فصلنامه‌ی علمی و پژوهشی شریف
پاییز ۱۳۸۴، شماره‌ی سی و یکم، ص. ۲۹-۳۷

طراحی و ساخت ربات امدادگر «سدرا» با قابلیت‌های ویژه

علی مقداری (استاد)
فرشید امیری، سیدحنیف محبوبی، امیر لطفی‌گسکری‌محله، علی باغانی،
حسین نجات پیش‌کناری، رضا کریمی و یاسر خلیقی (دانشجویان کارشناسی ارشد)
قطب علمی طراحی، رباتیک و اتوماسیون، دانشگاه صنعتی شریف

این نوشتار روند طراحی و ساخت یک ربات امدادگر با نام «سدرا»[1] را ارائه می‌دهد که از سازوکار میگوشکل بهبود یافته استفاده می‌کند. همچنین ضمن طرح نیازها و مشخصه‌های یک ربات امدادگر، بهبودها و پیشرفت‌های این ربات نسبت به نمونه‌های قبلی آن مورد بررسی قرار می‌گیرد. کلیه‌ی بخش‌های سیستم شامل مکانیک، برق، کامپیوتر و رابط کاربر توضیح داده می‌شوند و نهایتاً با یک آزمایش امداد، کارایی سیستم اندازه‌گیری می‌شود و در مورد آن بحث می‌شود.

مقدمه

هدف این پروژه ساخت یک ربات هوشمند به‌منظور استفاده در عملیات امدادی است. در عملیات امدادی ممکن است شخص امدادگر با توجه به شرایط فیزیکی محیط نتواند به خوبی از تمام قابلیت‌های خود استفاده کند، و در حین جست‌وجوی مصدومین نیز در معرض خطرات مختلفی قرار گیرد. لذا استفاده از یک ربات برای یافتن مصدوم و همچنین یافتن مسیر مناسب برای راهیابی شخص امدادگر به مکان مصدوم نه‌تنها خطر عملیات را برای امدادگر پایین می‌آورد بلکه باعث افزایش دقت و سرعت تیم امدادگر می‌شود.

یکی از عمده‌ترین مشکلات در زمینه‌ی طراحی و ساخت ربات‌های امدادگر، نامنظمی، ناپایداری و غیرقابل پیش‌بینی بودن محیط کاری ربات‌ها است. لذا دستیابی به یک سیستم کنترل با قابلیت اطمینان بالا، و نیز ساخت یک سیستم مکانیکی با قابلیت انعطاف‌پذیری بالا با محیط، اصلی‌ترین ویژگی‌های مورد نظر یک ربات امدادگر است. علاوه بر این شناسایی مصدوم از روی مشخصه‌های انسانی مانند رنگ و بافت پوست، یا علائم حیاتی مانند حرکت اجزای بدن، دمای بدن یا صدای مصدوم نیز از دیگر ویژگی‌های خاص این ربات‌ها هستند.

در همین راستا، قطب علمی طراحی، رباتیک و اتوماسیون «سدرا» ربات‌های مختلفی ساخته است که در این نوشتار یکی از موفق‌ترین این نمونه‌ها به نام «امدادگر سدرا» را که از سازوکار میگوشکلِ بهبود یافته استفاده می‌کند معرفی می‌شود. این ربات از نوع مریخ نورد بوده و در مقایسه با دیگر ربات‌های چرخ‌دار از توانایی‌های ویژه‌یی برخوردار است.

در رده‌بندی ربات‌های سیار، فعال یا غیرفعال بودن سیستم حرکتی یکی از عوامل مهم است. مبنای سیستم حرکتی غیرفعال سیستم تعلیق منفعل است که در آن هیچ حسگر یا عملگر اضافی برای تضمین حرکت پایدار وجود ندارد. از سوی دیگر، یک ربات فعال بر حلقه‌ی کنترلی بسته‌یی دلالت می‌کند که حافظ پایداری سیستم در هنگام حرکت است.

واضح است که سیستم حرکتی فعال قابلیت ربات را گسترش می‌دهد، اما در عین حال پیچیدگی را نیز زیاد می‌کند و نیازمند منابع کنترلی وسیعی است. با این وجود، با سرعت واقعی کنترل کننده‌ها، ایجاد سیستم حرکتی فعال جزو اهداف بسیاری از تحقیقات امروزی است. در ربات‌های خودکار فضایی مصرف انرژی، قابلیت اطمینان و توانایی حرکتی معیارهای عمده و حیاتی‌اند. پیچیدگی زیاد ربات‌های فعال و ضعف بالارفتن در ربات‌های غیرفعال موجود، مشوّق ما در امر تحقیقات بر روی مفاهیم جدید سیستم حرکتی در رووِرهای غیرفعال است. در ادامه انواع سازوکارهای حرکتی ممکن آورده شده‌اند.

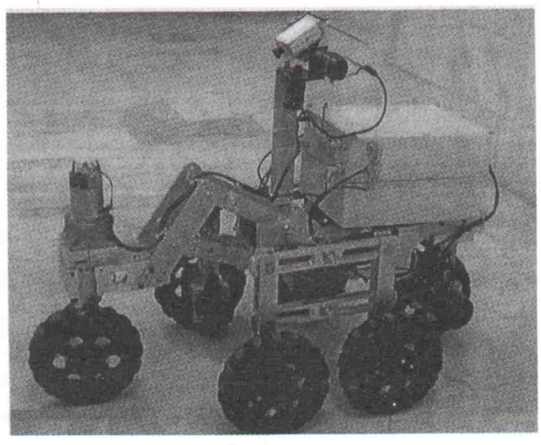
ماشین‌های راه رونده[1] به‌نحو مطلوبی با محیط‌های صعب‌العبور منطبق شده‌اند و دلیل این امر توانایی آنها در تضمین پایداری در محدوده‌ی وسیعی از موقعیت‌ها است. در عین حال این دسته از ربات‌ها سازوکارهایی پیچیده دارند و کنترل آنها دشوار است. از طرفی سرعت حرکت آنها پایین و مصرف انرژی‌شان زیادی است.[2] سازوکار حرکتی شنی به‌دلیل پایداری و ضریب اصطکاک مناسب، قابلیت حرکتی خوبی در پیمایش مسیرهای ناهموار دارد. سازوکار آن ساده، ولی اتلاف انرژی آن نسبتاً زیاد است. همچنین با بسیاری از سطوح ناهموار توانایی انطباق غیرفعال را ندارد.[3]

ربات‌های چرخ‌دار وسایل ایده‌آلی برای پیمایش مسیرهای هموار یا

مسیرهای دارای ناهمواری‌های ملایم و منظم هستند ولی در محیط‌های صعب‌العبور، کارایی حرکتی این دسته از ربات‌ها بسته به نوع ناهمواری‌ها، شکل و اندازه سازوکار ربات و اندازه‌ی موانع ممکن است کاهش یا افزایش یابد.[۴] از جمله ربات‌های چرخ‌دار ساخته شده برای مسیرهای ناهموار می توان به سجورنر،[۵] راکی -۷[۶] و یا میکرو-۵[۷] اشاره کرد که به‌طور معمول توانایی غلبه بر موانعی به بزرگی چرخ‌های خود را دارند. افزودن توانایی صعود از موانع به یک ربات چرخ‌دار مستلزم استفاده از راهکارهای خاص و بعضاً بهره‌گیری از عملگرهای اضافه است. به‌عنوان مثال می‌توان به مارسوخود[۸] و هیپتور[۹] اشاره کرد. همچنین در برخی موارد از روندهای کنترلی پیچیده (مانند ربات نانوروور)[۱۰] استفاده می‌شود.

به‌طور کلی ربات‌های چرخدار در مقایسه با ربات‌های راه‌رونده از انطباق پذیری و پایداری بیشتری برخوردارند و علاوه بر پیچیدگی کمتر، بازده بسیار بالاتری نیز دارند. مشکل اصلی این ربات‌ها کم بودن توانایی بالاروی و مانع‌گذری است. برای رفع این نقیصه، سعی شده است با ایده‌گیری از ربات‌های راه‌رونده و متحرک کردن محور چرخ‌ها نسبت به بدنه این مشکل تا حدی برطرف شود.

ربات میگوشکل[۲] ساخته شده نیز برهمین اساس و با استفاده از یک بازوی چهارمیله‌یی فنردار، چرخ‌های کناری با اهرم بندی موازی و شاسی انعطاف پذیر توانایی حرکتی بسیار مطلوبی را در محیط‌هایی با موانع نامنظم به‌دست آورده است. همچنین استفاده از چرخ‌هایی با سرعت قابل کنترل و سیستم تنظیم زاویه‌ی فرمان در چرخ جلو و عقبِ ربات، توانایی مانورهایی با دقت زیاد را برای ربات فراهم می‌سازد. از طرفی به‌دلیل اینکه روی هر چرخ این ربات شش چرخ، یک موتور نصب شده است، برای اعمال گشتاور توسط موتورها از تمام وزن ربات می‌توان استفاده کرد. در واقع این ربات از این نظر قابل مقایسه با یک اتومبیل شش‌چرخ محرک است که در شرایط نامطلوب می‌تواند برای بیرون کشیدن خود از موانع، قدرت را روی چرخ‌های مختلف متمرکز کند.



شکل ۱. ربات امدادگر«سدرا».

با توجه به قابلیت‌های سخت‌افزاری ربات ساخته شده، این ربات می‌تواند با تغییرات صرفاً نرم‌افزاری به‌منظور کاربردهای نظامی نظیر ربات مین‌یاب، ربات سرباز و یا ربات کاوشگر نیز مورد استفاده قرار بگیرد(شکل۱).

خواص حرکتی مطلوب ربات امدادگر

۱. قابلیت انطباق و حرکت هموار روی مسیرهای نامنظم؛

۲. قابلیت عبور از موانع در ابعاد مختلف، از جمله پله؛

۳. پایداری مناسب در برابر واژگونی در حین پیمایش مسیرهای ناهموار و موانع؛

۴. کمینه‌کردن انرژی مصرفی موتورها در عین کم نگه‌داشتن حداکثر توان لحظه‌یی؛

۵. توانایی ربات در بیرون آمدن از فرورفتگی در مسیر، و به‌طور کلی قابلیت ادامه‌ی حرکت در صورت ایجاد مشکل برای تعدادی از چرخ‌ها؛

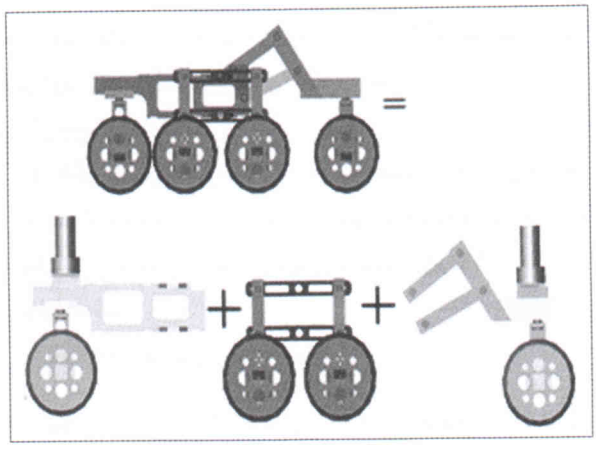
۶. قدرت مانور و فرمان‌پذیری بالا برای تعقیب مسیر دلخواه و پرهیز از برخورد به موانع.

تاکنون ربات‌های بسیار متعددی با سازوکارهای متنوع برای برآوردن اهداف فوق که بعضاً مورد نظر سازندگان ربات‌های مریخ‌نورد نیز هست، طراحی شده‌اند، که از آن جمله می‌توان به راکی-۷، سجورنر و مارسوخود اشاره کرد.

هریک از ربات‌های مذکور به برخی از اهداف و قابلیت‌های موردنظر دست یافته‌اند. ولی می‌توان گفت هیچ یک از نمونه‌های ساخته‌شده تاکنون به کلیه‌ی اهداف نائل نگشته‌اند.

سعی ما بر این بوده تا سازوکاری طراحی یا برگزیده شود که بیشترین تطابق با اهداف قید شده و قابلیت کاربرد در عملیات امداد را حائز باشد. از بین ربات‌های موجود سازوکار ربات میگوشکل از نظر قدرت مانور و انطباق با مسیرهای نامنظم و عبور از موانع نسبت به رقبای خود برتری بیشتری نشان داده است. بنابراین به نظر می‌رسد با اعمال تغییرات و تصحیحات در جهت بهبود رفتار دینامیکی، افزایش پایداری و استحکام در محیط‌های نامنظم و بعضاً خطرناک، تغییرات در قدرت موتور و ابعاد ربات و نصب تجهیزات خاص مورد نیاز عملیات امداد بتوان ربات مناسب را طراحی کرد.

حال به معرفی سازوکار ربات میگوشکل و جزئیات طراحی ربات ساخته شده با عنوان «سدرا» می‌پردازیم. سازوکار مزبور از سه بخش



شکل ۲. اجزای تشکیل‌دهنده‌ی ربات.

اصلی تشکیل شده است: چهارلینکی جلو، سازوکار موازی و بدنه‌ی اصلی (شکل ۲).

چهارلینکی جلو: سازوکار چهار میله‌یی که درجلوی ربات (متصل به بدنه‌ی اصلی) نصب می‌شود و در عبور از موانع به ربات کمک می‌کند.

سازوکار موازی: این بخش شامل دو سازوکار موازی در دو طرف بدنه‌ی اصلی به‌منظور حفظ تعادل و افزایش قابلیت انطباق با مسیر است.

بدنه‌ی اصلی: به‌عنوان سازه‌ی اصلی ربات و حمل‌کننده‌ی قطعات الکترونیکی، تشخیص مصدوم و دوربین و ... است. چرخ عقب ربات به این قسمت متصل است.

یکی از مزیت‌های اصلی این سازوکار استفاده از سیستم تعلیق موازی است که باعث می‌شود حرکت مرکز جرم ربات هنگام عبور از موانع با شیب‌های عمودی (ناپیوستگی‌ها) بسیار یکنواخت‌تر شود، لذا ربات قادر است که با استفاده از توان کمینه‌ی موتورها روی موانع نامسطح حرکت کند. عملکرد سازوکار موازی همانند سیستم تعلیق قطار است با این تفاوت که هنگام عبور از موانع نوک تیز مشکل گیرکردن در مانع برطرف شده است.

در مجموع سازوکار چهارلینکی جلو و سازوکار موازی استفاده شده در طرفین ربات، قابلیت تطابق‌پذیری و پایداری را هنگام عبور از موانع نامنظم افزایش می‌دهند.

طراحی مفهومی

بررسی و بهینه‌سازی پارامترهای ربات برای رسیدن به رفتار مطلوب مورد انتظار در چند مرحله انجام می‌پذیرد که شامل طراحی سینماتیکی و تحلیل دینامیکی است. در طراحی سینماتیکی ربات ابتدا چنگال جلو را مورد بررسی قرار داده و سپس سایر ابعاد ربات را برای تحقق اهداف یاد شده در بخش قبل بهینه‌سازی می‌کنیم. بحث‌های تفصیلی در زمینه‌ی تحلیل سینماتیکی و دینامیکی در دیگر منابع درج شده‌اند.[۱۱و۱۲]

چنگال جلو

رفتار ربات میگوشکل شدیداً به رفتار بازوی جلوی آن بستگی دارد و با انتخاب نامناسب اندازه‌های سازوکار جلوی ربات، رفتاری غیر منتظره و نامطلوب از ربات سر می‌زند(شکل ۳). معیارهای طراحی مفهومی چنگال جلو عبارت‌اند از:

۱. تماس مناسب همه‌ی چرخ‌ها به‌طور همزمان با زمین هنگام عبور از سطوح ناهموار؛

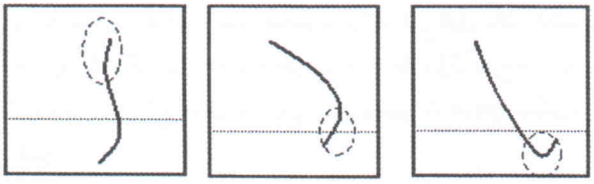
۲. امکان حرکت روبه جلوی ربات هنگام بالا رفتن چرخ جلو در اثر برخورد با مانع؛

۳. دامنه‌ی صعود و نزول مناسب چرخ جلو؛

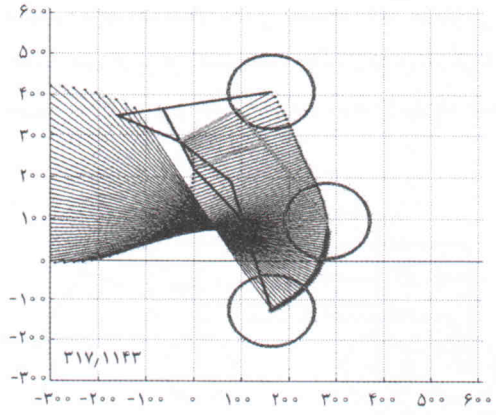
۴. عدم وجود نقطه‌ی مرگ در سازوکار چنگال جلو، هنگام برخورد با موانع؛

۵. ذخیره‌ی مناسب انرژی در فنر به‌کار رفته در سازوکار جلو (که بایستی این انرژی ذخیره شده پس از بالا رفتن چرخ جلو از مانع در بالا آمدن بقیه‌ی اجزاء ربات کمک کند).

۶. تمایل سازوکار جلو برای، حرکت به سمت بالا هنگام برخورد با موانع.



شکل ۳. انواع منحنی‌های مسیر حرکت چرخ جلو.



شکل ۴. نمایش رفتار چرخ جلو در حالت‌های مختلف.

با توجه به موارد ذکر شده و با درنظر گرفتن پارامترهای فوق یک تابع هدف تعریف شده و با استفاده از روش‌های بهینه‌سازی، سازوکار شکل ۴ با مسیر نشان داده شده بهترین پاسخ را می‌دهد.

پس از طراحی و تعیین ابعاد سازوکار جلو، اندازه‌ی سختی فنر استفاده شده در سازوکار و همچنین محل نصب را می‌توان با توجه به مقدار انرژی که انتظار می‌رود در فنر ذخیره شود تعیین نمود.

بدنه‌ی اصلی و سازوکار موازی

معیار تعیین ابعاد و محل نصب سازوکار موازی و همچنین ابعاد بدنه‌ی اصلی، بر این اساس است که مرکز جرم ربات هنگام عبور از موانع و پلکان دارای حرکتی هموار و مسیری یکنواخت باشد.[۱۳] تعیین پارامترهای گفته شده به روش بهینه‌سازی با الگوریتم ژنتیک صورت می‌گیرد. تابع هدف در این بهینه‌سازی براساس هموارکردن مسیر مرکز جرم ربات تعریف شده است.

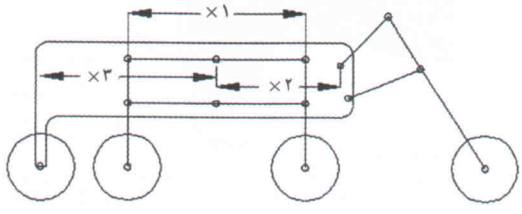
سه طول از ربات به‌عنوان پارامترهای بهینه‌سازی برگزیده شده اند. این طول‌ها با نام‌های X۱، X۲ و X۳ در شکل ۵ مشخص شده‌اند.

هدف از بهینه‌سازی، دست‌یابی به نزدیک‌ترین منحنی به خط شیب‌دار مستقیم است. به‌عبارت دیگر حداکثر شیب منحنی مسیر مرکز جرم تا حد امکان باید به سمت شیب معادل پلکان نزدیک باشد. بدین ترتیب با کمینه کردن حداکثر شیب منحنی، توان لحظه‌یی بیشینه نیز کمینه می‌شود. بیان ریاضی تابع هدف چنین است:

$$O.F. = max\ (slope(X۱, X۲, X۳)) \qquad (۱)$$

برای محاسبه‌ی حداکثر شیب منحنی، ربات در طول یک پلکان شبیه‌سازی شده که مسیر افست طی شده توسط مراکز چرخ‌هاست، بالا برده می‌شود. تابع هدف در طول مسیر به‌صورت عددی محاسبه می‌شود.

قبل از شروع بهینه‌سازی بایستی محدوده‌ی هر کدام از فنوتایپ‌ها را با توجه به محدودیت فضا در محیط کار ربات، هماهنگی با دوشاخه جلو و همچنین محدودیت‌های ساختی مشخص کرد. در طراحی ابعاد ربات، هنگام عبور از موانع بایستی عدم واژگونی نیز درنظر گرفته شود و در صورتی که ابعاد مورد نظر ربات این شرط را برآورده نساختند



شکل ۵. پارامترهای بهینه‌سازی ابعادی.

مقدار امتیاز داده شده به آنها در تابع امتیازدهی الگوریتم بهینه‌سازی صفر شود. برای ارضای این معیار، مؤلفه‌ی افقی مکان مرکز جرم نباید کم‌تر از چرخ عقب باشد.

در الگوریتم مورد نظر تعداد ۱۲ عدد جمعیت در هر نسل در نظر گرفته شده است و فرایند در ۵۰۰ نسل صورت پذیرفته است. ضریب احتمال ترکیب و ضریب احتمال جهش به ترتیب برابر با ۰/۹ و ۰/۰۲ انتخاب شده‌اند:

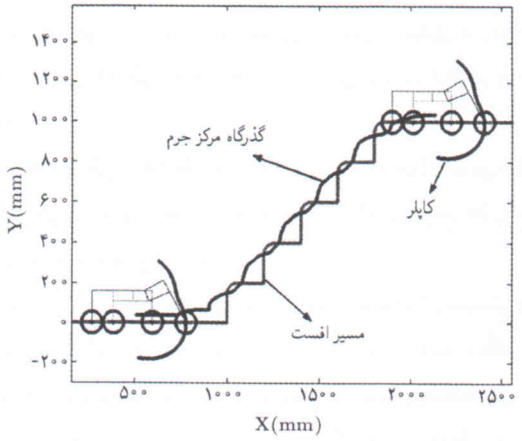
مقادیر پارامترها قبل از بهینه‌سازی

$$X۱ = ۲۱۰(mm), X۲ = ۶۵(mm), X۳ = ۲۲۰(mm)$$

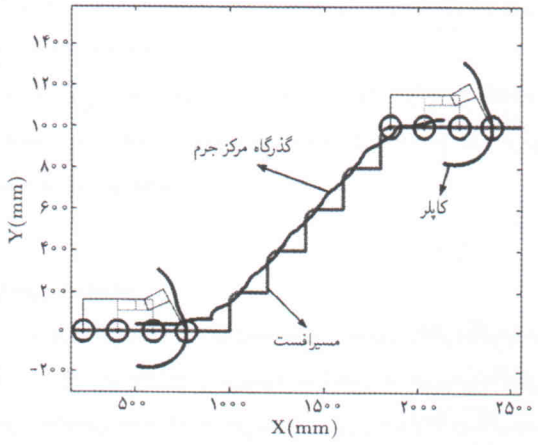
مقادیر پارامترها پس از بهینه‌سازی

$$X۱ = ۱۸۹(mm), X۲ = ۴۷(mm), X۳ = ۲۷۵(mm)$$

در شکل‌های ۶ و ۷ دو سازوکار مختلف که ابعاد دوشاخه جلوی یکسان دارند ولی از نظر طول ابعاد بدنه‌ی اصلی و سازوکار موازی متفاوت‌اند



شکل ۶. مسیر مرکز جرم قبل از بهینه‌سازی.



شکل ۷. مسیر مرکز جرم پس از بهینه‌سازی.

نشان داده شده‌اند. همان‌طور که دیده می‌شود مسیر حرکت مرکز جرم سازوکار به‌دست آمده از الگوریتم بهینه‌سازی بسیار هموارتر است.

طراحی مکانیکی

با توجه به کاربرد ربات طراحی شده در شرایط سخت و مسیرهای ناهموار، طراحی مناسب قسمت‌های مختلف با هدف ایجاد ضریب اطمینان بالا امری ضروری است. همچنین فضای کافی برای جادهی ایمن و کافی قطعاتی مثل موتورها، باتری‌ها و تجهیزات الکترونیکی باید فراهم شود. علاوه بر موارد فوق تمهیداتی برای کاهش لقی اتصالات و نصب مناسب موتورها اندیشیده شده است که در ادامه به جزئیات طراحی پرداخته می‌شود.

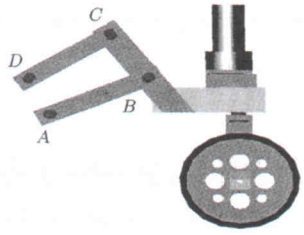
طراحی جزئی چنگال جلو

در بخش طراحی مفهومی در مورد اندازه‌ی مناسب اجزاء این سازوکار بحث شد و در این بخش به نحوه‌ی پیاده‌سازی و ساخت سازوکار پرداخته می‌شود. برای کارایی سازوکار مذکور خواص زیر باید در ساخت آن لحاظ شود:

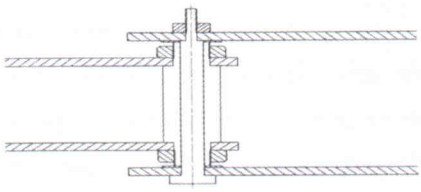
- ایجاد استحکام مناسب مخصوصاً در مقابل بارهای جانبی و بارهای ضربه‌یی موانع جلو ربات در عین حفظ عدم لقی؛
- ایجاد فضای مناسب برای جادهی فنر و تنظیم‌پذیری آن در موقعیت‌های مختلف؛
- قابلیت تغییر ابعادی سازوکار و فنر با حداقل هزینه‌ی ساخت.

با در نظر گرفتن تمام نکات فوق و در میان تمام راه‌های ممکن بهترین راه ساخت سازوکار فوق استفاده از دو چهار میله‌یی موازی است که فنر بین آن دو قرار می‌گیرد. با این کار استحکام بالا می‌رود، لقی کمتر می‌شود و حرکت هموارتری انجام می‌شود.

در توضیح بیشتر باید گفت که اولاً برای این که از حداکثر فضای کاری سازوکار استفاده شود و کم‌ترین مقدار تداخل هم پیش بیاید، لینک‌های کنار هم سازوکار، در صفحات افقی مختلفی قرار گرفته‌اند که در نتیجه در حرکتشان که عمودی است با هم تداخلی نخواهند داشت.



شکل ۸. چنگال جلوی ربات.



شکل ۹. مقطع مفصل لولایی چنگال جلو.

بدین ترتیب مطابق شکل ۸ هر یک از دو لینکِ مقابل در یک صفحه‌ی عمودی حرکت می‌کنند.

مطابق شکل ۸ دو لینک AB و CD بین دو لینک CB و DA قرار گرفته‌اند و در کل تشکیل یک جعبه را می‌دهند. جعبه‌ی حاصله کاملاً متناسب با سازه‌ی اصلی بدنه است و بدین ترتیب لینکCD (طویل‌ترین لینک) نوعاً شبیه ادامه همان سازه یا ستون فقرات ربات است که در نتیجه‌ی هارمونی و تقارن ایجاد شده به زیبایی سازه‌ی ربات می‌افزاید .اتصال بین لینک‌های متناظر مطابق شکل ۹ است. بدین ترتیب لینک‌های AB,CD از یک سازه‌ی بسیار محکم تشکیل می‌شوند که اعضاء نظیر آن توسط یک شفت توخالی (در نقش بوش محور دوران) به هم وصل می‌شوند. شفت دیگری که از این حفره می‌گذرد اتصال لینک‌های موازی، نظیر CB و DA، را کامل می‌کند. با استفاده از این روش کاملاً لقی سازوکار گرفته می‌شود و در مقابل بارهای جانبی مستحکم می‌شود. این عدم لقی اهمیت زیادی دارد چرا که در غیر این‌صورت اندکی بار جانبی باعث انحراف چنگال جلو می‌شود و جلوی حرکت مستقیم ربات را (مخصوصاً در بالا رفتن از پله) می‌گیرد. طول این محور معرّف لقی مجاز و در عین حال جبران‌کننده‌ی کمبود قطر آن در مقابل بارهای ضربه‌یی جلو ربات (وقتی زیر چرخ جلو خالی می‌شود و یا مانعی جلوی آن قرار می‌گیرد) است. اگر از یاتاقان‌های غلتان استفاده می‌شد، باید دارای قطر بزرگ‌تری باشد که در آن صورت نصب آن مشکل‌تر شده و با ابعاد لینک‌ها تناسبی نخواهد داشت.

از نکات قابل توجه دیگر سازوکار فنربندی است. زیر سری‌های فنر و مهره و واشر داخل آن پیش فشردگی اولیه آن را تنظیم می‌کنند و جلوی کمانش فنر را نیز می‌گیرند. از طرفی با فضای ایجاد شده میان چهارمیله‌یی‌های موازی می‌توان اولاً فنر را در هر نقطه‌ی دلخواهی بین دولینک AB,CD قرار داد؛ ثانیاً با میله‌یی که از وسط فنر رد شده است نقطه‌ی مرگ پایین سازوکار کنترل می‌شود و ثالثاً همین میله می‌تواند در بالای CD یک فنر دیگر را نیز در صورت نیاز فعال بکند (مثلاً برای حرکت به سمت بالا).

همچنین برای ایجاد قابلیت بیشتر ربات در انجام آزمایش‌های ابعادی سازوکار محل لولا D شیاری لوبیایی است که خود روی قطعه‌یی جدا از سازه ایجاد می‌شود تا تنظیم بیشتری در محل آن باشد (برخلاف شیار A که روی خود سازه است).

طراحی سازه‌ی ربات

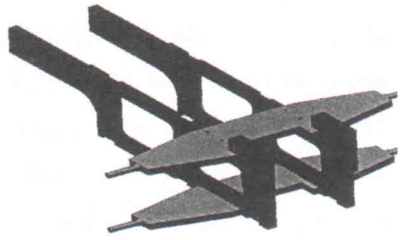
بخشی از سازه‌ی ربات همان چنگال و سازوکار موازی جانبی است که جداگانه توضیح داده خواهند شد. مابقی سازه این سه عضو و چرخ عقب را به هم متصل می‌کند که در این بخش توضیح داده خواهد شد. سازه‌ی ربات به‌صورت یک شبکه در نظر گرفته می‌شود که در گره‌هایی از آن (چرخ‌ها)، بار به زمین منتقل می‌شود(شکل ۱۰).

فرم‌های مختلفی برای سازه می‌توان درنظر گرفت که برای انتخاب نهایی، نکات مقابل در نظر گرفته شده است:

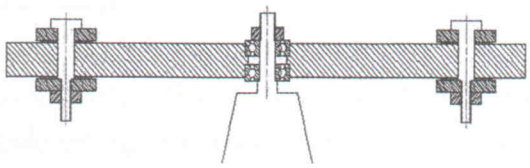
- استحکام بالا و وزن پایین که باعث توخالی کردن قطعات شده است؛
- اجتناب از استفاده از ورق و صفحه به‌عنوان عضو سازه‌یی اگرچه به‌عنوان پوشش استفاده شده‌اند زیرا با این که می‌توانند استحکام بالایی داشته باشند ولی به‌صورت موضعی ضعیف‌اند؛
- سازه از شبکه‌یی از تسمه‌ها ایجاد شده است که محور اصلی آن مطابق شکل ۱۰ است. داخل قفسه‌ی ایجاد شده باتری‌ها (چگال‌ترین و از حساس‌ترین اعضای ربات) قرار گرفته‌اند و سیم‌ها نیز از داخل آن می‌گذرند.
- فرم سازه‌ی وسط ربات که نماد ستون فقرات ربات است با توجه به فضای کاری ربات و عدم تداخل با موتورها ساخته شده است. اگرچه از لحاظ ماشین‌کاری با توجه به سبک‌سازی‌های انجام شده، ساخت آن زمان‌بر و پرهزینه است ولی بسیار مستحکم است و هارمونی و زیبایی خاصی در تناسب با بقیه‌ی اجزاء ربات دارد.

سازوکار موازی

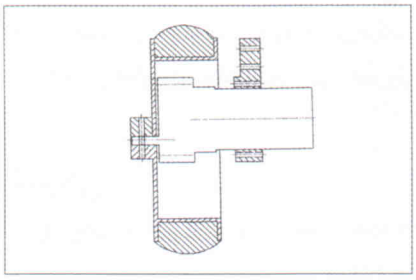
همان‌طور که در بخش‌های قبلی اشاره شد، دو سازوکار چهارلینکی موازی در دو طرف ربات و متصل به بدنه اصلی نصب می‌شوند. با توجه به نقش مهم این بخش در تطبیق با مسیرهای ناهموار و موانع، لازم



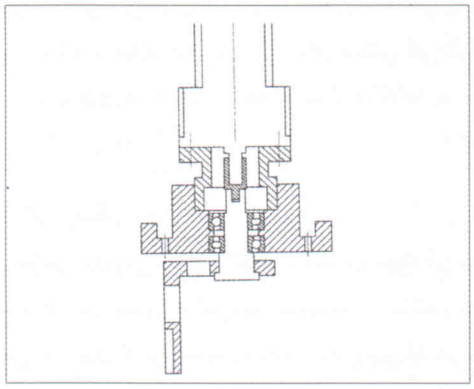
شکل ۱۰. سازه و بدنه‌ی ربات.



شکل ۱۱. نحوه‌ی نصب سازوکار موازی به بدنه‌ی اصلی.



شکل ۱۲. مقطع چرخ و نحوه‌ی نصب موتور.



شکل ۱۳. نحوه‌ی نصب موتور فرمان روی چرخ جلو و عقب.

است این سازوکار علاوه بر استحکام زیاد، قابلیت چرخش مطلوبی نیز داشته باشد. برای نصب هر یک از این بخش‌ها روی بدنه‌ی اصلی ربات از دو جفت بلبرینگ تماس زاویه‌یی بهره‌گیری شده است که موجب سهولت دَوَران سازوکار است. لقی بین لینک‌های سازوکار نیز با روش نصب مناسب به حداقل رسیده است. در شکل ۱۱ نمای برش خورده‌یی از مفاصل آن مشاهده می‌شود.

چرخ‌ها

لایه‌ی بیرونی چرخ‌ها دارای چسبندگی بالا و قابلیت درگیری با موانع است. جنس آن از نوع لاستیک تزریقی بوده و شیارهای محوری روی آن حک شده است. رینگ آن فلزی است و با هدف جلوگیری از بیرون زدن موتورها و نصب آنها در داخل چرخ، توخالی است(شکل۱۲).

نحوه‌ی نصب موتور فرمان باید به‌گونه‌یی باشد که بدون انتقال بار محوری روی محور موتور، بتوان چرخ را با زاویه‌ی دلخواه چرخاند. برای این کار از دو بلبرینگ تماس زاویه‌یی مطابق شکل ۱۳ استفاده شده است که با استفاده از مهره یک بار محوری اولیه در سیستم مزبور ایجاد شده است.

سیستم نرم‌افزار و سخت‌افزار

به‌منظور کنترل ربات، برنامه‌یی برای ارتباط با کاربر به زبان++VC نوشته شده است. این برنامه فرمان‌های کاربر را از طریق صفحه‌کلید

و دسته‌ی بازی دریافت کرده و آنها را به رایانه‌ی روی ربات ارسال می‌کند. ارتباط از طریق شبکه‌ی بی‌سیم انجام می‌گیرد.

پروتکل ارتباطی از نوع TCP/IP است و نرم‌افزار به‌صورت Server-Client پیاده‌سازی شده است. ربات به‌عنوان Client با نرم‌افزار Server که بر روی رایانه‌ی کاربر اجرا شده است ارتباط برقرار می‌کند. برای افزایش ایمنی شبکه یک گروه کاری تعریف شده و تنها IPهای مشخص شده قابلیت انتقال پیام را دارند.

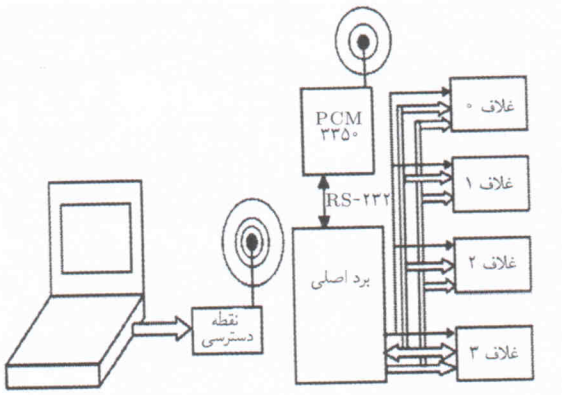
رایانه‌ی روی ربات یک رایانه‌ی صنعتی از رایانه‌های صنعتی شرکت Advantech با شماره فنی PCM۳۳۵۰ است. این رایانه اطلاعات گرفته شده از طریق شبکه‌ی محلی (LAN) را به بُرد فرماندهی انتقال می‌دهد. انتقال اطلاعات از طریق ارتباط سریال RS۲۳۲ با سرعت ارسال ۹۶۰۰bps انجام می‌گیرد.

برد فرماندهی همواره در حال ارتباط با بردهای جانبی است. از کارهای دیگر برد فرماندهی، کنترل زوایای Roll و Pitch دوربین، کنترل وضعیت باتری‌ها و امکان قطع و وصل کردن تغذیه‌ی باتری‌ها به‌منظور صرفه‌جویی در مصرف انرژی است.

ارتباط بُرد فرماندهی با بُردهای جانبی از طریق یک ارتباط موازی با دست تکانی[۲] انجام می‌گیرد؛ به این نحو که سه بیت به‌عنوان باس آدرس، سه بیت به‌عنوان باس داده و دو بیت به‌عنوان دست تکانی مورد استفاده قرار می‌گیرد. این سیگنال‌ها به‌منظور کاهش خطای ناشی از نویز چند بار در هر مرحله قرائت می‌شوند. حتی هنگامی که بُرد فرماندهی روشن است، می‌توان به‌راحتی ارتباط بردهای جانبی را با آن قطع یا وصل کرد. هر بُرد جانبی قابلیت راه‌اندازی دو موتور را دارد. این بردها همچنین مقادیر پسخوراند را قرائت می‌کنند و وظایف کنترلی را انجام می‌دهند. آدرس پایه‌ی هرکدام از بردهای جانبی به‌وسیله‌ی جهنده‌هایی که روی آن تعبیه شده است تعیین می‌شود.

برد جانبی مربوط به پیچیدن چرخ‌های جلو و عقب ربات، یک سیستم حلقه‌بسته‌ی کنترلی دارد و کنترل‌کننده‌ی آن یک کنترل‌کننده‌ی متناسب است، که وظیفه‌ی کنترل پیچش چرخ‌های جلو و عقب ربات را برعهده دارد. از آنجا که این دو چرخ از لحاظ مکانیکی با هم کاملاً جفت و هماهنگ نیستند، امکان کالیبراسیون نیز تعبیه شده است. برای این منظور جهنده‌هایی درنظرگرفته شده است که به‌وسیله‌ی آنها می‌توان نقاط تنظیم را باياس کرد.

سرعت حرکت چرخ جلو و زاویه‌ی آن اطلاعاتی است که از دسته‌بازی دریافت می‌شود. این اطلاعات پس از انتقال به بُرد فرماندهی تجزیه و تحلیل شده، براساس آن سرعت تک تک چرخ‌ها معین می‌شود. برای این منظور مرکز دوران ربات محاسبه شده و با استفاده از آن سرعت هر یک از چرخ‌ها به‌دست می‌آید. این سرعت‌ها به‌عنوان ورودی به کنترل‌کننده‌های حلقه‌باز موتورهای چرخ‌ها اعمال می‌شود.

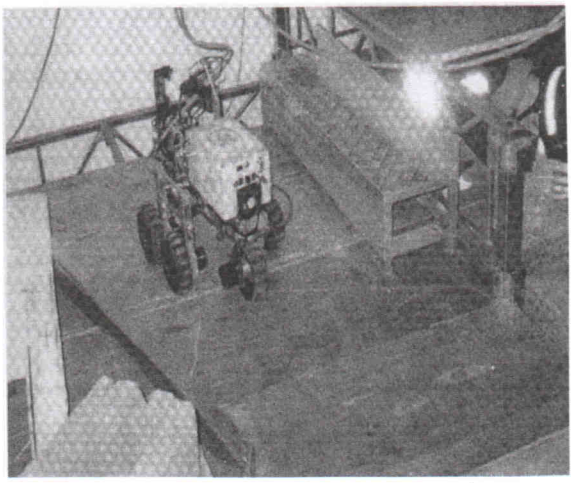


شکل ۱۴. سیستم شماتیک سخت‌افزاری.

جدول ۱. مشخصات ربات طراحی شده

مشخصات	اندازه
طول	۸۰cm
عرض	۴۵cm
ارتفاع	۶۰cm
جرم کل	۳۰cm
سرعت	۱۸km/hr
قطر چرخ	۱۸cm
تعداد موتورها	۱۰DCmotor
حداکثر زمان کارکرد در سطح افقی	۱hr
حداکثر نیروی جلوبری	۳۰۰N
ارتفاع بدنه از زمین	۱۸cm
محدوده‌ی شعاع مخابراتی	۵۰cm
وزن باتری‌ها	۳۹۹۰gr
ولتاژ کاری درایورها	۲۴V
ولتاژ کاری IPC	۱۲و۵V
نوع کنترل‌کننده‌ی چرخ‌ها نوع کنترل‌کننده‌ی فرمان	کنترل سرعت کنترل موقعیت
فرکانس کاری	۲۵KHz
نوع درایور	FullBridge۴Quadrant DC/DC-PWM Converter
نوع باتری	NIMH Rechargable

مدول‌های ارتباطی مربوط به انتقال اطلاعات از رایانه‌ی کاربر به رایانه‌ی روی ربات، بُرد فرماندهی، بُردهای جانبی، همگی برای گرفتن اطلاعات دارای تاریخ مصرف می‌باشند. به این نحو که اگر تا زمان معینی داده به برد نرسد، از آن داده صرفنظر می‌شود و فرایند ادامه می‌یابد. در حالت بروز خطا این بردها می‌کوشند که مقدار صفر را به موتورهای ربات بفرستند تا ربات از حرکت بایستد و به این ترتیب خسارتی به محیط نرسد(شکل۱۴). مشخصات ربات «سدرا» در جدول ۱ درج شده است.



شکل ۱۵. آزمایش ربات در محیط زلزله‌زده شبیه‌سازی شده.

تست عملیات واقعی امداد

ربات امدادگر سدرا در یک محیط زلزله‌زده شبیه‌سازی شده در مسابقات جهانی روبوکاپ ۲۰۰۳ آزمایش شده است. در این رقابت سه محیط متفاوت به نام‌های نواحی زرد، نارنجی و قرمز برای سنجش توانایی‌های ربات‌ها در بهتر یاری رساندن به تیم امداد طراحی شده بود. میزان موانع موجود در محیط‌های مختلف از یک ماز دوبعدی در ناحیه‌ی زرد تا موانع نامنظم و ناپایدار در ناحیه‌ی قرمز تغییر می‌کرد. ربات‌ها باید برای پیدا کردن و تعیین موقعیت مصدومین از موانعی چون آجر، بلوک‌های سیمانی، دسته سیم یا طناب، لوله‌هایی به‌قطر بیش از ۲۰ سانتی‌متر، شیب ۴۰درجه، پله و راهروهای باریک و زیر پلکان و میز عبور کنند. ربات امدادگر سدرا در این مسابقات نمایش قابل قبولی از خود نشان داد و موفق به کسب مقام دوم شد(شکل ۱۵).

نتیجه‌گیری

در این نوشتار مروری بر یک ربات امدادگر با نام سدرا با سازوکار بهبود یافته از نوع میگوشکل ارائه شده است. کلیه‌ی زمینه‌های سیستم شامل مکانیکی، الکتریکی، رایانه‌یی، رابط کاربر و یک تست امداد واقعی بحث شده است. نیازها و مشخصه‌های یک ربات امدادگر و چگونگی بهبود و پیشرفت در ساخت ربات نسبت به نمونه‌های قبلی آن مورد بررسی قرارگرفت. با توجه به نتایج آزمون‌های عملی مربوط به شرایط عملیات در محیط‌های صعب‌العبور، ربات سدرا کارایی مناسبی در این نواحی از خود نشان داد. ذکر این نکته لازم است که عملکرد این وسیله شدیداً به پارامترهای طراحی به‌ویژه ابعاد مکانیزم چهارلینکی جلو وابسته است و به شرط انتخاب پارامترهای طراحی به نحو متناسب با اهداف و محیط کاری، برتری محسوسی بر بسیاری از ربات‌های سیار موجود خواهد داشت. امیدواریم که ربات امدادگر سدرا را به رباتی خودکار با قابلیت تشخیص مصدوم و تعیین موقعیت خود و مصدوم ارتقاء دهیم.

پانوشت

1. CEDRA:Center of Excellence in Design, Roboticx & Automation.
2. handshaking

منابع

1. Bares, J. and Wettergreen, D. "Lessons from the development and deployment of Dante II", *Proceedings of the 1997 Fieldand Service Robotics Conference* (Dec. 1997).
2. Raibert, M.H., "Legged Robots That Balance", Cambridge, Mass.: MIT Press (1986).
3. Siegwart, R., Lamon, P., Estier, T., Lauria, M. and Piguet, R. "Innovative design for wheeled locomotion in rough terrain",*journal of Robotics and Autonomous Systems*, 40, pp.151-162 (2002).
4. Wilcox, B., Nasif, A. "Implications of Martian rock distributions and Welch, R., on rover scaling", *Proceedings of the Planetary Society International Conference on Mobile Robots and RoverRoundup, Santa Monica, CA*, (1997).
5. Stone, H.W. "Mars pathfinder microrover: A low-cost, low-power spacecraft", *Proceedings of the 1996 AIAAForum on Advanced Developments in Space Robotics, Madison, WI*, (1996).
6. Volpe, R., Balaram, J., Ohm, T. and Ivlev, R. "Rocky 7: A next generation Mars rover prototype", *Journal of Advanced Robotics* **11** (4) pp. 341-358 (1997).
7. Kubota, T., Kuroda, Y., Kunii, Y. and Natakani, I. "Micro-planetary rover Micro5", *Proceedings of the Fifth International Symposium on Artificial Intelligence, Robotics and Automation in Space* (ESA SP-440), Noordwijk, Netherlands, pp. 373-378 (1999),
8. Kemurdjian, A.L., Gromov, V., Mishkinyuk, V., Kucherenko, V. and Sologub, P. "Small Marsokhod configuration", *Proceedings of the*

International Conference on Robotics and Automation, Nice, France (1992).

9. Leppanen, L., Salmi, S. and Halme, A. "WorkPartner HUT Automation new hybrid walking machine", *Proceedings of the CLAWAR'98 First International Symposium*, Brussels (1998).
10. Tunstel, E. "Evolution of autonomous self-righting behaviors for articulated Nanorovers", *Proceedings of the Fifth International Symposium on Artificial Intelligence, Robotics and Automation in Space (ESA SP-440)*, Noordwijk, Netherlands, pp. 341-346 (1999).
11. Meghdari, A., Karimi, R., Pishkenari H.N., Gaskarimahalle, A.L. and Mahboobi, SH. "An Effective Approach for Dynamic Analysis of Rovers", *ASME Biennial International Conference, ESDA' 40*, Manchester, (July, 2004).
12. Meghdari, A., Mahboobi, S.H. and Gaskarimahalle, A.L. "Modeling of CEDRA Rescue Robot on Uneven Terrains" , *ASME/IMECE*, Anaheim (Nov. 2004).
13. Meghdari, A., Mahboobi, S.H., Gaskarimahalle, A.L. and Karimi, R. "Optimal Design and Fabrication of "CEDRA" Rescue Robot Using Genetic Algorithm", *ASME International Design Engineering Technical Conferences, DETC'04*, Salt Lake City, Utah (2004).