دانشگاه زنجان
دانشکده فنی و مهندسی

پایان نامه کارشناسی ارشد

تحلیل دینامیکی یک ربات کروی با مکانیزم حرکتی جدید

پژوهشگر:
عبدالکریم اشراقی

استاد راهنما:
دکتر هاشم غریبلو

تابستان ۱۳۸۹

بسم الله الرحمن الرحيم

قدردانی

در ابتدا لازم می دانم مراتب قدردانی خود را از استاد ارجمندم جناب آقای دکتر هاشم غریبلو، که با حمایت و پشتیبانی و پیشنهادات سازنده خود در تمامی مراحل، بنده را یاری رساندند، اعلام دارم. همچنین از دانشکده مهندسی مکانیک دانشگاه زنجان و اساتید ارجمندم آقایان دکتر درخشان، دکتر تیموری، دکتر پیرمحمدی و سایر اعضای هیئت علمی دانشکده مکانیک کمال قدردانی را دارم. از دوست و همکلاسی های عزیزم آقایان مهندس هادی محمدی که در طول مراحل با رهنمودهای کارساز خویش این حقیر را یاری رساندند بی نهایت سپاسگزارم.

در پایان نیز از پدر و مادر عزیزم که از اوان کودکی اینجانب را مورد الطاف بی پایان خویش قرار دادند و همواره با نصایح نیکشان راهگشایی برای پیمودن این مسیر بودند، بسیار ممنون و سپاسگزارم.

چکیده

ربات های متحرک اهمیت ویژه ای در زندگی ما انسانها دارند. اغلب ربات های متحـرک دارای مجموعـه ای پیچیده از سنسورها، سیستم های رانشی، هدایت کننده ها و کنترلرها و سیستمهای ارتبـاطی بـا محـیط بیرونی می باشند. ربات های متحرک بنا بر وظایف و اهداف طراحی شان می توانند دارای سایزها و اشـکال متفاوت باشند. امروزه، رباتهای کروی به خاطر شکل و شمایل و تواناییهای خاصشان توجه بسیاری از محققان را به خود جلب کرده اند. در واقع قابلیت تحرک و تغییرپذیری ، یکی از مهمترین اهداف رباتهای متحرک می باشد.در این پروژه هدف شبیه سازی دینـامیکی حرکـت یـک ربـات کـروی بـا مکـانیزم داخلـی جدیـد مـی باشد.نتایج بدست آمده در شبیه سازی اهمیت زیادی در کنترل و توانایی ربات دارد. معادلات حرکت بکمـک دو روش لاگرانژ و نیوتن- اویلر بررسی شده و در نهایت بهترین نتایج مورد استفاده قرار می گیـرد. سـپس در خصوص شکل معادلات و الگوی حل این دسته از معادلات بحث مختصری می شـود و در نهایـت مدلسـازی معادلات بکمک نرم افزار متلب انجام می شود. بدین صورت که چند مسیر خاص بعنـوان ورودی بـرای ربـات تعیین شده و سپس با شبیه سازی خروجی سرعت و گشتاور موتورها بدست می آید. این خروجی بـه بخـش الکترونیکی و قدرتی ربات فرستاده شده و ربات با توجه به این ورودی ها در مسیر مشخص با سرعت و شتاب مشخصی به حرکت در می آید. در پایان نتایج کلی شبیه سازی آورده شده و بـه بررسـی آنهـا پرداختـه مـی شود.

واژگان کلیدی فارسی: متحرک داخلی، چرخش، گشتاور موتور، طراحی، دینامیک ، هولونومیک

فهرست مطالب

قدردانی ..... **أ**

چکیده ..... **ب**

فهرست مطالب ..... **ت**

فهرست اشکال ..... **ح**

فهرست جداول ..... **ر**

فهرست علائم ..... **ز**

فصل اول: مقدمه ای بر ربات های کروی

۱-۱ مقدمه ۱

۱-۱-۱ پیشینه ۱

۱-۱-۲ نحوه عملکرد ربات های کروی ۲

۱-۱-۳ مزایا و مشکلات ربات های کروی ۴

۱-۲ مروری بر کارهای گذشته ۸

۱-۳ کاربردها ۱۶

۱-۴ خلاصه ای از اهداف پروژه ۱۷

فصل دوم: ساختار ربات

۲-۱ ساختار مکانیکی ۱۹

۲-۲ ساختار الکترونیکی ۲۲

فصل سوم: نحوه عملکرد ربات و انواع حرکت

۳-۱ سیستم رانش و نحوه عملکرد ربات ۲۸

۳-۲ بررسی انواع حرکت ۳۱

۳-۲-۱ حرکت دوبعدی و سه بعدی..... ۳۱
۳-۲-۲ سطوح شیب دار..... ۳۳
۳-۲-۳ لغزش..... ۳۴
۳-۲-۴ برخورد با موانع..... ۳۴
۳-۲-۵ انتخاب سناریوی حرکت..... ۳۶

فصل چهارم: معادلات دینامیکی

۴-۱ سیستم مختصات..... ۳۷
۴-۲ چرخش پوسته و محرک داخلی..... ۳۹
۴-۳ روشهای حل مساله و یافتن معادلات..... ۴۰
۴-۳-۱ روش لاگرانژ..... ۴۰
۴-۳-۲ روش نیوتن..... ۴۰
۴-۴ سینماتیک..... ۴۱
۴-۴-۱ تحلیل سرعت..... ۴۱
۴-۴-۲ تحلیل شتاب..... ۴۲
۴-۵ معادلات حرکت..... ۴۵
۴-۵-۱ نیروهای وارده به پوسته..... ۴۶
۴-۵-۲ نیروهای وارده به محرک داخلی..... ۴۷
۴-۵-۳ گشتاورهای وارده به پوسته کروی..... ۵۰
۴-۵-۴ گشتاورهای وارده به محرک داخلی..... ۵۱

۴-۵-۵ معادلات نیرو برای محرک داخلی..... ۵۱
۴-۵-۶ معادلات گشتاور برای محرک داخلی..... ۵۲
۴-۵-۷ معادلات نیرو برای پوسته کروی..... ۵۳
۴-۵-۸ معادلات گشتاور برای پوسته کروی..... ۵۴
۴-۶ بررسی معادلات حرکت..... ۵۷

فصل پنجم: شبیه سازی حرکت و حل معادلات

۵-۱ حل معادلات..... ۵۸
۵-۱-۱شناختی بر دسته معادلات DAE..... ۵۸
۵-۲ شبیه سازی حرکت..... ۶۰
۵-۳ نتایج حرکت در مسیرهای مختلف..... ۶۴
۵-۳-۱ مسیر مربعی(ضلع اول)..... ۶۴
۵-۳-۲ مسیر مربعی(ضلع دوم)..... ۷۴

پیوستها

پیوست ۱:
ساخت ربات..... ۸۶

فهرست اشکال

شکل ۱-۱ نمونه ای از رباتهای متحرک سنتی..... ۱۴
شکل ۱-۲ ربات کروی با قابلیت حرکتی بکمک تغییر مرکز جرم..... ۱۴
شکل ۱-۳ ربات کروی با قابلیت حرکتی بکمک تغییر مومنتوم زاویه ای ۱۵
شکل ۱-۴ ربات کروی با قابلیت حرکتی از طریق تغییر مرکز جرم بکمک سیستم رانش درونی**Error! Bookmark not defined.**
شکل ۱-۵ مشکلات ربات های متحرک در سطوح ناصاف ..... **Error! Bookmark not defined.**
شکل ۱-۶ ربات کروی بر روی سطوح ناهموار..... **Error! Bookmark not defined.**
شکل ۱-۷ مزایای پوسته کروی ..... **Error! Bookmark not defined.**
شکل ۱-۸ حرکت پاندولی مرکز جرم..... **Error! Bookmark not defined.**
شکل ۱-۹ اختلال در حرکت ربات با افزایش دور موتور..... **Error! Bookmark not defined.**
شکل ۱-۱۰ مرکز جرم پوسته، محرک داخلی و ربات..... **Error! Bookmark not defined.**
شکل ۱-۱۱ ربات بیچی..... ۲۲
شکل ۱-۱۲ ربات هالم..... ۲۳
شکل ۱-۱۳ ربات باتاچایرا..... ۲۴
شکل ۱-۱۴ ربات موخرجی..... ۲۴
شکل ۱-۱۵ ربات جوادی..... ۲۵
شکل ۱-۱۶ ربات هگل ۲۵
شکل ۱-۱۷ ربات هوسوی..... ۲۶
شکل ۱-۱۸ کنترل رباتهای سنتی ۲۷
شکل ۱-۱۹ ربات کروی بر روی شیبهای تند..... ۲۷
شکل ۱-۲۰ ربات کروی برای کاوشگری در سطح مریخ..... ۲۸
شکل ۱-۲۱ ربات کروی ساخته شده در این پروژه ۲۹

شکل ۲-۱ شمایی از محرک داخلی در داخل پوسته ۳۱
شکل ۲-۲ ساختار چرخها(چند جهتی)..... ۳۱
شکل ۲-۳ نقطه تماس چرخها با پوسته بر روی دایره اصلی (موازی با سطح زمین به ارتفاع شعاع پوسته کروی) ۳۲
شکل ۲-۴ رنگ سبز جهت رانش و رنگ قرمز جهت هرزگرد چرخ ها..... ۳۲
شکل ۲-۵ واحد پردازش ربات(اعداد نشانگر بخشهای مختلف متناسب با دسته بندی بالا میباشند)..... ۳۵

شکل ۶-۲ واحد قدرت(اعداد نشانگر بخشهای مختلف متناسب با دسته بندی بالا میباشند) ۳۶
شکل ۷-۲ واحد تغذیه ۳۶
شکل ۸-۲ واحد ارتباطات بیسیم ۳۷
شکل ۶-۲ واحد کنترل از راه دور ۳۸

شکل ۱-۳ حرکت مستقیم الخط با یک موتور روشن و دو موتور خاموش ۳۹
شکل ۲-۳ حرکت منحنی الخط با دو موتور روشن و یک موتور خاموش ۳۹
شکل ۳-۳ بررسی حرکت مستقیم الخط با یک موتور روشن ۴۰
شکل ۴-۳ حرکت مستقیم الخط با سرعت مناسب موتور ۴۱
شکل ۵-۳ حرکت مستقیم الخط با سرعت نامناسب موتور ۴۱
شکل ۶-۳ حرکت در فضای دو بعدی ۴۲
شکل ۷-۳ حرکت سه بعدی از روی موانع و سطوح شیب دار ۴۳
شکل ۸-۳ عبور از سطوح شیبدار ۴۳
شکل ۹-۳ عبور از موانع و پردازش مسیر ۴۵
شکل ۱۰-۳ عبور از مانع ۴۵

شکل ۱-۴ سیستم مختصات کلی ربات و چرخشها ۴۸
شکل ۲-۴ رابطه سینماتیکی سرعت با β ۵۲
شکل ۳-۴ نیروهای وارده به پوسته کروی و محرک داخلی ۵۶
شکل ۴-۴ نیروهای اصطکاک غلتشی ۵۸
شکل ۵-۴ نیروهای n_i برروی سطح رباتی و نیروهای t_i عمود بر سطح رباتی و رو به بالا می باشند ۵۸
شکل ۶-۴ تقارن در سطح رباتی ۶۲

شکل ۱-۵ شبیه سازی معادله ۴-۳۴ و یافتن $\ddot{\gamma}$ ۷۰
شکل ۲-۵ برگرداندن سیگنال $\ddot{\gamma}$ و حذف متغیر ورودی γ ۷۰
شکل ۳-۵ ثابت های ورودی ۷۱
شکل ۴-۵ تنظیمات کد حل کننده بر روی ode15s ۷۱
شکل ۵-۵ شبیه سازی کل معادلات ۷۲
شکل ۶-۵ **مسیر مربعی**(پیمودن ضلع ۱) ۷۳

شکل ۵-۷ شتاب زاویه ای $\ddot{\gamma}$ بر حسب زمان ۷۴
شکل ۵-۸ چرخش γ بر حسب زمان ۷۴
شکل ۵-۹ چرخش ها ی کلی ربات ۷۵
شکل ۵-۱۰ حرکت رو به جلو ربات و انتقال مرکز جرم ۷۶
شکل ۵-۱۱ شتاب زاویه ای $\ddot{\theta}$ ۷۶
شکل ۵-۱۲ چرخش θ ۷۷
شکل ۵-۱۳ نیروی f_1 ..... ۷۷
شکل ۵-۱۴ نیروی f_2 ..... ۷۸
شکل ۵-۱۵ نیروی n_1 ..... ۷۹
شکل ۵-۱۶ نیروی n_2 ..... ۷۹
شکل ۵-۱۷ نیروی n_3 ..... ۸۰
شکل ۵-۱۸ نیروی N ۸۰
شکل ۵-۱۹ نیروی t_1 ..... ۸۱
شکل ۵-۲۰ نیروی t_2 ..... ۸۱
شکل ۵-۲۱ گشتاور موتور ۱ ..... ۸۲
شکل ۵-۲۲ گشتاور موتور ۲ ..... ۸۳
شکل ۵-۲۳ **پیمودن ضلع دوم با موتورهای ۲و۳** ۸۴
شکل ۵-۲۴ شتاب زاویه ای $\ddot{\gamma}$ ۸۴
شکل ۵-۲۵ شتاب زاویه ای $\ddot{\theta}$ ۸۵
شکل ۵-۲۶ چرخش γ ۸۶
شکل ۵-۲۷ چرخش θ ۸۷
شکل ۵-۲۸ نیروی f_1 ..... ۸۷
شکل ۵-۲۹ نیروی f_2 ..... ۸۸
شکل ۵-۳۰ نیروی n_1 ..... ۸۹
شکل ۵-۳۱ نیروی n_2 ..... ۸۹
شکل ۵-۳۲ نیروی n_3 ..... ۹۰
شکل ۵-۳۳ نیروی N ۹۰
شکل ۵-۳۴ نیروی t_2 ..... ۹۱

شکل ۳۵-۵ نیروی t_3 ..... ۹۱
شکل ۳۶-۵ چرخش موتورهای ۲و۳ ..... ۹۲
شکل ۳۷-۵ گشتاور موتور۲ ..... ۹۲
شکل ۳۹-۵ گشتاور موتور ۳ ..... ۹۳

فهرست جداول

جدول ۱-۱ دسته بندی رباتهای کروی ۲۱

فهرست علائم

ردیف	علامت اختصاری	توضیحات	بُعد
۱		فاصله مرکز پوسته کروی تا مرکز جرم متحرک داخلی	L
۲		شعاع پوسته کروی	L
۳		چرخش رو به جلو یا چرخش حول محور y	
۴		چرخش حول محور z	
۵		چرخش حول محور x1	
۶		چرخش حول محور y1	
۷		جرم محرک داخلی	M
۸		جرم پوسته کروی	M
۹		شتاب ربات در جهت محور **X**	
۱۰		شتاب ربات در جهت محور **Y**	
۱۱		بردار مکان ربات	L
۱۲		نیروی اصطکاک وارد شده از زمین به پوسته، مماس بر مسیر حرکت	N
۱۳		نیروی اصطکاک وارد شده از زمین به پوسته، عمود بر مسیر حرکت سوی انحنای مسیر	N
۱۴		نیروی عمودی سطح وارد شده از زمین به پوسته	N
۱۵	$(i=1,2,3)\mathbf{n_i}$	نیروی عمودی وارد بر نقطه تماس چرخها با پوسته، بر روی سطح رباتی رو به بیرون	N
۱۶	$(i=1,2,3)\mathbf{t_i}$	نیروی مماسی وارد بر نقطه تماس چرخها با پوسته، عمود بر سطح رباتی در جهت محور Z1	N
۱۷	$\mathbf{g}$	شتاب ثقلی زمین	
۱۸		گشتاور اینرسی محرک داخلی در جهت محور x1	

۱۹		گشتاور اینرسی محرک داخلی در جهت محور x2	
۲۰			
۲۱			
۲۲			
۲۳			
۲۴			
۲۵			

فصل اول

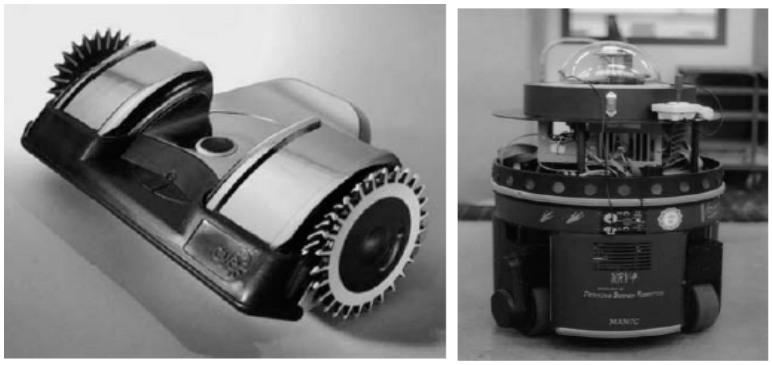
مقدمه ای بر شناخت ربات های کروی

در این فصل ابتدا پیشینه ای از رباتهای کروی ونحوه عملکرد آنها بررسی میشود ودر ادامه مزایا و مشکلات این گونه رباتها و کاربردهای آنها بیان خواهد شد. همچنین به بررسی مزایا و معایب کارهای قبلی که روی این رباتها انجام شده خواهیم پرداخت و در پایان فصل خلاصه ای از اهداف پروژه بیان میشود.

۱-۱ مقدمه

۱-۱-۱ پیشینه

تحقیق روی ربات‌های کروی از دهه‌های گذشته صورت گرفته با این وجود تا چند سال گذشته هیچ نوع نمونه عملی که توانایی حرکت داشته باشد ساخته نشده بود. علت بررسی‌های جدید نیز بارز شدن توانایی‌های ذاتی این نوع ربات‌ها در مقایسه با ربات‌های متحرک سنتی می‌باشد. ربات‌های کروی شاخه‌ای مجزا از دانش رباتیک می‌باشند که تحت عنوان ربات‌های با استخوان‌بندی بیرونی (که مکانیزم رانش درونی دارند) قرار گرفته‌اند. ربات‌های متحرک سنتی که حرکتشان بر مبنای حرکت چرخ یا بازوهای راه رونده می‌باشد، تحت عنوان ربات‌های با الگوی حرکتی غیر هولونومیک قرار می‌گیرند. با این وجود مهندسی رباتیک توانسته بعضی از موانعی که ربات‌های سنتی متحرک در هنگام مانور در آن گرفتار می‌شدند را توسط بکارگیری روش‌هایی همچون تجهیز ربات به سیستم پشتک زدن و یا بکمک چرخ‌های چند جهتی خورشید (Omni directional) رفع کند.



۱-۱ نمونه ای از رباتهای متحرک سنتی

۱-۱-۲ نحوه عملکرد ربات های کروی

ربات های کروی بمنظور تامین نیروی پیشران و حرکت در مسیرهای دلخواه از دو طریق عمل میکنند :

۱- با تغییر مرکز جرم ربات

با توجه به گرانش زمین، با تغییر محل مرکز جرم ربات نیروی پیشران تامین شده و حرکت میسر میگردد. بنابراین بعلت وابستگی این دسته به نیروی گرانش و جاذبه ی زمین، صرفا روی کره زمین کارایی داشته و در خارج از جو و کرات دیگر قابلیت حرکتی ندارند.

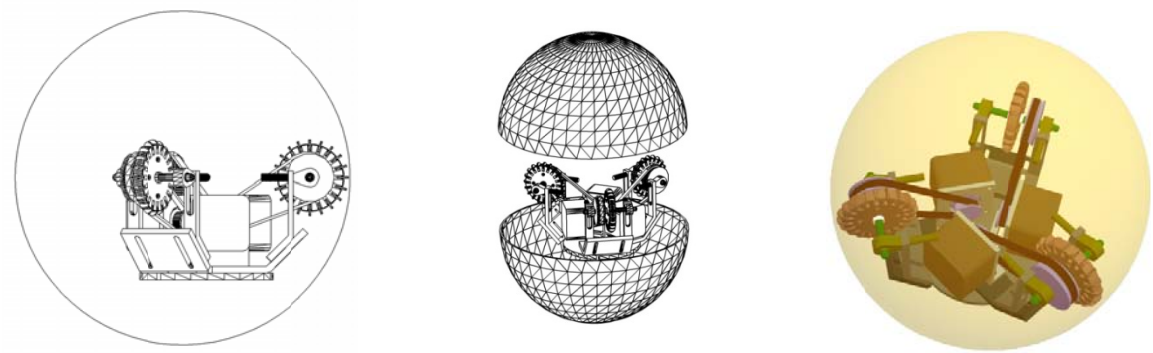
۱-۲ ربات کروی با قابلیت حرکتی بکمک تغییر مرکز جرم

۲- با تغییر مومنتوم زاویه ای

در این دسته از رباتها گشتاور پیشران بکمک تغییر مومنتوم زاویه ای مجموعه، با توجه به قانون بقای مومنتوم زاویه ای، به دست می آید. این رباتها معمولا از دو تا چند موتور برای تغییر اندازه حرکت داخلی استفاده میکنند ولی معمولا کارایی بالایی نداشته و از سرعت کمی برخوردارند.

۱-۳ ربات کروی با قابلیت حرکتی بکمک تغییر مومنتوم زاویه ای

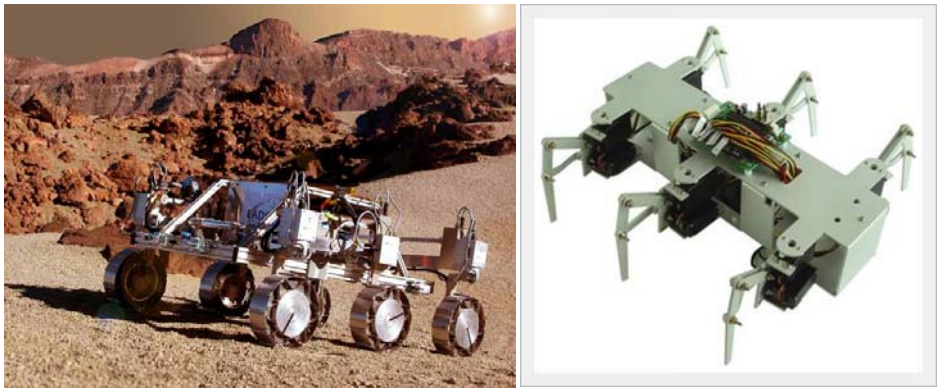
در این پروژه سیستم رانش کلی ربات بکمک تغییر مرکز جرم همراه با سیستم رانشی درونی با موتور و چرخ تامین میشود.



۱-۴ ربات کروی با قابلیت حرکتی از طریق تغییر مرکز جرم بکمک سیستم رانش درونی

۱-۱-۳ مزایا و مشکلات ربات های کروی

ربات های کروی نسبت به رباتهای متحرک سنتی دارای مزایای بسیاری هستند و بهمین دلیل در سالهای اخیر مورد توجه بسیاری از محققین قرار گرفته اند. ربات‌های چرخ‌دار و راه رونده دارای حالت‌های خارج از تابع زیادی نظیر واژگونی، درجا زدن (درمکان‌هایی که همگی چرخ‌ها یا بازوهای ربات به صورت مناسب در تماس با سطح قرارندارند) می‌باشند .



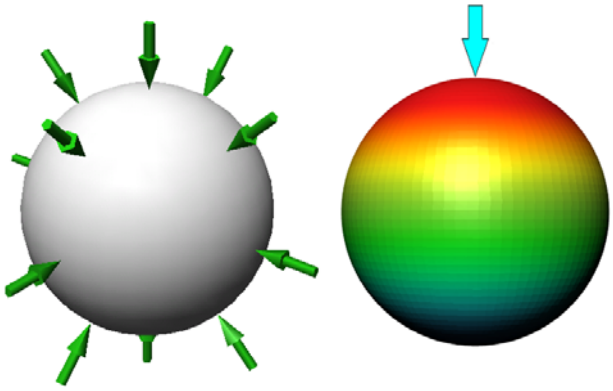
۱-۵ مشکلات ربات های متحرک در سطوح ناصاف

حال آنکه قدرت مانور دادن ربات های کروی وابسته به نحوی قرارگیریشان نمی‌باشد.

۱-۶ ربات کروی بر روی سطوح ناهموار

تعدادی از مزایای رباتهای کروی عبارتند از:

۱- آنجائیکه کلیه اجزای حرکتی این ربات ها در داخل پوشش محافظ کروی قرار می‌گیرند، به خاطر پایداری فیزیکی شکل هندسی کره، قدرت تحمل آنها در برابر نیروهای خارجی اعمال شده (نیروهای وارده براثر ضربه، سقوط ...) بسیار بالا میباشد. همچنین به دلیل وجود پوسته کروی، مقاومت ربات در برابر شرایط بد شیمیائی (محیط های اسیدی بازوی ...) و شرایط نامطلوب فیزیکی (گرما وسرما بیش از حد و...) بسیار بالاست.



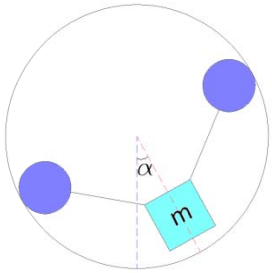
۱-۷ مزایای پوسته کروی

۲- این ربات ها همه کاره بوده و قادرند حرکات غیر معمولی از قبیل چرخش حول خود و تغییر مسیر ناگهانی و یا افتادن از یک ارتفاع را که برای ربات های معمولی خطرناک است، انجام دهند. برای مثال هنگامی که سقوط میکنند مانند افتادن از پله ها و یا هنگامی که به موانع و ربات های دیگر برخورد می کنند، می توانند به سرعت مسیر خود را بهبود بخشیده وبه حرکت ادامه دهند. در واقع این ربات ها به راحتی تغییر مسیرداده بطوریکه در تغییر مسیر های ناگهانی می توانند به شعاع چرخش صفر دست یابند.

۳- می توانند جهت حمل وسایل حساس در مناطق ناهموار جهت نقشه برداری و یا در مناطق عملیاتی به کار روند.

۴- رباتهای کروی می توانند بطور انفرادی و یا به عنوان عضوی از یک مجموعه بزرگ تحت عنوان جامعه رباتی، استفاده شوند.

در هر صورت مشکلات بسیاری در مسیر پیشرفت این ربات ها وجود دارد. تمام ربات‌هایی که از جابجایی مرکز جرم سیستم برای رانش مجموعه استفاده می‌کنند در حقیقت از نیروی جاذبه‌ی زمین برای حرکت به سمت جلو سود می‌برند. که این امر موجب می‌شود تا محدودیت‌هایی برای دستیابی به سرعت و گشتاور دلخواه در حرکت رخ دهد. برای بیان بهتر این اثر با توجه به شکل زیر، مبنای حرکت ربات را تنها براساس حرکت پاندولی مرکز جرم برای رانش فرض می‌کنیم.



۱-۸ حرکت پاندولی مرکز جرم

حال اگر موتورها نیروی بیشتر از مقدار ضروری را برای نگه داشتن پاندول در وضعیت افقی اعمال کنند ربات سریعترحرکت نخواهد کرد بلکه یک اختلال در حرکت ربات ایجاد می‌شود و مجموعه دچار تکان ناگهانی می‌گردد.