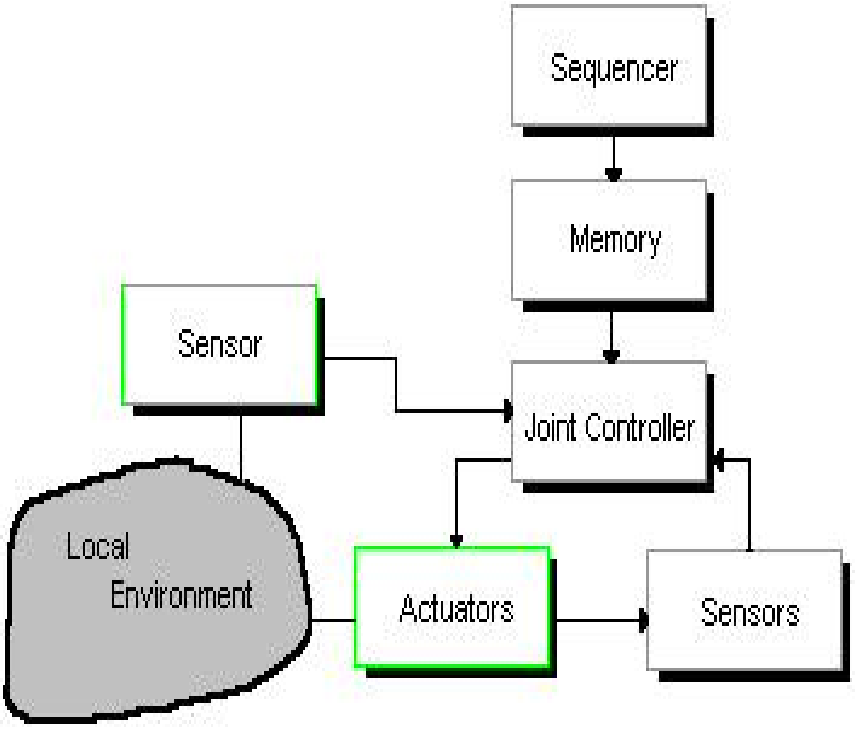
شکل ۴ : کنترلر نسل اول و دوم رباتها

۳-۲-۵- نسل سوم

از اختراع نسل سوم رباتها ۱۵ تا ۲۰ سال می گذرد. سیستم کنترلی این نسل به کنترل حلقه بسته معروف می باشد. در این نسل، کنترلر ربات یا یک کامپیوتر می باشد و یا یک پروسسور ارزان قیمت می باشد که به آن اضافه شده است. بدین ترتیب رباتهای نسل دوم دارای قابلیتهای زیادتری شده و نسل سوم بوجود آمده است. با اضافه شدن قدرت محاسبات کامپیوتری، محاسبات لازم برای کنترل حرکت هر درجه ازادی جهت انجام حرکت صاف عامل نهایی در طول مسیر تعیین شده، بصورت بلادرنگ انجام می گیرد.

وضعیت محیط اطراف از طریق سنسورهای نیرو و گشتاور اخذ شده و در کنترل بکار گرفته می شود. با حضور سنسورهای متفاوت، چندین ربات می توانند بی هیچ مشـــکلی کارهـــای متفاوتی را انجام دهند. برنامه ریزی اینگونه رباتها به کمک یک سری زبانهـــای ســـطح بـــالا انجام می گیرد.

شماتیک کل این سیستمها را در شکل ۵-۲ مشاهده می کنید. کاربردهای این نسل جوشکاری نقطه ای، رنگ پاشی، مونتاژ می باشند.

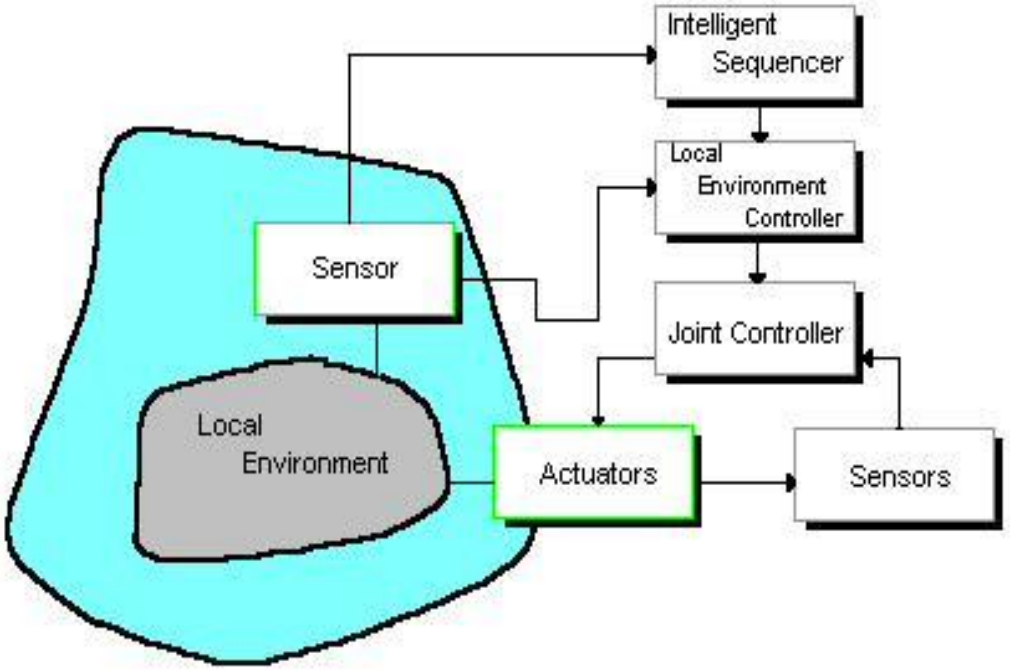


شکل ۵ : کنترلر نسل سوم رباتها

۴-۲-۵- نسل چهارم

نسل چهارم رباتها در چند سال اخیر معرفی شده است ولی پتانسیل کامل کاری آنها بـــه زودی محقق نمی شود. در این نسل، رباتها دارای هوش مصنوعی بوده و ادراکاتی بیشـــتر از نسل سوم مانند قدرت تصمیم گیری و تشخیص طرح و ابعاد قطعـــه و همچنـــین تکمیـــل و

تصحیح حرکات در عملیات مختلف را دارا می باشند. قدرت بینایی، مشابه سازی از تأثیرات محیطی به صورت دیجیتال و استفاده از سنسورها از ویژگیهای این نسل از رباتها است. در این رباتها، چندین پروسسور وجود دارند که هر یک بصورت آسنکرون یک سری عملکرد بخصوص را انجام می دهند و یک کامپیوتر ناظر، مسئول هماهنگی و نظارت بر این پروسسورها بوده و عملکردهای سطح بالا را برای آنها مهیا می کند. هر پروسسور سیگنالهای سنسوری داخلی (موقعیت، سرعت و جهت) را دریافت می کند، بخشی از کنترل کننده سرو سیستم می باشد. کامپیوتر ناظر بر پروسسورها، محاسبات هماهنگ کننده بین عملیات پروسسورها را انجام می دهد و با سنسورهای خارجی و تجهیزات و کامپیوترهای دیگر ارتباط دارد و برنامه های متنوع را اجرا می کند. هدف اصلی در این نسل طراحی پردازش سلسله مراتبی توزیعی می باشد که قابلیت انعطاف را بالا برده و بسادگی تغییرات را فراهم می کند. در این نسل سنسورها در نهایت باهوشی پیرامون خود را احساس کرده و با استفاده از مفاهیم هوش مصنوعی و با زیرکی هر چه تمامتر و با وجود کمترین اطلاعات، کار خود را بنحو احسن انجام می دهند. شکل ۶-۲ شماتیک کنترل این نسل را نمایش می دهد.



شکل ۶ : کنترلر نسل چهارم رباتها

۳-۵- طبقه بندی از نقطه نظر محرک مفصلها

هر محور حرکت دارای یک کارانداز می باشد که سیگنالهای الکتریکی کامپیوتر را به حرکات مکانیکی تبدیل می کند. در بیشتر رباتهای تحت کنترل کامپیوتر، محورهای حرکت تحت سیستم های حلقه بسته کنترل می شوند. سیگنال برگشتی با مقدار واقعی مقایسه شده و تصمیم گیری مناسب برای رفع میزان خطا انجام می گیرد تأمین کننده های محرک مفصلها عبارتند از : نیروی الکتریکی، نیروی هیدرولیکی و نیروی پنوماتیکی.

۱-۳-۵- سیستمهای الکتریکی

سیستمهای انرژی الکتریکی یکی از انواع سیستمهای تأمین نیروی محرکه ربات می باشد. یکی از مزیتهای این سیستم ها ایجاد نیرو و افزایش آن به نرمی و با سرعت کم و کاهش آن به نرمی و بدون هیچگونه شوک می باشد. سیستمهای الکتریکی برای جوشکاری

با قوس الکتریکی، جوشکاری نقطه ای، حمل مواد و سوراخ کاری در خط تولید مورد استفاده قرار می گیرند.

موتورهای الکتریکی می توانند با جریان مستقیم و جریان متناوب مورد استفاده قرار گیرند.

البته هر کدام از محدودیتها و استفاده های خاص خود را دارا می باشد. قصد نداریم که کارکرد تک تک آنها را شرح دهیم و توضیح مختصری درباره موتورهایی که بیشتر در رباتها استفاده می شوند، خواهیم داشت.

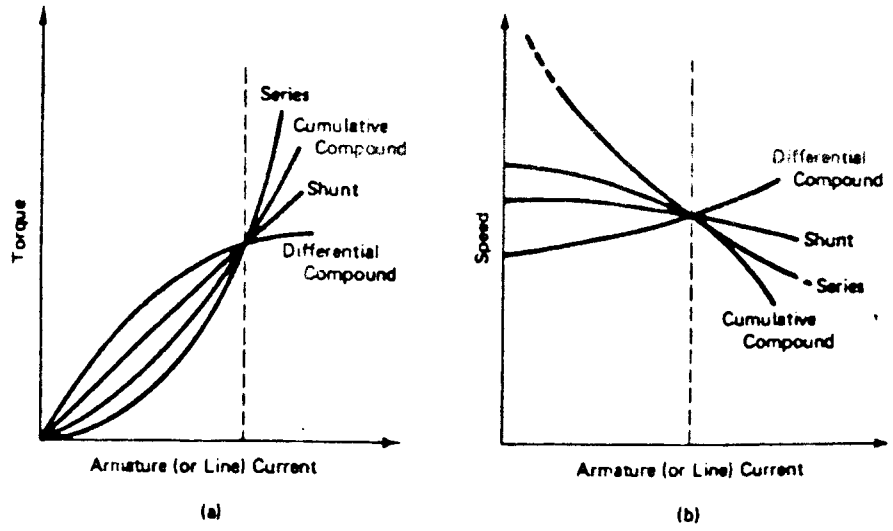
۱-۱-۳-۵- موتورهای DC

موتورهای DC بشکلهای سری، شنت (موازی) و ترکیبی (کمپوند) وجود دارند. کنترل کردن سرعت موتورهای DC می تواند با تنظیم ولتاژ یا جریان و یا هر دو صورت گیرد. جهت حرکت آنها به راحتی با معکوس کردن قطبها و جهت جریان اعمالی، معکوس می شود. مقاومتهای متغیر نیز می توانند برای کنترل سرعت موتورهای DC مورد استفاده قرار گیرند. مقاومت بصورت سری با سیم پیچها بسته می شود و با تنظیم آن ولتاژ مورد نیاز موتور کاهش یا افزایش می یابد.

۲-۱-۳-۵- مقایسه موتورهای DC

برای اینکه بتوان دریافت که در چه مواقعی از کدام موتور DC باید استفاده نمود. می بایستی مشخصه های آنها را با هم مقایسه کرد. برای مقایسه کافی است که به مشخصه های گشتاور و سرعت نوع موتورها توجه کنیم، (نمودار ۱). اگر موتورهای مختلف DC، با توان اسمی یکسان را با هم مقایسه کنیم. در این صورت تمامی مشخصه ها در یک نقطه

تلاقی خواهند داشت و این نقطه مربوط به مقادیر اسمی مشترک می باشد. با توجه به محدوده تغییرات باری که باید توسط موتور بچرخد، می توان موتور مناسبی را انتخاب نمود.



نمودار ۱ : مقایسه موتورهای DC

۳-۱-۳-۵- موتورهای AC

موتورهای AC برای راه اندازی کمپرسورهای هوا یا پمپ های هیدرولیکی و دیگر تجهیزات صنعتی مورد استفاده قرار می گیرند.

۴-۱-۳-۵- مزایا و معایب سیستمهای الکتریکی

موتورهای الکتریکی رایجترین کاراندازهای به کار رفته برای بازوهای مکانیکی ماهر هستند.

زیرا :

۱- براحتی با یک کامپیوتر و یا یک ریز پردازنده قابل کنترل می باشند.

۲- براحتی جهت حرکتشان را می توان معکوس کرد.

۳- تنظیم میزان حرکت و سرعت با سهولت صورت می گیرد.

۴- قابلیت تکرار بالاتری دارند.

اما نسبت توان به وزن در این موتورها به بزرگی سیستمهای هیدرولیکی و پنوماتیکی نیست.

۲-۳-۵- سیستمهای هیدرولیکی

هیدرولیک شکلی از انتقال نیرو با موارد استعمال گوناگون است. ریشه لغت "هیدرولیک" یونانی است و تقریباً به معنی "چیزی که از آب استفاده می کنند" و یا دقیقاً به معنای "آب و لوله ها" می باشد. از مواقعی که یکسانی رفتار آب با سیالات دیگر محقق گشت کلمه هیدرولیک چنین معنی شده است : "علم رفتار فیزیکی سیالات". اما در مهندسی تعریف مذکور بدین صورت است: "استفاده از سیالات برای تبدیل و انتقال انرژی". روغن بنا بر خواص بهتر (مقاوم در برابر فساد، دارای خواص لغزندگی، نرمی و غیره). بعنوان سیال در سیستم ربات مورد استفاده قرار می گیرد. تقریباً ۴۵٪ رباتهای صنعتی مورد استعمال امروزه بوسیله نیروی هیدرولیکی کار می کنند. سیستمهای هیدرولیکی در جوشکاری قوس الکتریکی، جوشکاری نقطه ای، ریخته گری و رنگرزی مورد استفاده قرار می گیرند.

۱-۲-۳-۵- مزایا و معایب سیستم های هیدرولیکی

دلایل متعددی جهت استفاده از سیستمهای هیدرولیکی وجود دارد که عبارتند از :

۱- نسبت توان به وزن بالا

۲- کارآیی نرمتر و انعطاف پذیر برای نیروهای بزرگ را داراست.

اما سیستمهای هیدرولیک برای کاربردهای کوچک و دقیق مناسب نیستند و همیشه صدای زیاد، آلودگی وسیع، لوله کشی پرحجم، دقت کم و عملکرد دینامیکی سطح پائین از مشخصات جداناپذیر آنهاست.

۳-۳-۵- سیستمهای پنوماتیکی

اصطلاح "پنوما" از کلمه زبان یونانی قدیم مشتق شده است و به عنوان "تنفس" و در فلسفه بعنوان روح آمده است. پنو در لاتین بمعنی هوا می باشد و پنوماتیک به قسمتی از علم فیزیک گفته می شود که در رابطه با حرکات و وقایع هوا می باشد. در حدود یک سوم رباتهای صنعتی برای به حرکت درآوردن محورهای خود از نیروی پنوماتیکی استفاده می کنند. نیروی پنوماتیکی از هوای فشرده تغذیه می شود. هوای فشرده از طریق لوله های طراحی شده به جهتهای مختلف رانده می شود و باعث حرکت ربات در جهات مختلف می شود. هوای فشرده، باعث حرکت بازو یا کل ربات می شود. سیستمهای پنوماتیکی بر روی ربات هایی کار گذاشته می شوند که کارهای ساده تولیدی انجام می دهند. این سیستمها در صنعت برای بلند کردن قطعات و نگه داشتن محصولات در نقطه ای ثابت بکار می روند، مانند : ریخته گری، حمل مواد و ...

۱-۳-۳-۵- مزایا و معایب سیستمهای پنوماتیک

نکات مثبت راه اندازهای بادی را می توان بطور خلاصه چنین توصیف نمود :

- سرعت بالا و نسبت توان به وزن مناسب و بالا

- بازده گشتاوری بالا

- قیمت پائین

- امکان کنترل ساده

- احتمال کم در آلوده سازی محیط (نسبت به سیستمهای هیدرولیک)

- دارای ساختمانی ساده

اما این سیستم بخاطر عملکرد دینامیکی پائین نسبت به سیستمهای الکتریکی و هیدرولیکی کمتر مورد استفاده قرار می گیرد.

۴-۵- طبقه بندی از نقطه نظر هندسه حرکت

مکان هندسی نقاطی در فضای سه بعدی که به وسیله مچ ربات قابل دستیابی است، پوشش کاری یا محیط کاری یک ربات نامیده می شود. این نوع طبقه بندی، ربات را از نقطه نظر ترتیبهای مکانیکی یا مهندسی بازوهای ربات دسته بندی می کند :

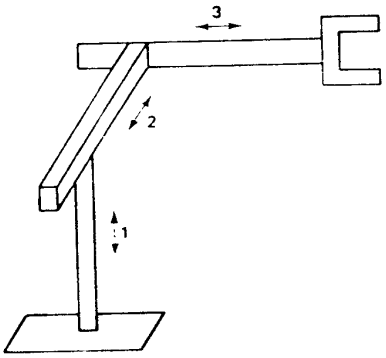
۱-۴-۵- مختصات کارتزین(Cartesian - Coordinate)

در این حالت ربات تنها سه محور حرکت در مسیر مستقیم دارد. بازوی ربات در این حالت یک بازوی افقی می باشد که به یک محور عمودی متصل شده است. به عبارت دیگر محورهای حرکت بازوی ربات، در جهات مختصات کارتزین می باشد. این سیستم چند عیب به قرار ذیل دارد :

- برای بردن بازو به نقطه هدف الگوریتم پیچیده ای لازم می باشد.

- ربات نمی تواند به اجسامی که در سطح پایین تر از خود قرار دارند، دسترسی داشته باشد.

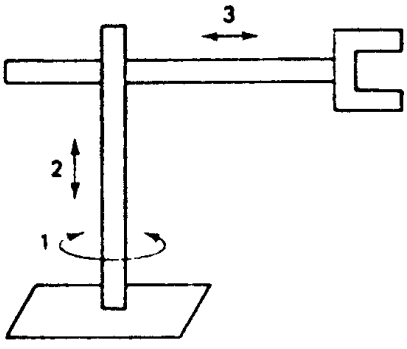
- سرعت انجام کارها در این مختصات به مراتب کمتر از رباتهایی است که براساس چرخش زاویه کار می کنند. در شکل ۷ این مختصات را مشاهده می کنید.



شکل ۷ : ربات کارتزین

۲-۴-۵- مختصات استوانه ای (Cylindrical - Coordinate)

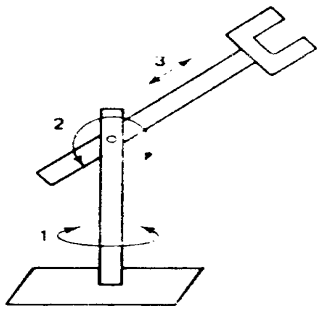
در این سیستم، ربات دو محور خطی و یک محور چرخشی دارد. به طوری که هر نقطه در مختصات ربات با سه مؤلفه زاویه، شعاع و ارتفاع تعریف می شود. ترکیب یک بازوی افقی با یک بازوی عمودی که قادر به چرخش می باشد، این سیستم را تشکیل می دهد. و بدین ترتیب بازوی افقی هم در مسیر مستقیم می تواند حرکت کند و هم به دور محور عمودی به چپ یا به راست بچرخد. توجه داشته باشیم که گرچه سیستم چرخش بسیار کاراتر از سیستم کارتزین می باشد ولی رسیدن به چنین سیستمی کار سختی می باشد. گشتاور لازم برای یک مفصل بستگی به محل و سرعت و شتاب مفصل و حتی بعضی مواقع به وضعیت مفصلهای دیگر، دارد. شکل ۸ این مختصات را نشان می دهد.



شکل ۸ : ربات استوانه ای

۳-۴-۵- مختصات کروی (Spherical - Coordinate)

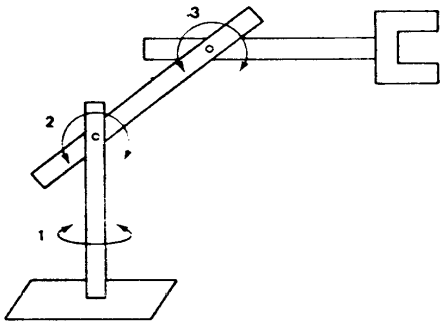
در این سیستم دو محور چرخشی و یک محور خطی داریم. سیستم به عوض حرکت در مسیر مستقیم عمودی، یک حرکت چرخشی عمودی دارد و محیط کاری بازو یک بخش به شکل قطاع می باشد. شکل ۹ این مختصات را نشان می دهد.



شکل ۹ : ربات کروی

۴-۴-۵- مختصات لولایی (دورانی) (Articulated - Coordinate)

این مختصات متشکل از سه قطعه متصل به هم است که شبیه بازوی انسان می باشد و در سرعتهای زیاد به خوبی کار می کند و دارای انعطاف پذیری بالایی می باشد. این سیستم ها در ابعاد کوچک و متوسط و بزرگ به راحتی قابل تولید می باشند. ضعف عمده این سیستم ها کمی دقت آنهاست به طوری که جمع خطاهای مفصل منجر به بیراهه بردن بازوی آخر می شود. شکل ۱۰این مختصات را نشان می دهد. بطور خلاصه، نحوه استفاده از این اتصالات و نحوه ترکیب آنها در سه محور اصلی، که نمایش دهنده هندسه محیط کاری ربات است، در جدول ۲ ارائه گردیده است.



شکل ۱۰ : ربات دورانی

Robot	Axis1	Axis2	Axis3	Total revolute
Cartesian	P	P	P	۰
Cylindrical	R	P	P	۱
Spherical	R	R	P	۲
SCARA	R	R	P	۲
Articulated	R	R	R	۳

.P = prismatic; R = revolute

جدول ۲ : هندسه حرکت براساس محورهای اصلی

۵-۵- طبقه بندی از نقطه نظر کنترل حرکت

رباتها نسبت به کاربردی که دارند می توانند طوری ساخته شوند که با یک طراحی مکانیکی و یا با استفاده از برنامه نویسی کامپیوتری قابل کنترل باشند. کنترل ربات به دو شکل زیر انجام پذیر می باشد:

- کنترل غیر سرو مکانیزم

- کنترل سرو مکانیزم

۱-۵-۵- کنترل غیر سرو مکانیزم (Non - Servo Control)

این رباتها با اسامی دیگری چون Open Loop یا End Point Robot یاPick and Place Robot یا Bang – Bang Robot نیز شناخته می شوند. در این ربات ها، کنترل ربات در نقطه توقف انجام می گیرد و نه در مسیر حرکت. در زمان حرکت سنسورها بهیچوجه فعال نمی شوند حد نهایی حرکت در هر محور قابل تنظیم شدن به وسیله موانع مکانیکی است و هیچ دستور کنترل به محورها صادر نمی شود. هر یک از محورهای این نوع رباتها یک حد مکانیکی ثابتی در انتهای حرکتشان دارند. رباتهای نسل اول که دارای یک چنین کنترلی می باشند محدود به حرکات کوچک هستند و بیشتر برای کارهای صنعتی از جمله جابجا کردن قطعه ای از یک نقطه به نقطه دیگر به کار برده می شود. سنسورها معمولاً به فرم سوئیچ حدی می باشد که متصل به هر کدام از محورهای حرکتی می شوند و در ضمن قابل میزان کردن هستند تا حداقل و حداکثر میزان حرکت را مشخص نمایند و توجه داشته باشید تنها در نقطه انتهایی قابل کنترل شدن هستند و در نقاط مابین کنترلی وجود ندارد. اینگونه رباتها چند خاصیت مهم به قرار ذیل دارند :

- به خاطر اینکه کل توان به محرکهای محور اعمال می شود، سیستمهای ارزانی بوده و برای برنامه ریزی و نگهداری عملیات ساده به کار می روند.

- سیستم های قابل اطمینانی می باشند.

- سرعت نسبتاً بالایی دارند.

- از نقطه نظر برنامه نویسی، برنامه قابلیت انعطاف کمتری دارد.

- در هر زمان اغلب یک محور حرکت می کند و در نتیجه بازوها نمی توانند همزمان به یک نقطه خاص برسند.

- از نقطه نظر موقعیت و قابلیت جابجایی انعطاف پذیری زیادی ندارند.

۲-۵-۵- کنترل سرو مکانیزم (Servo Controlled)

این رباتها توسط موتورهای سرو مکانیزم رانده می شوند. سیگنال رانش تابعی از محـل و موقعیت فرمـــان با میزان موقعیت اندازه گیری شده واقعی می باشد. چنین سیستمی قادر به توقف یا حرکت از میان یک سری نقاط عملاً نامحدود در ترتیب اجرای برنامه می باشـد. ترتیب عملیات برای سیستم ربات با کنترل سرو مکانیزم به قرار ذیل می باشد :

- در آغاز برنامه، موقعیت اولین نقطهٔ برنامه ریزی شده از حافظه خوانده می شـود. همچنین موقعیت فعلی محورهای بازوی مکانیکی از طریق سیستم فیدبک سنسور انـدازه گیری می شود.

- برای هر مفصل دو مقدار بدست آمده از نقاط مطلوب و فعلی مقایسه مـی شـود. مقدار اختلاف که به سیگنال خطا معروف است تقویت شده و همانند سیگنال فرمان بـرای تحریک هر محور ارسال می گردد.

- پروسه فوق تا زمانیکه سیگنال خطا در تمام محورها به صفر برسد، انجام می گیرد و در این حالت جریان انرژی به محرکها قطع می شود.

- کنترلر مرکزی نقطه بعدی را از حافظه بدست آورده و برنامه فوق تا زمانیکه ربات به کل نقاط از پیش تعیین شده برسد، انجام می گیرد.

در این سیستم کنترلی می توان به دو صورت کنترل مسیر کرد که عبارتند از :

- کنترل نقطه به نقطه (P.T.P)

- کنترل مسیر پیوسته (Continuos Path)

۱-۲-۵-۵- روش کنترلی نقطه به نقطه (Point to Point)

زمانی که مسیر بین دو مکان موردنظر که به وسیله عامل نهایی ربات طی می شود مهم نباشد، کنترل P.T.P مورد استفاده قرار می گیرد. با استفاده از تکنیک کنترل P.T.P، ربات طوری برنامه ریزی می شود که فقط به مکان موردنظر رسیده بدون آنکه مسیر طی شده دارای اهمیت باشد. معمولاً مسیری را که ربات بدین صورت طی می کند بستگی به سینماتیک هندسی ربات دارد.

در این روش ربات برای حرکت از یک نقطه به نقطه دیگر توسط کاربر برنامه ریزی می‌شود. عامل نهایی ربات به نقطه ای که با یک عدد مشخص می شود حرکت می کند. وقتی به نقطه موردنظر رسید توقف کرده و پس از انجام کار مربوطه اش به نقطه دیگری حرکت می کند. سیکل فوق تا اتمام کل کار ربات ادامه می یابد. موارد کاربرد این سیستم در جوشکاری نقطه ای و یا در انتقال و جابجائی قطعات می باشد.

سه نوع کنترل P.T.P وجود دارد که عبارتند از :

۱- متوالی (Sequential)

۲- ناهماهنگ (UnCoordinated)

۳- هماهنگ نهایی (Terminaly Coordinated)

در هر سه نوع کنترل، نحوه کنترل مشترک بوده و مسیر طی شده توسط عامل نهایی مورد نظر نیست و تنها مکان شروع و مکان پایان حرکت عامل نهایی در مرکز اطلاعاتی کامپیوتر بایگانی می شود. مسیر واقعی توسط یکی از این سه نوع کنترل طی می شود. ساختار پیاده سازی برای این گونه رباتها به روش ذیل است :

هر یک از محورهای حرکت با هر سرعتی که می توانند داشته باشند به طرف نقطه تعیین شده حرکت می کنند (بی آنکه کنترل در مسیر حرکت وجود داشته باشد) به عبارت دیگر سرعت مفصلها بسته به نظر کاربر تغییر می کند. در این حالت ماکزیمم زمان برای طولانی

ترین حرکت محوری حساب شده و پایه ای برای تنظیم سرعت محورهای دیگر می گـردد. نمونه ای از این سیستم ها، جوشکاری بـا جریـان الکتریکـی مـی باشـد. بـه طـوری کـه الکترودهای متصل به T.C.P ربات قطعاتی را که قرار است جوش داده شوند گرفته و جـوش می دهد و سپس به نقطه دیگر رفته و این کار را مجدداً انجام می دهد.

۲-۲-۵-۵- روش کنترلی مسیر پیوسته (Continous Path)

در این سیستم ربات وظیفه خود را در موقع حرکت محورها انجـام مـی دهـد. در عمـل کلاسی از کاربردها وجود دارد که در آن حرکت در مسیر پیچیده و با سرعت بالا برای بـازو اهمیت دارد و ابزار انجام کار بسیار سبک می باشد ولی حرکـت لازم بـرای انجـام وظـایف بسیار پیچیده است (کارهایی نظیر جوشکاری و رنگ پاشی). روش فوق کیفیت بـالاتری در دقت و قابلیت تکرار عمل ربات ارائه می دهد و حرکت تقریبی در مسـیر تعیـین شـده بـه وسیله عامل نهایی صورت می گیرد. استفاده از این نوع کنترل باعث کم شدن سرعت ربات می شود. کم شدن سرعت ربات باعث اقتصادی نبودن این نحوه کنترل نسـبت بـه کنتـرل نقطه به نقطه است. لذا رباتهای CP برای تعداد محدودی از کاربردها بکار بـرده مـی شـوند. روش یاددهی در این گونه رباتها بدین ترتیب است که نقاط مختلـف را بـر پایـه زمـانی در حافظه ضبط می کنند. برنامه نویس در حقیقت با در دست گرفتن ربات به صورت فیزیکی و هدایت آن در مسیر موردنظر، نقاط مختلف را ثبت و ضبط می کند. سرعت نمونه گیری بـه حد کافی بالا می باشد تا یک حرکت تمیز شکل گیرد. یک حافظه بالا برای این کار لازم می باشد. قبل از اجرای برنامه، ربات بایست از تمام نقاط اطلاع داشته باشد. محورهای حرکـت ممکن است به صورت همزمان هر کدام با یک سرعت بخصوصـی تحـت نظـارت کـامپیوتر

کنترل کننده، حرکت کنند. کنترلر مسیر حرکت بازوها را مدام در فواصل ثابت زمانی با درون یابی تعداد معینی از نقاط حرکت و با دخالت موقعیت فعلی هر محور محاسبه می کند.

۶- مشخصات ربات

اگرچه عموماً توسط روشهای گفته شده رباتها طبقه بندی می شوند، اما مشخصات دیگری نیز برای انتخاب ربات وجود دارند که در جدول ۳ ارائه شده است.

Characteristic	Units
Number of axes	—
Load carrying capacity	kg
Maximum speed, cycle time	mm/sec
Reach and stroke	mm
Tool orientation	deg
Repeatability	mm
Precision and accuracy	mm
Operating environment	—

جدول ۳ : مشخصات ربات

۱-۶- تعداد محورها

معمولاً محورهای اصلی وضعیت و محل مچ ربات را تعیین می کنند، در حالیکه محورهای دیگر برای تعیین جهت دست ربات مورد استفاده قرار می گیرند. از آنجایی که ربات در فضای سه بعدی کار می کند، عموماً شش محور برای حرکت دست و جهت گیری دلخواه آن در فضای کار استفاده می شود. برای عبور از موانع در فضای کار یا اجتناب از شکل هندسه ای نامطلوب بیش از شش محور استفاده می شود.

۲-۶- ظرفیت حمل بار و حداکثر سرعت (Payload and Velocity)

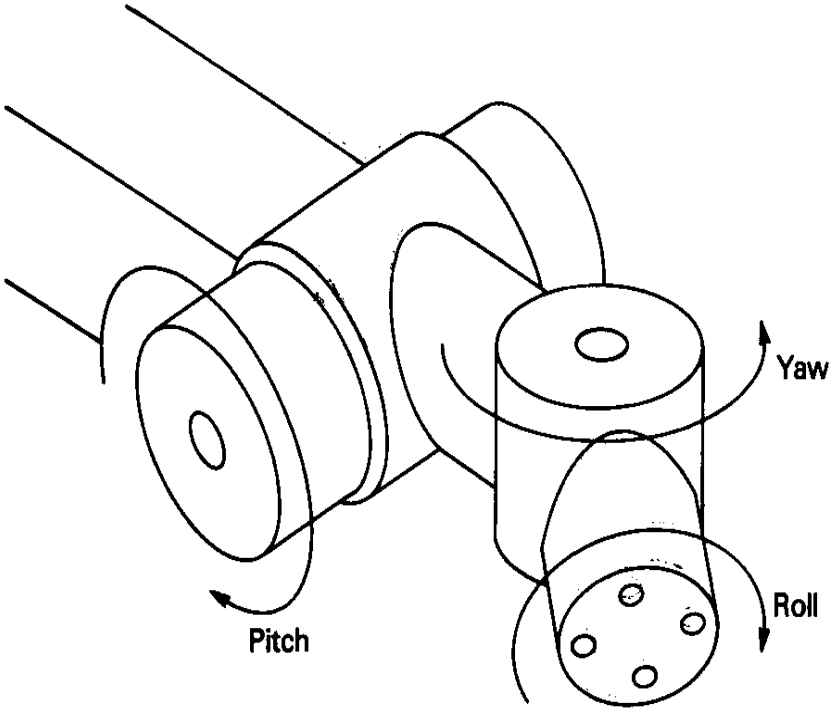
قابلیتی را که در آن ربات بتواند به طور پیوسته یک حداکثر وزن را در سرعت تعیین شده حمل نماید را ظرفیت حمل بار ربات می گویند. حداکثر سرعتی را که انتهای بازوی مکانیکی در حالت بی باری می تواند حرکت نماید را سرعت ربات نامیده می شود.

۳-۶- دسترسی و تحریک (Reach and Stroke)

دسترسی افقی را اصطلاحاً حداکثر فاصله دست ربات از محور عمودی پایه که ربات حول آن می چرخد گویند. تحریک افقی، کل فاصله ای است که مچ ربات می تواند انتقال یابد. بنابراین دسترسی افقی منهای تحریک افقی معرف حداقل فاصله مچ ربات از محور پایه است. فاصله دسترسی عمودی حداکثر ارتفاعی است که دست ربات می تواند به آن سطح کار برسد. همچنین تحریک عمودی کل فاصله ای است که مچ ربات می تواند عمودی حرکت کند.

۴-۶- جهت گیری دست

محورهای فرعی، جهت قرار گرفتن دست را مشخص می نمایند و توسط این سه محورجهت گیری آزادانه دست ربات در فضای سه بعدی امکان پذیر می شود. برای تعیین جهت دست ربات از سیستم YPR **استفاده می شود که بنا به قرارداد، گردش حول محور** X **را** Yaw**، پیچش حول محور** Y **را** Pitch **و چرخش حول محور** Z **را** Roll **می نامند.(شکل ۱۱)**



شکل ۱۱ : جهت های Roll، Pitch ،Yaw

۵-۶- قابلیت تکرار و دقت (Accuracy and Repeatability)

دقت ربات نشان دهنده قابلیت بازوی مکانیکی می باشد که عامل نهایی را به محض گرفتن دستور در

یک موقعیت تعریف شده در فضا قرار می دهد و تـــــــکرار قابلیت ربات را نشان می دهد که بتواند به

طور یکنواخت و همیشگی به نقاط تعریف شده مراجعت نماید.

۷- مشخصات رباتهای صنعتی

مشخصات تعدادی از رباتهای تجاری و صنعتی در پیوست یک ارائه گردیده است.

۸- سیستم های انتقال قدرت

چرخ دنده ها، تسمه ها و زنجیرها سیستمهای انتقال قدرت ربات را تشکیل می دهند که هر کدام کاربرد ویژه خود را دارند. مهمترین وظیفه این قطعات انتقال نیرو می باشد. برای حرکت بازوی مکانیکی و انتقال انرژی به قسمتهای مختلف ربات بایستی از این سیستمها استفاده کرد. مهمترین وظیفه این قطعات آنست که انرژی را از یک منبع تولید کننده آن به بازوی مکانیکی انتقال دهند.

۸-۱- انواع چرخ دنده ها

معمول ترین روش برای انتقال نیرو از یک تولید کننده نیرو به هر قسمت دستگاه استفاده از چرخ دنده است. چرخ دنده ها در اندازه های مختلف و با تعداد دندانه های مختلف ساخته شده اند. سرعت موتورهای متحرک معمولاً برای حرکت بازوی بسیار زیاد است. این بدان معنی است که بایستی بوسیله چرخ دنده سرعت آنها را کاهش داد. چرخ دنده ها می توانند برای افزایش یا کاهش سرعت مورد استفاده قرار گیرند. آنها قادرند که حرکت دورانی را به حرکت دورانی یا انتقالی و بالعکس تبدیل کنند. گیره ها نیز برای حرکتشان از چرخ دنده هایی در اندازه های متفاوت برای انتقال نیرو و انجام حرکت موردنظر استفاده می کنند.

۱-۱-۸- چرخ دنده های ساده یا صاف (Spur Gears)

وقتی چند چرخ دنده در کنار هم قرار داده شوند قابلیت انتقال نیرو دارند، این عمل برای تغییر جهت حرکت و یا تغییر سرعت محور اصلی است. چرخ دنده های ساده برای انتقال حرکت از محورهای موازی بکار می روند و دنده های آنها با محورشان موازی است.

۲-۱-۸- چرخ دنده های حلزونی (Worm Gears)

از این چرخ دنده به منظور :

۱- کاهش دور به میزان قابل توجه

۲- انتقال توان به میزان قابل توجه

استفاده می شود. چرخ دنده های حلزونی معمولاً برای به حرکت درآوردن پایه اصلی ربات بکار می روند. این چرخ دنده ها برای انتقال حرکت بین دو محور متنافر بکار می روند. این چرخ دنده طوری طراحی شده است که بتواند جهت حرکت را تغییر دهد.

چرخ دنده های حلزونی برای تبدیل حرکت

پیچشی یا چرخشی به حرکت چرخشی درست شده اند.

۳-۱-۸- چرخ دنده های مارپیچ (Helical Gears)

که به دو صورت مارپیچ ساده و مارپیچ متقاطع ساخته می شوند.

۴-۱-۸- چرخ دنده های مخروطی (**B**evel Gears)

چرخ دنده های مخروطی که به شکل مخروط ناقص می باشند، برای اتصال محورهایی که متقاطع هستند بکار می روند.

چرخ دنده های مخروطی را می توان به گونه زیر طبقه بندی کرد،

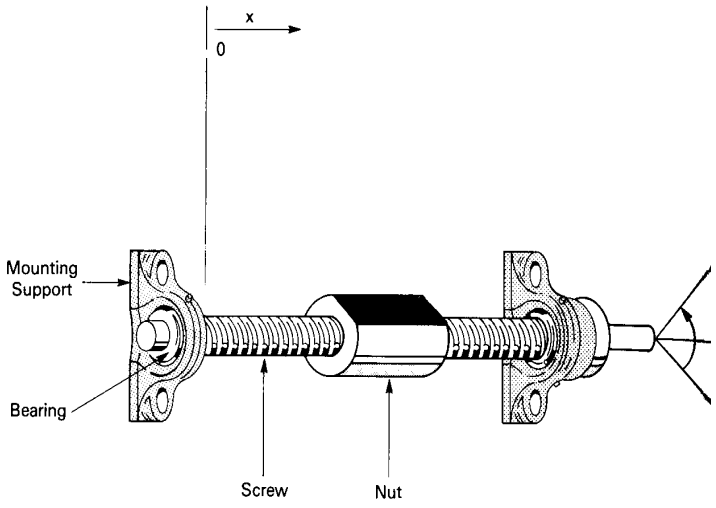
- **چرخ دنده های مخروطی دنده راست** (Straight)
- **چرخ دنده های مخروطی مارپیچ** (Spiral)
- **چرخ دنده های مخروطی صفر** (Zerol)
- **چرخ دنده های هیپوئید** (Hypoid)
- **چرخ دنده های اسپیروئید** (Spiroid)

معمولاً چرخ دنده هایی که دندانه های صاف دارند بیشترین مورد استفاده را دارند. چرخ دنده های مخروطی دنده راست در اندازه های بسیار گوناگون موجود هستند و ساخت آنها از هرگونه چرخ دنده مخروطی دیگر ارزانتر است. چرخ دنده های مخروطی مارپیچی دارای دندانه های خمیده اند. چرخ دنده های مخروطی مارپیچ جهت سرعتهای بیشتر (نسبت به دنده راست) و در جائیکه میزان صدا اهمیت داشته باشد، بکار می روند. بارهای محوری مجاز برای چرخ دنده های مخروطی صفر، به اندازه این بارها در چرخ دنده های مخروطی مارپیچ بزرگ نیست و از این رو آنها را معمولاً بجای چرخ دنده های مخروطی دنده راست بکار می برند. چرخ دنده های هیپوئید برای محورهای متنافر به کار می روند. چرخ دنده های هیپوئیدی خیلی آرامتر و نرمتر از چرخ دنده های مخروطی مارپیچی کار می کنند. مقدار تنافر چرخ دنده هیپوئید کوچک است. برای مقدار تنافر بیشتر، از چرخ دنده اسپیروئید (حلزونی مخروطی) استفاده می شود. چرخ دنده های مخروطی در رباتهایی کاربرد دارند که حرکتی با زاویه ۴۵ یا ۹۰ را باید انتقال دهند. چرخ دنده هایی که دارای

دندانه های منحنی وار هستند بیشتر از دندانه های معمولی قابلیت حمل بار و انتقال نیرو را دارند.

۸-۲- پیچهای هدایت (جلوبر) (Lead Screw)

پیچهای هدایت بسیار سخت اند و قادرند بارهای خیلی بزرگ را تحمل کنند. همچنین می توانند حرکت دورانی را به حرکت خطی تبدیل کنند. در اینجا دنده های مهره مستقیماً بر روی دنده های پیچ حرکت می کند. مهمترین مشکل در این سیستم مقدار اصطکاک تولیدی و فرسایش است همچنین دقت این وسایل کم می باشد، (شکل ۱۲).

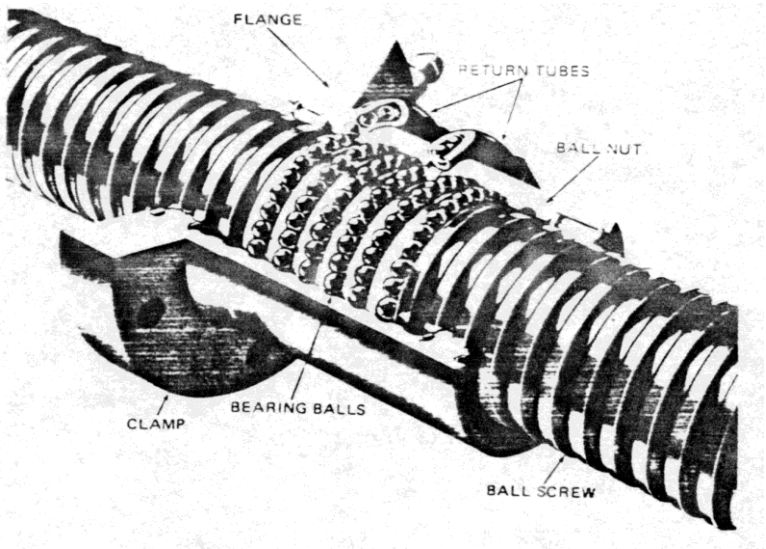


شکل ۱۲ : پیچ هدایت

۸-۳- پیچهای ساچمه ای یا بلبرینگی (Ball Screw)

این سیستم ها که حرکت دورانی را به حرکت خطی تبدیل می کنند. شبیه پیچهای هدایت اند. ما در آنها به جای تماس مستقیم دندانه های پیچ و مهره با یکدیگر، تعدادی

بلبرینگ بین دندانه ها قرار می گیرند، این نوع وسایل، اصطکاک بسیار نـاچیزی دارنـد در حالیکه دقت بسیار بالایی دارند، (شکل ۱۳).



شکل ۱۳: چرخ دنده ساچمه ای

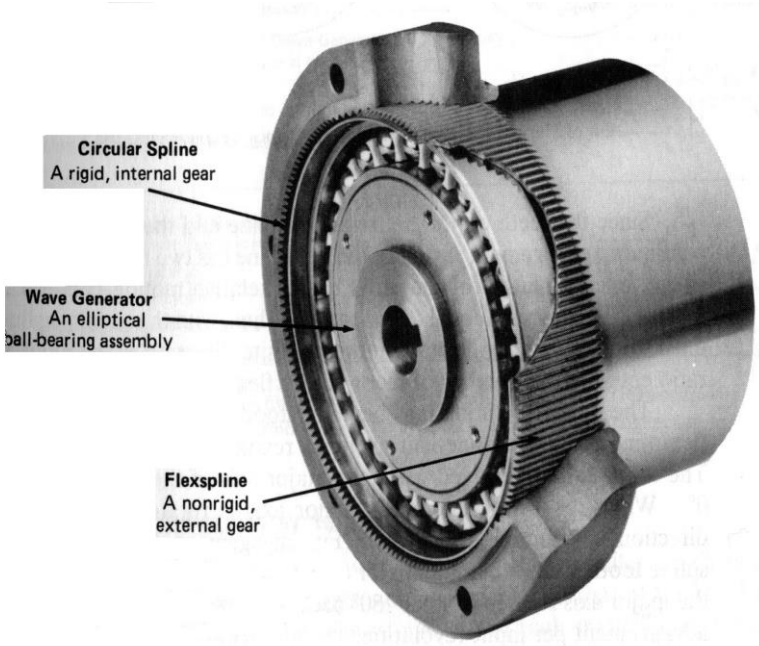
۴-۸- محرکهای منظم (Harmonic Drives)

این محرکها برای افزایش کارایی و کاهش سرعت انتقال دهنده ها در ربات ساخته شـده اند. این محرکها از سه قسمت عمده تشکیل شده اند، (شکل ۱۴-۲)

۱- حلقه دایره ای (Circular Spline) **: یک حلقه صلب و سخت است که سطح داخلـی آن دندانه دار می باشد و می تواند ثابت و یا دارای حرکت چرخشی باشد.**

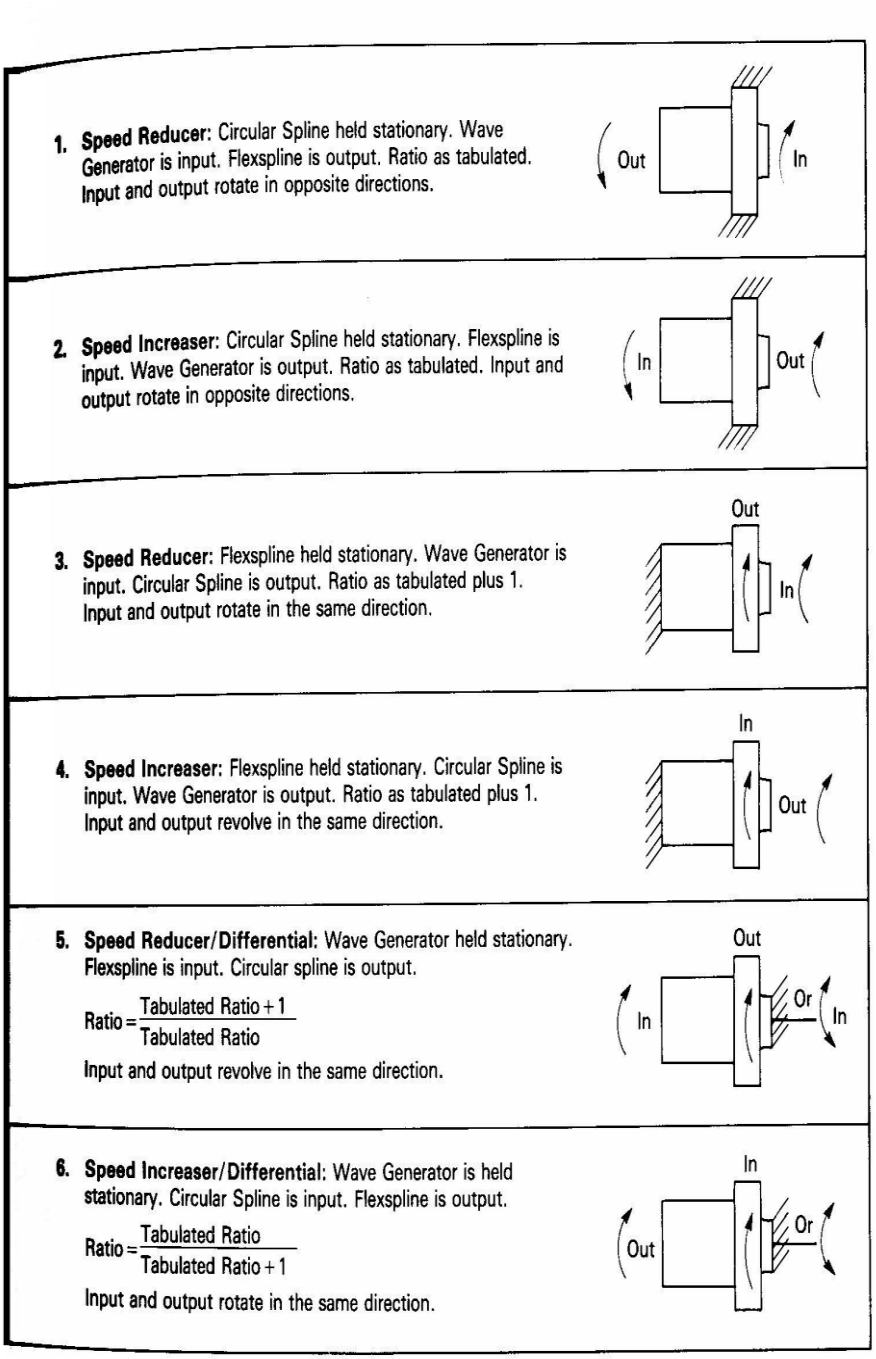
۲- مولد موجی (Wave Generator) **: یک بلبرینگ بیضی شکل است که بر روی یـک محور سوار شده است و دارای حرکت دورانی است.**

۳- حلقه انعطاف پذیر (Flexspline) **: یک حلقه نازک انعطاف پذیر اسـت کـه سـطح خارجی آن دندانه دار است. تعداد دندانه ها و قطر دایره گام کمتر از حلقه دایـره ای اسـت. این حلقه می تواند ثابت و یا دارای حرکت چرخشی باشد.**



شکل ۱۴ : محرک منظم

مقدار و نسبت کاهش سرعت در این وسیله بواسطه تعداد دندانه های حلقه ها و اختلاف دندانه های بین این دو مشخص می شود. برای مثال اگر حلقه دایره ای دارای ۴۰۰ دندانه و حلقه انعطاف پذیر دارای ۳۹۸ دندانه باشد نسبت آنها برابر ۴۰۰/۲ یا ۲۰۰/۱ است. بنابراین قابلیتهای این وسیله فقط به وسیله تعداد دندانه های موجود در دو حلقه طبقه بندی می شود. یکی از بزرگترین مزیتهای این نوع محرک این است که کمترین فضای خالی بین دندانه ها را دارد. این خود به تنهایی باعث بالا رفتن دقت ربات و کارآیی آن می شود. شکل ۱۵عملکردهای مختلف این وسیله را نشان می دهد.



شکل ۱۵ : عملکردهای مختلف محرک منظم

۵-۸- اجزای مکانیکی انعطاف پذیر، تسمه ها

گاهی اوقـــات نمی توان بوسیلـــه چرخ دنده نیروی محرک را به ربات منتقـــل کـــرد و از روشهای دیگر استفاده می کنند. بهترین اجزای مکانیکی بعد از چرخ دنده ها، تســـمه هـــا، کابلها، زنجیره ها و دیگر اجزای انعطاف پذیر یا کشسان ماشینها برای انتقال توان در فواصل

زیاد می باشند. اجزاءانعطاف پذیر را می توان بصورت حلقه بسته یا بصورت درگیر در یک انتها و اعمال کشش دائم بوسیله یک مکانیزم بکار برد. تسمه ها قابلیت انعطاف پذیری دارند و به آرامی نیرو را منتقل می کنند و همچنین می توانند تکانها و لرزشهای وارده در موقع شروع و پایان کار ربات را به خود جذب کنند. ارزان هستند و نیاز به روغنکاری ندارند. تسمه ها دارای محدودیتهایی نیز هستند با اینکه قابلیت انعطاف دارند ولی ساییدگی نیز دارند و دارای عمر کوتاهی می باشند بزرگترین محدودیتهای آنها لغزش است.سه نوع تسمه در رباتها مورد استفاده قرار می گیرند :

۱- تسمه های تخت یا مسطح

۲- تسمه های ذوزنقه ای شکل

۳- تسمه های دندانه دار

۱-۵-۸- تسمه تخت (Flat Belts)

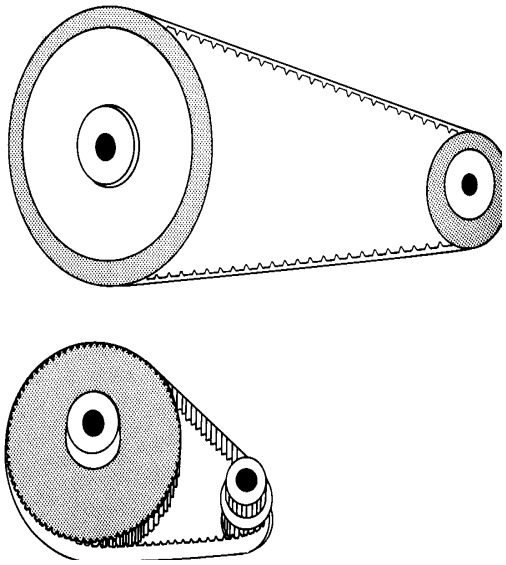
تسمه های تخت، ساکت و در سرعتهای بالا راندمان خوبی دارند و می توانند توانهای زیاد را در فواصل بلند انتقال دهند ولی بیش از حد لغزش دارند. این نوع تسمه جهت حرکت مچ در رباتهای کوچک مورد استفاده قرار می گیرد.

۲-۵-۸- تسمه های ذوزنقه ای یا (V – Beltsv)

تسمه های ذوزنقه ای همانگونه که از اسمشان پیداست بشکل V می باشند و به راحتی درون قرقره شیاردار جای می گیرند. بازده تسمه های ذوزنقه ای، اندکی کمتر از تسمه های تخت است ولی در مقایسه با تسمه های مسطح لغزش کمتری دارند.

۳-۵-۸- تسمه های دندانه دار (Timing Belts)

تسمه دندانه دار نه کش می آید، نه می لغزد لذا، توان را با نسبت سرعت ثابتی انتقال می دهد. بدون نیاز به روانسازکار می کند و بی صدا تر از دستگاه زنجیر و چرخ زنجیر است. این نوع تسمه برای حرکت ربات مورد استفاده قرار می گیرد. همچنین جهت تغییر جهت یا چرخش نیز مورد استفاده قرار می گیرند.



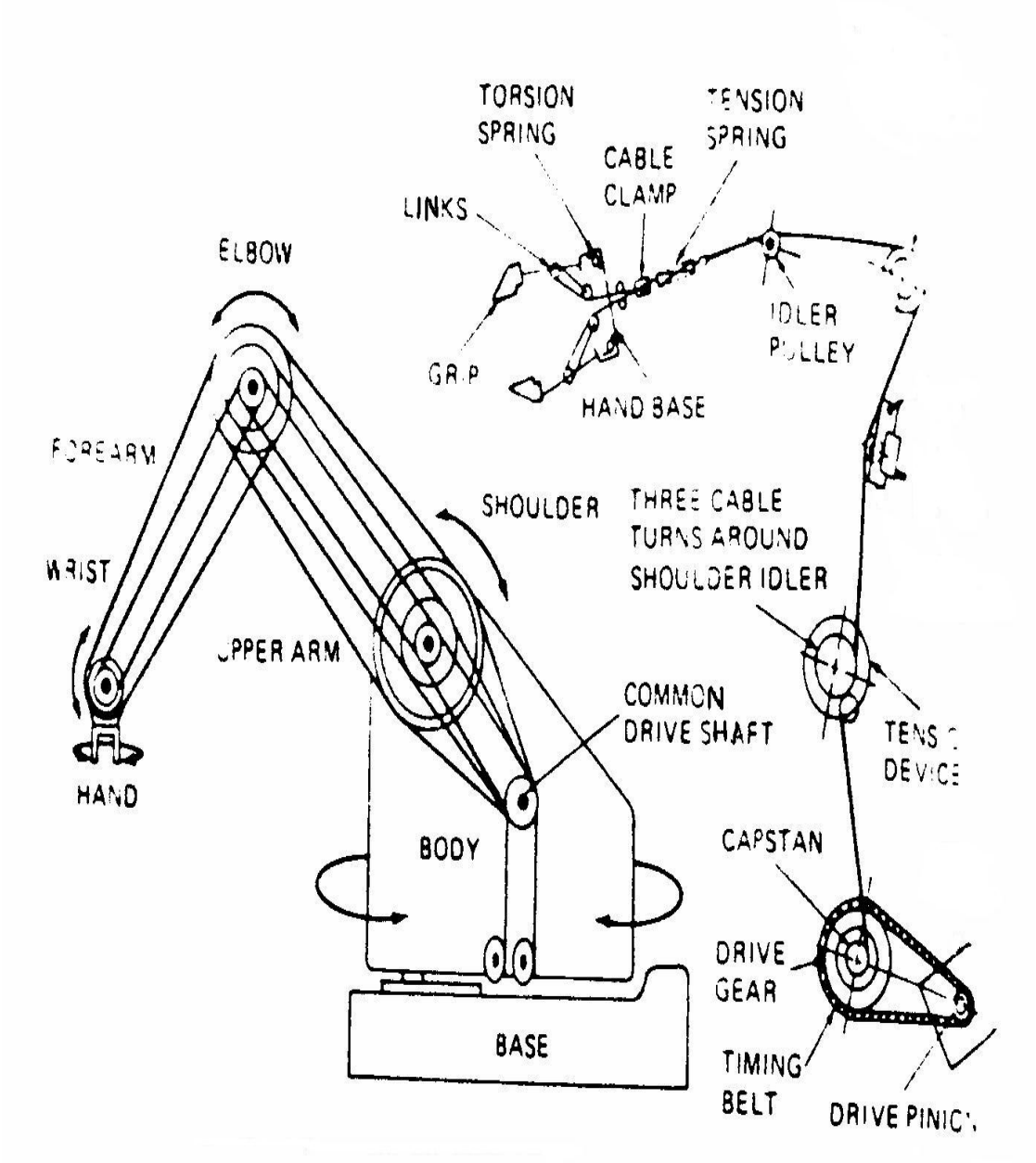
شکل ۱۶: جزئیات ساختار تسمه همزمان

۶-۸- زنجیرها و چرخ زنجیرها

زنجیرها موقعی استفاده می شوند که نتوان از تسمه استفاده کرد و بخواهیم بار زیادی را بدون اینکه لغزشی در کار باشد انتقال دهیم. زنجیرها در مقایسه با تسمه ها عمر طولانی تری دارند اما درجه انعطاف پذیری کمتر و صدای بیشتر، از محدودیتهای آنها است. همچنین نیاز به روغنکاری دارند.

۷-۸- کابل یا طناب سیمی (Cable Or Wire Rope)

یکی دیگر از اجزاء انتقال حرکت، کابلها می باشند. شـکل ۱۷، نمونـه ای از کـاربرد ایـن انتقال دهنده در ربات نشان می دهد.



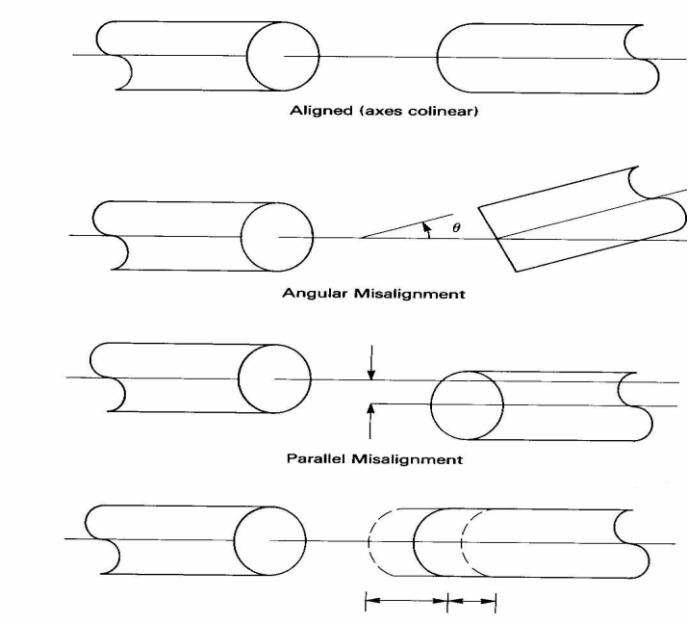
شکل ۱۷: انتقال دهنده کابلی

۸-۸- کوپلرها (Couplers)

کوپلرها جهت اتصال محورها به یکدیگر مورد استفاده قرار می گیرند. اگرچه کوپلرها در شکلها و اندازه های مختلف ساخته شده اند، اما عموماً جهت اتصال محورهای غیر هم مرکز مورد استفاده قرار می گیرند (شکل ۱۸).

۸-۹- بادامک ها (Cams)

بادامک یکی از اجزای ماشین است با شکلی بی قاعده که به عنوان میله محرک عمل می کند و



شکل ۱۸: محورهای غیر هم مرکز

حـرکت را به یک میله متحرک به نام پیـرو ، که روی بادامک دارای لغزش یـا غلتـــــش است، انتقال می دهد، (شکل ۱۹). برخی از متداولترین انواع بادامکها عبارتند از :

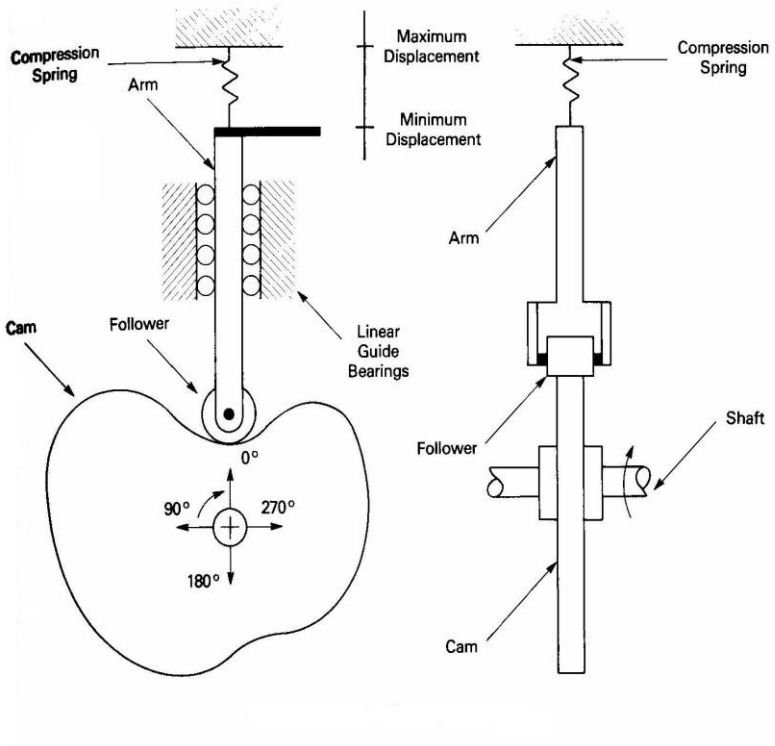
۱- بادامکهای تخت (Disk Cam)

۲- بادامکهای انتقالی (Translation Cam)

۳- بادامکهای استوانه ای (Roller Cam)

۹- مچ ها

واصل بین عامل نهایی و بـــازوی مکانیکی مچ ها هستند کـــه حـداکثر دارای ۳ درجـــه آزادی هستند. هر درجه آزادی نیاز به یک محرک مربوط به خود دارد. در رانش مستقیم ، محرک روی مـچ سوار می شود در حالیکه در رانش دور دست ، نیـرو از طریـق انتقـال دهنـده هـا منتقـل میشـود. از مشخصه های مهم مچ، فشردگی مچ ، وزن، سختی مکانیکی، سرعت و فضای کاری هستند. فشـردگی از آن جهت مهم است که نسبت به دیگر قطعات باید در حداقل اندازه باشد و وزن، حد مجاز حمل بار توسط ربات را محدود می سازد.



شکل ۱۹ : بادامک

۱-۹-۲- پیکربندیهای مچ

"Ted Stackhouse" پیکربندیهای معمول مچهای ۲ و ۳ محور را در ۶ گروه مطابق جدول ۴ ارائه کرده است.

Group	Wrist Axes	Wrist Orientation of Payload
1	Roll-roll	Pitch & yaw or pitch & roll
2	Bend-roll	Pitch & roll
3	Bend-bend-roll	Pitch, yaw, & roll
4	Bend-roll-roll	Pitch, yaw, & roll
5	Roll-bend-roll	Pitch, yaw, & roll
6	Roll-roll-roll	Pitch, yaw, & roll

جدول ۴: پیکربندیهای مچ

این شش گروه در شکل ۲۰-۲ نشان داده شده اند. در این شکل B، به جای Bend، P بجای پیچش (Pitch)، R بجای چرخش (Roll) و Y بجای گردش (Yaw) مورد استفاده قرار گرفته اند.

گروه ۱ و ۲ مچ هایی با ۲ درجه آزادی هستند، که جهت جابجائی اجسام مورد استفاده قرار می گیرند و نسبت به ۳ درجه آزادی محدودتر عمل می نمایند. گروه ۳ که از دو محور B و یک محور دورانی تشکیل شده خود شامل دو زیر مجموعه است. در گروه A3 اولین محور باعث حرکت پیچش و دومین محور حرکت، گردشی را باعث می شود. این طراحی جهت رانش دوردست مناسب می باشد. در ضمن این مچ فضای کاری وسیعی دارد. گروه B3 از دو محور داخل هم جهت حرکتهای پیچش و گردش استفاده می کند. این مچ با فضای کاری وسیع جهت باربرداری های متوسط و زیاد مناسب است.گروه ۴ از محور B

جهت حرکت پیچشی و از محور دورانی برای حرکت گردشی استفاده می کند. محور دورانی انتهای باعث حرکت دورانی می شود. این مچ جهت باربرداری های متوسط و زیاد مناسب است.گروه ۵ از یک محور دورانی برای پیچش، یک محور B برای گردش، بعلاوه یک محور دورانی جهت دوران استفاده می کند. این مچ جهت رانش دوردست مناسب می باشد و فضای کاری آن از هر مچ با ۳ درجه آزادی، محدودتر می باشد. گروه ۶ دارای سه محور با حرکت دورانی می باشد که به آسانی جهت رانش دوردست، قابل استفاده است. گروههای ۵ و ۶ قابل فشرده شدن هستند و جهت باربرداری کم و متوسط مناسب می باشند.

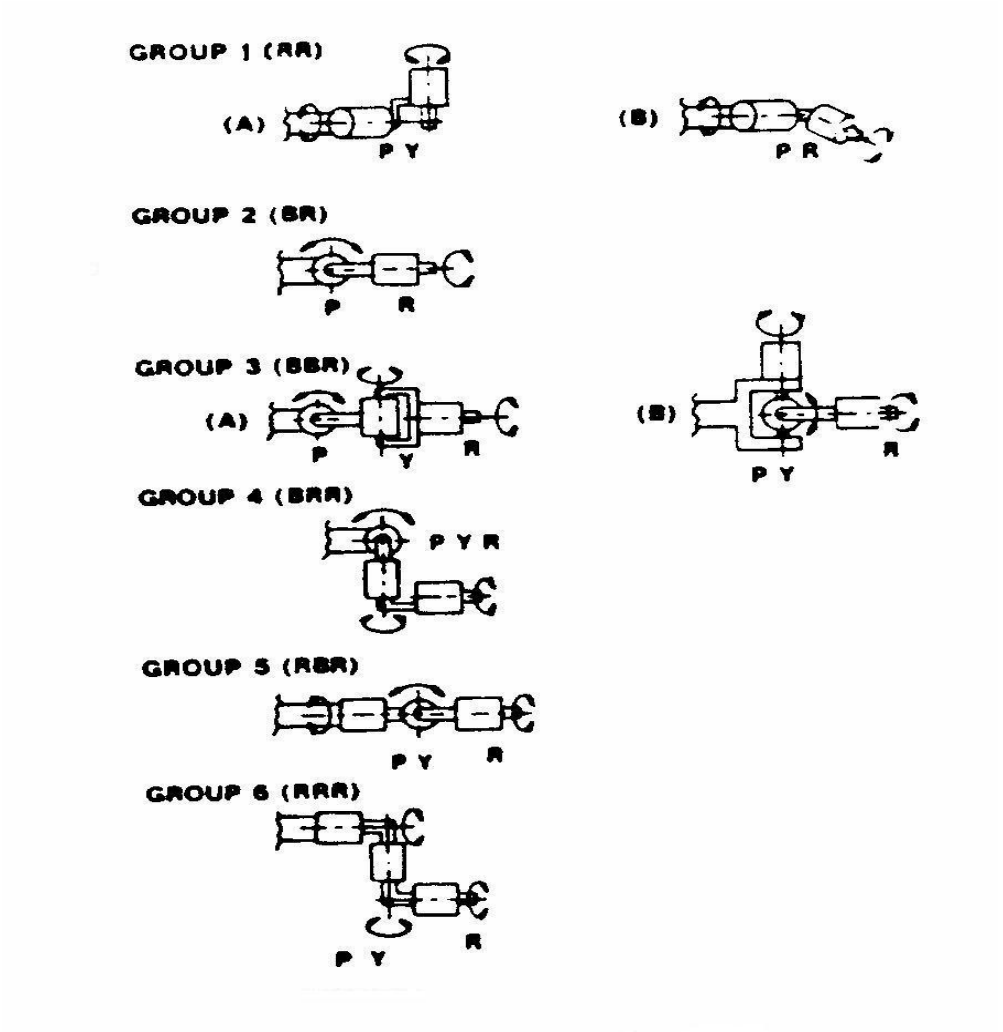
۱۰- عوامل نهایی

از آنجایی که عوامل نهایی یا اثر گذارنده های نهایی موظف به حمل و کار با قطعه کاری می باشند، طراحی و عملکرد مطلوب آنها در موفقیت سیستم های ربات امری حیاتی است. در مواقعیکه این قطعات خوب طراحی نشده باشند، پیشرفت کار را متوقف نموده اند. بسیاری از ابزارآلات معمول، چه آنهایی که با دست کار می کنند و یا با ماشین، می توانند به عنوان عامل نهایی بکار روند به شرط اینکه:

۱- بی دقتی یا تغییرات مشخصه های اشیاء خارجی یا خود بازو را جبران کنند.

۲- دارای انعطاف پذیری در هنگام کار باشند.

عامل نهایی خود به تنهایی باید به عنوان دستگاهی درنظر گرفته شود که اغلب با سنسورها و تحریک کننده های مربوطه خود مجهز می باشد.



شکل ۲۰ : شمای پیکربندیهای مچ

۱-۱۰- گیره ها (Grippers)

به نظر می رسد از جمله مشکلات موجود در ارتباط با طراحی ربات مسئله عوامل نهـایی از همه مهمتر می باشد. طراحی های بسیار زیادی در مورد این قسمت از ربات صورت گرفته است که تقریباً تمامی آنها وظیفه مهندسین مکانیک بوده است. در هر صورت ایــن عوامــل نهایی هستند که کلیه عملیات توضیح داده شده را روی کار انجام می دهند و از اینرو بسیار مهم می باشند زیرا مقصود نهایی تمام اعمال انجام شده را روی هدف به اجرا در می آوردند.

ساخت یک گیره برای یک کار معین قبل از استفاده عملی آن نیاز به آزمایشات متعددی دارد و این امر قیمت آن را بطور قابل ملاحظه ای افزایش می دهد. با استفاده از طراحی بــه

کمک کامپیوتر، قیمت گیـــره تا حد زیادی کاستــه شده و همچنین هزینه تولیــد و زمــان آزمایش آن نیز کم می شود. گیره ای که اشیاء را حمل می کند، بایستی طوری باشد که :

۱- قطعه ها را بگیرد.

۲- جهت شئی را با توجه به هدف نهایی، تنظیم کند.

۳- وضعیت قطعه را نسبت به گیره حس نماید.

قبل از انتخاب یک عامل نهایی موارد زیر باید معلوم باشند :

۱- خصوصیات بازو و بخصوص بار ماکزیمم قابل حمل.

۲- خصوصیات شئی حمل شونده که شامل موارد زیر می شود :

- وزن

- صلبیت

- وضع هندسی، ابعاد و ساختمان

- وضعیت

- جهت موقعیت اولیه و موقعیت نهایی

- سطوح تماس

- نیروهای عمل کننده روی شئی

- شرایط محیطی

۳- تکنولوژی گیره

۴- قابلیت انعطاف گیره، اینکه آیا جابجائی با سرعت زیاد امکان پذیر است یا نه.

۵- هزینـــه و تأخیر در طراحـــی، تولید و آزمــایش از یــک طـــرف و عملکــرد و نگهداری ربات ازطرف دیگر.

بطور کلی عوامل نهایی دارای مشخصات زیر هستند :

۱- دارای یک سیستم در درون خود می باشد، که غالباً پیچیده بوده و بصورت یک ابزار فرمان پذیر عمل می نماید.

۲- غالباً با سنسورهای مشخص مجهز می شوند که قابلیت تنظیم دقیق، آسان و سریع، با توجه

به شرایط موجود را ایجاد می نمایند. این سنسورها در زمینه های زیر اطلاعات کسب می کنند :

- نیروی گیرندگی

- وضعیت عضوهای گیره (انگشتها) نسبت به محور حامل (مچ)

- موقعیت شئی نسبت به بازو

۳- عموماً شامل یک یا چند تحریک کننده می باشد. تحریک کننده ها بر مبنای نیرویی که بایستی انتقال یابد، سرعت حرکت، وزن و اندازه آنها انتخاب می شوند.

۲-۱۰- تقسیم بندی و مقایسه گیره ها

گیره ها را می توان براساس عوامل مختلفی تقسیم بندی نمود.

۱- تقسیم بندی گیره ها براساس نحوه گرفتن جسم

الف - مکانیزمهای گیرنده (Gripping Mechanism)

ب - مکانیزمهای جذب کننده (Pulling Attractives Mechanism)

۲- تقسیم بندی گیره ها براساس نحوه قرار دادن جسم

الف - Relocating End Effectores

ب - Aligning (Centering) End Effectores

ج - Locating End Effectores

د - Fixing End Effectores

۳- تقسیم بندی گیره ها براساس نوع کنترل

الف - عوامل نهایی غیر قابل کنترل (Uncontrollable End Effectores)

ب - عوامل نهایی تحت کنترل (Command Control End Effectores)

ج - عوامل نهایی ردیفی ثابت (Fixed - Sequence End Effectores)

د - عوامل نهایی قابل تنظیم (Adaptable End Effectores)

۴- تقسیم بندی گیره ها براساس تعداد حمل کار

الف - یک موقعیته (Single Position)

ب - چند موقعیته (Multi Position)

۵- تقسیم بندی گیره ها از نظر نحوه اتصال به مچ

الف - غیر قابل جدا شدن (Nonremovable)

ب - قابل جایگزینی (Replaceable)

ج - قابل جدا شدن سریع (Quick - Release)

د - قابل جدا شدن اتوماتیک (Automaticly Removable)

در زیر به اختصار هر یک از تقسیم بندیهای فوق الذکر را مورد بررسی قرار می دهیم.

۱-۲-۱۰- مکانیزمهای گیره

که به دو دسته تقسیم می شود :

۱- انگشتها یا گیره های مکانیکی (Mechanical Fingers)

۱) نوع میله ای (Linkage Type)

۲) نوع چرخ دنده شانه ای (Gear and Rack Type)

۳) نوع بادامکی (Cam - Actuated Type)

۴) نوع پیچی (Screw - Driven Type)

۵) نوع تسمه قرقره (Rope and Pulley Type)

۶) نوع متفرقه (Miscellaneous Types)

2 - گیره های عمومی(Universal Grippers)

۱) گیره قابل تورم (Inflatable Grippers)

۲) سه انگشتی (Three - Fingered)

۳) انگشتهای نرم (Soft Fingers)

گیره های مکانیکی معمولاً برای برداشتن یک یا تعداد کمی قطعه مشابه از نظر شکل، وزن و اندازه در طی یک سری عملیات تکراری که احتیاج به حداقل مهارت دارد، بکار می روند. اما در بسیـاری از کاربردها لازم است گیره ربات قطعات مختلف زیادی (متفـاوت از نظـر وزن، شکل، جنس و اندازه) را بگیرد که در این صورت از گیره های عمومی استفاده می شود.

۳-۱۰- تقسیم بندی گیره ها براساس نحوه قرار دادن جسم

۱-۳-۱۰-۲- Relocating End - Effectores این گروه مکانیزمهایی هستند که توانائی قرار دادن مجدد یک جسم را دارا می باشند. درواقع آنها موقعیت قطعه گرفته شده

را از طریق عملکرد قابل کنترل اجزاء عامل نهایی، تغییر می دهند. آنها دستهایی شبیه دست انسان هستند، همراه با انگشتهای لولا شده قابل کنترل، که براحتی می توانند جسم را توسط آنها حرکت دهند و بچرخانند.

۱۰-۳-۲-Aligning End - Effectores

این نوع گیره موقعیت محور یا صفحه متقارن جسم را محاسبه می کند و در نظر می گیرد. گیره های مکانیکی که فکهای V شکل دارند از این دسته می باشند. بعضی از گیره های عمومی نیز جسم را بدین شکل قرار می دهند.

۱۰-۳-۳- Locating End - Effectores

این نوع گیره ها موقعیت سطح یا سطوح را محاسبه می کنند.

۱۰-۳-۴- Fixing End - Effetores

این نوع گیره موقعیت جسم را در زمان گرفتن و نگهداشتن جسم حفظ می کند.

۱۰-۴- تقسیم بندی گیره ها براساس نحوه کنترل

۱۰-۴-۱- عوامل نهایی غیرقابل کنترل

از این نوع گیره ها می توان به جذب کننده های مغناطیسی دائمی و یا جذب کننده های خلائی فاقد سیستم جدا کننده (برای رها کردن سریع جسم) اشاره کرد. در این نوع نیروی لازم برای جدا کردن جسم از نیروی جذب آن بیشتر است. گیره های مکانیکی غیر قابل کنترل نیز وجود دارند. در هنگام تماس گیره با جسم، اجزاء گیره (انگشتها) از یکدیگر دور

می شوند و در نتیجه امکان صدمه دیدن جسم و انگشتها وجود دارد. درواقع جسم در اثـر عملکرد الاستیک انگشتها نگهداری می شود و در نتیجه تحت تأثیر نیروی اضافی قرار می گیرد.

۲-۴-۱۰- عوامل نهایی تحت کنترل

این نوع از گیره ها صرفاً بوسیله فرمانها عمل می کنند جسم را می گیرند و رها می کنند. گیره هایی که با فنر عمل می کنند را می توان از این دسته بحساب آورد. درواقع باز و بسته شدن فکها احتیاجی به فرمانهای بخصوص از سیستم کنترل ندارد و همچنین منابع خارجی تولید کننده انرژی لازم نمی باشد. در این نوع، فنر، عامل باز و بسته شدن فکها می باشد و جسم وسط فکها نگهداشته می شود. همچنین از یک مکانیزم قفل کننده نیز استفاده مـی شود. یک نوع متداول آن، گیره های انبری می باشد. فکها بواسطه سیسـتم هیـدرولیکی، پنوماتیکی و یا الکتریکی عمل می کنند.

۳-۴-۱۰-عوامل نهایی ردیفی ثابت

این نوع از گیره ها تحت فرمان سیستم کنترل ربات عمل می کنند. حرکت فکها، موقعیت اجزاء و نیروی فشارنده و نگهدارنده می تواند براساس برنامه داده شده تغییر کند. همچنین عملکرد ابزارها و وسایل کمکی نیز قابل کنترل است. برنامه امکان کنتـرل فاصـله فکهـا و امکان کار کردن با قطعات متفاوت (از نظر اندازه و شکل) را فراهم می سازد.

۴-۴-۱۰- عوامل نهایی قابل تنظیم

این نوع وسایل قابل برنامه ریزی بوده و دارای حس کننـــده هـــای متفـــاوت مـــی باشـــند. بوسیله این حس کننده ها، شکل، جرم جسم، نیروی نگهدارنده، لغزش بین انگشتها و جسم (در صورت وجود) محاسبه می شود. درواقع این سنســورها، فیــدبک هــایی هســتند کــه اطلاعات فوق را برای ربات مشخص می کنند و معمولاً گیره بهترین نقطه برای نصب آنها می باشد. طراحی این نوع گیره ها با توجه به نوع کاری که انجام می دهند تغییر می کند.

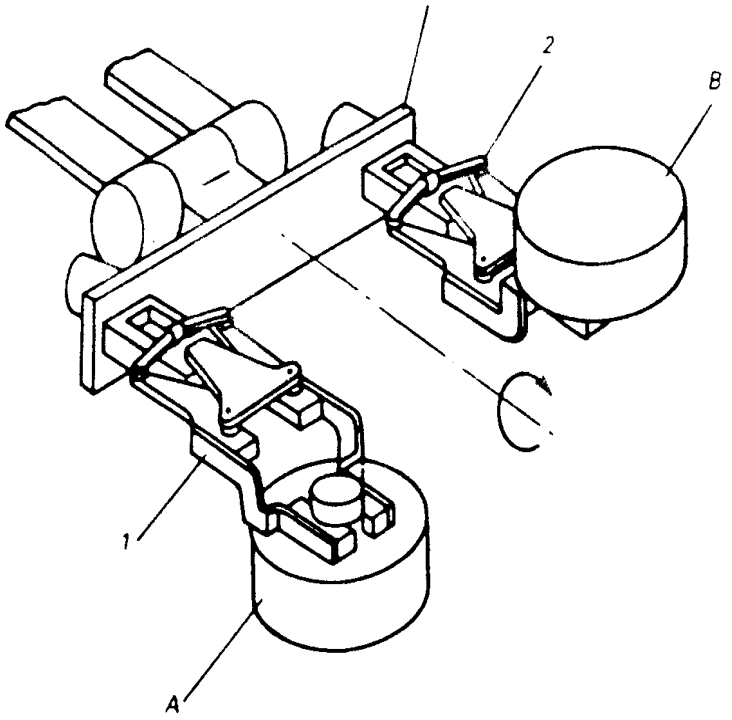
۵-۱۰- تقسیم بندی گیره ها براساس تعداد حمل کار

۱-۵-۱۰- یک موقعیته

این نوع از گیره ها صرفاً یک موقعیت را پوشش می دهند و اکثریت گیره ها از این نوعند.

۲-۵-۱۰- چند موقعیته

یک نمونه از گیره های دو موقعیته در شکل ۲۱-۲ نشان داده شده است. این نوع گیره را می توان به سه دسته تقسیم کرد :



شکل ۲۱ : گیره قابل کنترل

۱-۲-۵-۱۰- عملکرد متوالی (Sequential - Action)

این نوع دارای یک وسیله دو موقعیته است که یکی برای گرفتن و دیگری برای رها کردن جسم می باشد. اجزاء عمل کننده در هر موقعیت بصورت مستقل عمل می کنند.

۲-۲-۵-۱۰- عملکرد موازی (Parallel - Action)

این نوع شامل چندین موقعیت می باشد و بوسیله آن می توان بصورت همزمان چنـــدین قطعه را گرفت و یا رها کرد.

۳-۲-۵-۱۰- عملکرد ترکیبی (Composite - Action)

این نوع از گیره ها دارای چند ردیف از اجزاء عمل کننده موازی می باشند کـه بصـورت مستقل عمل می کنند.

۱۰-۶- تقسیم بندی گیره ها براساس نحوه اتصال به مچ

۱۰-۶-۱- غیر قابل جدا شدن

این نوع از گیره ها مکمل با ساختمان و ترکیب ربات ساخته می شوند و نمی توان آنها را جایگزین کرد.

۱۰-۶-۲- قابل جایگزینی

درواقع گیره یک واحد مستقل می باشد که توسط اتصالاتی بـه مـچ بـازوی ربـات مـی چسبد. این اتصالات اجازه جدا شدن سریع گیره را نمی دهند.

۱۰-۶-۳- قابل جدا شدن سریع

از اجزاء تعویض پذیری هستند که سطوح اتصال آنها اجازه جدا شدن سریع را می دهند.

۱۰-۶-۴- قابل جدا شدن اتوماتیک

در این نوع سطوح اتصـــال به گونه ای طراحی شده انـــد که بصورت اتوماتیک می توان گیره را جدا و یا متصل کرد.

۱۱- خلاصه

الف - برای حمل و نقل قطعات صـیقلی بوسـیله ربـات اسـتفاده از بادکنکهـای خلائـی پیشنهاد می شود. نمونه این قطعات مونتاژ شیشه های اتومبیل است که در بیشتر کارخانـه

هائی که به ربات مجهز شده اند، از این سیستم استفاده می شود. قطعاتی که به تعداد زیاد باید حمل و نقل شوند و همچنین خاصیت مغناطیسی خوبی نیز دارند را می توان بوسیله گیره های مغناطیسی حمل کرد. این گیره ها بدلیل خاصیت مغناطیسی احتیاج به مکان یابی دقیق توسط ربات ندارند و قطعه را به راحتی می گیرند. برای حمل قطعاتی که باید توسط ربات نگهداشته شده و عملیات ماشینکاری روی آن انجام می شود باید از گیره های مکانیکی استفاده کرد. بدلیل اینکه این گیره ها با نیروی بیشتری می توانند قطعه را نگهداری کنند. برای نگهداری قطعاتی که شکل یکسان دارند بهتر است ازگیره هایی استفاده شود که با اهرم قفل شونده عمل می کنند باز شوندگی فک این پنجه ها کم است ولی نیروی بسیار زیادتری نسبت به انواع دیگر می توانند به جسم وارد کنند و در حین کار باز نمی شوند.

ب - اکثر موتورهای محرک نمی توانند بطور مستقیم به محل اتصال ربات برای حرکت دورانی متصل شوند. قدرت اکثر موتورهای محرک به اندازه ای نیست که بتواند بازوی ربات را حرکت دهد، مخصوصاً موقعی که محور موتور مستقیماً به اتصال ربات وصل باشد. اگر موتور محرک به یک انتقال دهنده نیرو وصل باشد و آن انتقال دهنده به بازوی ربات، در این صورت نیروی کافی برای حرکت آن موجود می باشد و همچنین قدرت حرکت باری که ربات بلند کرده را نیز خواهد داشت. معمولاً موتورهای محرک سرعت بالایی برای حرکت انتقال دهنده دارند. موتور با سرعت بالایی ورودی انتقال دهنده را می چرخاند. چرخ دنده ها به عنوان انتقال دهنده، سرعت را کاهش و نیرو را افزایش می دهند و همچنین باعث افزایش گشتاور می شوند. در این صورت خروجی انتقال دهنده دارای سرعت پایین، گشتاور و قدرت بالا می باشد. این سرعت پایین و قدرت بالا برای حرکت دادن بازوی ربات مناسب می باشد.