بسم الله الرحمن الرحیم

بسمه تعالی

تاییدیه اعضای هیات داوران حاضر در جلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد

آقای رضا یزدانی پایان نامه ۶ واحدی خود را با عنوان **مدلسازی و طراحی مسیر با پایداری پویا برای روبات چهارپا** در تاریخ ۱۳۹۰/۷/۶ ارائه کردند.

اعضای هیات داوران نسخه نهایی این پایان نامه را از نظر فرم و محتوا تایید کرده، پذیرش آنرا برای اخذ درجه کارشناسی ارشد کنترل پیشنهاد می کنند.

عضو هیات داوران	نام و نام خانوادگی	رتبه علمی	امضا
استاد راهنما	دکتر وحید جوهری مجد	دانشیار	
استاد مشاور	دکتر سجاد ازگلی	استادیار	
استاد ناظر	دکتر محمدتقی حمیدی بهشتی	دانشیار	
استاد ناظر	دکتر علی یاری	استادیار	
مدیر گروه (یا نماینده گروه تخصصی)	دکتر محمدتقی حمیدی بهشتی	دانشیار	

این نسخه به عنوان نسخه نهایی پایان نامه/رساله مورد تائید است

امضای استاد راهنما:

دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر

دانشگاه تربیت مدرس
دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر

دستورالعمل حق مالکیت مادی و معنوی در مورد نتایج پژوهشهای علمی دانشگاه تربیت مدرس

مقدمه: با عنایت به سیاست‌های پژوهشی دانشگاه در راستای تحقق عدالت و کرامت انسانها که لازمه شکوفایی علمی و فنی است و رعایت حقوق مادی و معنوی دانشگاه و پژوهشگران، لازم است اعضای هیات علمی، دانشجویان، دانش آموختگان و دیگر همکاران طرح، در مورد نتایج پژوهشهای علمی که تحت عناوین پایان‌نامه، رساله و طرحهای تحقیقاتی که با هماهنگی دانشگاه انجام شده است، موارد ذیل را رعایت نمایند:

ماده 1- حقوق مادی و معنوی پایان نامه‌ها / رساله‌های مصوب دانشگاه متعلق به دانشگاه است و هرگونه بهره‌برداری از آن باید با ذکر نام دانشگاه و رعایت آیین‌نامه‌ها و دستورالعمل‌های مصوب دانشگاه باشد.

ماده 2- انتشار مقاله یا مقالات مستخرج از پایان نامه/ رساله به صورت چاپ در نشریات علمی و یا ارائه در مجامع علمی باید به نام دانشگاه بوده و استاد راهنما مسئول مکاتبات مقاله باشد.

تبصره: در مقالاتی که پس از دانش آموختگی بصورت ترکیبی از اطلاعات جدید و نتایج حاصل از پایان‌نامه/ رساله نیز منتشر می‌شود نیز باید نام دانشگاه درج شود.

ماده 3- انتشار کتاب حاصل از نتایج پایان نامه / رساله و تمامی طرحهای تحقیقاتی دانشگاه باید با مجوز کتبی صادره از طریق حوزه پژوهشی دانشگاه و بر اساس آئین نامه های مصوب انجام می‌شود.

ماده 4- ثبت اختراع و تدوین دانش فنی و یا ارائه در جشنواره‌های ملی، منطقه‌ای و بین‌المللی که حاصل نتایج مستخرج از پایان نامه/ رساله و تمامی طرح‌های تحقیقاتی دانشگاه باید با هماهنگی استاد راهنما یا مجری طرح از طریق حوزه پژوهشی دانشگاه انجام گیرد.

ماده 5- این دستورالعمل در 5 ماده و یک تبصره در تاریخ 1384/4/25 در شورای پژوهشی دانشگاه به تصویب رسیده و از تاریخ تصویب لازم الاجرا است و هرگونه تخلف از مفاد این دستورالعمل، از طریق مراجع قانونی قابل پیگیری می شود.

نام و نام خانوادگی رضا رزاز
امضاء ۹۱/۲/۲۹

دانشگاه تربیت مدرس
دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر

آیین نامه چاپ پایان‌نامه (رساله)های دانشجویان دانشگاه تربیت مدرس

نظر به اینکه چاپ و انتشار پایان نامه (رساله)های تحصیلی دانشجویان دانشگاه تربیت مدرس، مبین بخشی از فعالیتهای علمی - پژوهشی دانشگاه است بنابراین به منظور آگاهی و رعایت حقوق دانشگاه،دانش آموختگان این دانشگاه نسبت به رعایت موارد ذیل متعهد می‌شوند:

ماده ۱: در صورت اقدام به چاپ پایان نامه (رساله)ی خود، مراتب را قبلاً به طور کتبی به «دفتر نشر آثارعلمی» دانشگاه اطلاع دهد.

ماده ۲: در صفحه سوم کتاب (پس از برگ شناسنامه) عبارت ذیل را چاپ کند:

«کتاب حاضر، حاصل پایان نامه کارشناسی ارشد/ رساله دکتری نگارنده در رشته برق و کامپیوتر است که در سال ۱۳۹۰ در دانشکده برق و کامپیوتر دانشگاه تربیت مدرس به راهنمایی سرکار خانم/جناب آقای دکتر [illegible] ، مشاوره سرکار خانم/جناب آقای دکتر [illegible] و مشاوره سرکار خانم/جناب آقای دکتر ——— از آن دفاع شده است.»

ماده ۳: به منظور جبران بخشی از هزینه‌های انتشارات دانشگاه، تعداد یک درصد شمارگان کتاب (در هر نوبت‌چاپ) را به «دفتر نشر آثارعلمی» دانشگاه اهدا کند. دانشگاه می‌تواند مازاد نیاز خود را به نفع مرکز نشر درمعرض فروش قرار دهد.

ماده ۴: در صورت عدم رعایت ماده ۳، ۵۰٪ بهای شمارگان چاپ شده رابه عنوان خسارت به دانشگاه تربیت‌مدرس، تأدیه کند.

ماده ۵: دانشجو تعهد و قبول می کند در صورت خودداری از پرداخت بهای خسارت، دانشگاه می‌تواندخسارت مذکور را از طریق مراجع قضایی مطالبه و وصول کند؛ به علاوه به دانشگاه حق می‌دهد به منظور استیفای حقوق خود، از طریق دادگاه، معادل وجه مذکور در ماده ۴ را از محل توقیف کتابهای عرضه شده‌نگارنده برای فروش، تامین نماید.

ماده ۶: اینجانب رضا سرداری دانشجوی رشته برق-قدرت مقطع کارشناسی ارشد

تعهد فوق وضمانت اجرایی آن را قبول کرده، به آن ملتزم می شوم.

نام و نام خانوادگی: رضا سرداری

تاریخ و امضا: ۹۱/۲/۲۹

دانشگاه تربیت مدرّس

دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر

پایان‌نامه دوره‌ی کارشناسی ارشد مهندسی برق–کنترل

مدلسازی و طراحی مسیر با پایداری پویا برای روبات چهار پا

رضا یزدانی

استاد راهنما:

دکتر وحید جوهری مجد

استاد مشاور:

دکتر سجاد ازگلی

تابستان ۱۳۹۰

تشکر و قدردانی

از جناب آقای دکتر مجد که در انجام این پایان‌نامه مورد رهنمودهای ایشان بودم تشکر می‌نمایم.
همچنین از جناب آقای دکتر ازگلی نیز که در مشکلات پیش آمده از مشورت ایشان بهره جستم قدردانی می‌نمایم.
و در پایان از دوستان خود آقای افتاده، آقای بهنام و آقای دریانورد نیز برای کمک‌های بی‌دریغشان نیز تشکر می‌نمایم.

چکیده

در این پایان نامه معادلات پویایی[1] حرکت روبات چهارپا استخراج گردیده است. سپس این معادلات برای انجام شبیه‌سازی توسط نرم‌افزار MATLAB استفاده می‌گردد. در ادامه پارامترهای آزاد مسیر حرکتی روبات طوری انتخاب می‌گردد که پایداری پویای روبات فراهم شود. برای رسیدن به پایداری پویا از معیار ZMP استفاده شده است. به دلیل پیچیدگی‌های تحلیل مستقیم معادلات، روش‌های تقریبی و مبتنی بر رسم نمودار به کار گرفته‌شده است و سپس نتایج بدست آمده برای بررسی تا مین پایداری پویا با شبیه‌سازی‌ها مقایسه گردیده است.

کلید واژه: روبات چهار پا، جنبش معکوس، منحنی‌های بیزیه، پایداری پویا[2]، طراحی مسیر

[1] Dynamic
[2] Dynamic

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فهرست علایم و نشانه‌ها ..... ج
فهرست جدول‌ها ..... د
فهرست شکل‌ها ..... ه

فصل ۱- مقدمه ۱

۱-۱- پیشگفتار ۱
۱-۱-۱- انواع روبات‌ها ۱
۱-۱-۱-۱- طبقه بندی بر اساس کاربرد در صنعت ۲
۱-۱-۱-۲- طبقه بندی بر اساس نوع مفاصل ۲
۱-۱-۱-۳- طبقه بندی بر اساس متحرک بودن ۳
۱-۱-۲- تاریخچه روبات‌های پادار و چند نمونه روبات چهار پا ۴
۱-۲- نقد و بررسی روشهای انجام شده ۷
۱-۳- ساختار گزارش ۸

فصل ۲- پویایی و جنبش روبات چهارپا ۹

۲-۱- مقدمه ۹
۲-۲- تعاریف اولیه ۹
۲-۲-۱- دوران و ماتریس دوران ۹
۲-۲-۲- تغییر دستگاه مختصات مرجع ۹
۲-۲-۳- مشتق زمانی یک بردار ۱۰
۲-۳- جنبش مستقیم و معکوس ۱۰
۲-۳-۱- جنبش مستقیم ۱۱
۲-۴- جنبش مستقیم: قرارداد دناویت هارتنبرگ ۱۲
۲-۵- جنبش معکوس ۱۴
۲-۶- جنبش شناسی سرعت ۱۵
۲-۶-۱- ژاکوبین سرعت زاویه‌ای ۱۵
۲-۶-۲- ژاکوبین سرعت خطی ۱۵
۲-۷- نیروگرد شناسی ۱۶
۲-۷-۱- نیروگردی نیوتنی ۱۶
۲-۷-۲- نیروگردی لاگرانژ ۱۸
۲-۷-۲-۱- معادلات لاگرانژ و اصل دالامبر ۱۸
۲-۷-۲-۲- معادلات لاگرانژ ۱۸
۲-۷-۲-۳- معادلات همیلتون ۲۰

۲-۸- معادلات پویایی بازو روبات با n پیوند ۲۰
۲-۹- مدلسازی روبات چهارپا ۲۱
۲-۱۰- پارامترهای فیزیکی روبات ۲۲
۲-۱۱- استخراج معادلات ۲۳
۲-۱۲- شبیه سازی پویش روبات چهارپا ۲۷
۲-۱۳- نتیجه گیری و پیشنهاد ۳۰

فصل ۳- طراحی مسیر حرکت روبات چهارپا ۳۱
۳-۱- مقدمه ۳۱
۳-۲- طراحی مسیرهای حرکت ۳۱
۳-۲-۱- منحنی‌های بیزیه ۳۱
۳-۲-۲- زمان‌بندی و پارامترهای منحنی‌های مسیر ۳۲
۳-۲-۳- جزییات برنامه پیاده‌سازی شده ۳۸

فصل ۴- طراحی مسیر پایدار پویا ۴۲
۴-۱- مقدمه ۴۲
۴-۲- پارامترهای آزاد ۴۲
۴-۳- الگوی گام برداری ۴۴
۴-۴- معیار پایداری ZMP ۴۵
۴-۵- بررسی مسیر ZMP و شناسایی نقاط ناپایدار آن ۴۷
۴-۵-۱- حرکت بدنه روبات و اثر آن بر ZMP ۴۹
۴-۵-۱-۱- مدل میز- ارابه ۵۰
۴-۵-۱-۲- محاسبه اثر بدنه بر ZMP ۵۱
۴-۵-۲- حرکت پاهای روبات و اثر آن بر ZMP ۵۴
۴-۶- نتیجه گیری و پیشنهاد ۶۰

فهرست مراجع ۶۱

واژه نامه‌ی فارسی به انگلیسی ۶۳

واژه نامه‌ی انگلیسی به فارسی ۶۵

فهرست علایم و نشانه‌ها

عنوان	علامت اختصاری
نقطه ممان صفر	ZMP
سرعت زاویه‌ای	ω
ماتریس انتقال	E
ماتریس دوران	R
اندازه حرکت خطی	P
اندازه حرکت زاویه‌ای	H
گشتاور	τ
تابع لاگرانژ	L
نیرو	F
مختصات تعمیم یافته	q
نیروی تعمیم یافته	Q
شتاب جاذبه	g

فهرست جدول‌ها

عنوان **صفحه**

جدول ۲-۱: پارامترهای روبات چهارپا..... ۲۳
جدول ۲-۲: پارامترهای دناویت هارتنبرگ پای روبات..... ۲۳
جدول ۴-۱: فرمت متغیرهای موجود در`MParams`..... ۴۲

فهرست شکل‌ها

عنوان **صفحه**

شکل ۱-۱: چند بازوی صنعتی [۲]. ۲
شکل ۱-۲: روبات رایبرت[۲]. ۵
شکل ۱-۳: روبات فورشو[۲]. ۵
شکل ۱-۴: روبات‌های چهارپای کلی[۲]. ۶
شکل ۱-۵: روبات سگ کوچک[۷]. ۶
شکل ۱-۶: روبات سگ بزرگ در حال عبور از موانع[۸]. ۷
شکل ۲-۱: اتصال چارچوب به یک بازو مکانیکی[۱۶]. ۱۱
شکل ۲-۲: چارچوب‌هایی که هر دو فرض DH را برقرار می‌دارد[۱۶]. ۱۲
شکل ۲-۳: زوایای θ و α [۱۶]. ۱۳
شکل ۲-۴: پارامترهای DH یک پا روبات چهارپا SILO4 [۱۷]. ۱۴
شکل ۲-۵: مجموعه‌ای از ذرات و نیروهای متقابل و خارجی [۱۸]. ۱۷
شکل ۲-۶: قرص غلتان بر روی صفحه [۱۸]. ۱۹
شکل ۲-۷: مدل روبات. ۲۲
شکل ۲-۸: حرکت پای روبات. ۲۲
شکل ۲-۹: چارچوب‌های پای روبات. ۲۵
شکل ۲-۱۰: شبیه سازی روبات بدون اعمال گشتاور. ۲۸
شکل ۲-۱۱ : روبات با اعمال گشتاور. ۲۹
شکل ۲-۱۲ : شبیه سازی روبات با یک پای آزاد. ۲۹
شکل ۳-۱: منحنی بیزیه با چهار نقطه کنترلی. ۳۲
شکل ۳-۲: نمایش زمان‌بندی هر گام. ۳۳
شکل ۳-۳: منحنی حرکت یک پا در حرکت روبات روی مسیر مسطح. ۳۵
شکل ۳-۴: منحنی حرکت سه پای دیگر در حرکت روبات روی مسیر مسطح. ۳۶
شکل ۳-۵: نحوه حرکت یک پای روبات در یک گام در حرکت روبات روی مسیر مسطح. ۳۶
شکل ۳-۶ : نمای سه بعدی روبات چهار پای شبیه سازی شده. ۳۷
شکل ۳-۷: منحنی حرکت بدنه روبات در حرکت روی مسیر مسطح. ۳۷
شکل ۳-۸: منحنی‌های زوایای چرخش محورهای پای اول. ۳۸
شکل ۳-۹ : ساختار برنامه طراحی مسیر. ۳۸
شکل ۳-۱۰: نحوه شماره گذاری پاهای روبات. ۴۱
شکل ۴-۱: شماره گذاری پاهای روبات. ۴۳
شکل ۴-۲: روشهای مختلف گام برداری روبات چهارپا. ۴۴

شکل ۴-۳ : مدل سه بعدی روبات دوپا و نقطه P. ۴۵
شکل ۴-۴ : مسیر ZMP ۴۶
شکل ۴-۵ : منحنی‌های مختلف مسیر ZMP ۴۸
شکل ۴-۶ : شمارهگذاری پیکهای عمودی. ۴۹
شکل ۴-۷ : مدل میز- ارابه[۲۳]. ۵۰
شکل ۴-۸ :ZMP ماکزیمم بر حسب y_h به ازای per های مختلف. ۵۳
شکل ۴-۹ : مقدار y_h حداکثر ناشی از حرکت بدنه بر حسب per. ۵۴
شکل ۴-۱۰: مقادیر مختلف ZMP به ازای مقادیر مختلف per و y_h بر حسب زمان. ۵۵
شکل ۴-۱۱: منحنی ZMPx بر حسب زمان و به ازای مقادیر مختلف per. ۵۶
شکل ۴-۱۲: ZMPx و ZMPy درون چند ضلعی تکیه گاه. ۵۶
شکل ۴-۱۳: کم‌ترین مقدار y_h برای مقادیر مختلف per ۵۷
شکل ۴-۱۴: مسیر ZMP به ازا per=0.2 و yh=2 و yh=5. ۵۸
شکل ۴-۱۵: مسیر ZMP به ازا per=0.2 و y_h=8.3. ۵۸
شکل ۴-۱۶: مسیر ZMP به ازای per=0.6 و y_h=14.5 و y_h=12 . ۵۹
شکل ۴-۱۷ : مسیر ZMP به ازای per=0.6 و y_h=16 و y_h=10. ۵۹

فصل ۱- مقدمه

۱-۱- پیشگفتار

روبات‌های پادار قابلیت انجام کارهایی را دارند که روبات‌های معمولی قادر به انجام آنها نمی‌باشند. به طور کلی می‌توان روبات‌های متحرک را به دسته‌های مختلفی تقسیم نمود: روبات‌های چرخ دار[1]، روبات‌های پادار[2] و روبات‌های با مکانیزم پرواز[3] و زیر دریا[4] می‌توانند از جمله این دسته‌بندی‌ها باشند۱. به عنوان یک تعریف جامع و کامل می‌توان گفت، روبات یک ماشین الکترومکانیکی هوشمند است که دارای خصوصیات زیر باشد:

۱. می‌توان آن را مکرراً برنامه ریزی کرد.
۲. چند کاره است.
۳. کارآمد و مناسب در محیط‌های مختلف است.

امروزه معمولاً کلمه روبات به معنی هر ماشین ساخت بشر که بتواند کار یا عملی که به طور طبیعی توسط انسان انجام می‌شود را انجام دهد، استفاده می‌شود. بیشتر روبات‌ها امروزه در کارخانه‌ها برای ساخت محصولاتی مانند اتومبیل، الکترونیک و همچنین برای اکتشافات زیر آب یا در سیارات دیگر مورد استفاده قرار می‌گیرند.

روبات‌ها دارای سه قسمت اصلی هستند:

۱. مغز که معمولاً یک کامپیوتر است.
۲. محرک و بخش مکانیکی شامل بخش‌هایی مانند موتور، پیستون، تسمه، چرخ‌ها و چرخ دنده‌ها.
۳. سنسور که می‌تواند از انواع بینایی، صوتی، تعیین دما، تشخیص نور، تماسی یا حرکتی باشد.

با این سه قسمت، یک روبات می‌تواند با اثرپذیری و اثرگذاری در محیط کاربردی‌تر شود.

۱-۱-۱- انواع روبات‌ها

بر اساس کاربردها و خواص گوناگون روبات‌ها مانند صنعتی بودن، متحرک بودن و تعداد درجات آزادی می‌توان تقسیم بندی‌های متفاوتی برای روبات‌ها قائل شد.

[1] Wheeled Mobile Robots (WMR)
[2] Legged Robot
[3] Flying Robots
[4] Underwater Robots

۱-۱-۱-۱- طبقه بندی بر اساس کاربرد در صنعت

بیشترین کاربرد را از نظر تعداد و یا ارزش تجاری بازوهای صنعتی به خود اختصاص داده‌اند این بازوها به طور گسترده در صنایع خودروسازی و تولید انبوه به کار گرفته شده وظایفی مثل جوشکاری، رنگ کاری، جا بجایی و جادهی قطعه را بر دوش می‌کشند. شکل زیر چند بازوی صنعتی را نشان می‌دهد. در مقابل بازوهای صنعتی بازوهایی وجود دارند که مصارف عمومی، خاص یا تحقیقاتی دارند[۲].

شکل ۱-۱: چند بازوی صنعتی [۲].

۱-۱-۱-۲- طبقه بندی بر اساس نوع مفاصل

نوع مفاصل به کار رفته در روبات می‌تواند تعیین کننده کاربرد آن و شیوه استفاده از آن باشد براین اساس چهار نوع بندگاه بندی وجود دارد:

۱. اتصال دورانی[۱]
۲. اتصال کشویی[۲]
۳. اتصال سیلندری، ترکیب دورانی و کشویی[۳]
۴. اتصال کروی[۴]

چند ترکیب معروف عبارتند از: روبات کارتزین[۵]واسکارا[۶] .

[1] Revolute Joint
[2] Prismatic Joint
[3] Cylindrical Joint
[4] Spherical Joint
[5] Cartesian
[6] Scara

۱-۱-۱-۳- طبقه بندی بر اساس متحرک بودن

روبات‌های متحرک دارای انواع گوناگونی می‌باشند که ما در اینجا به بررسی بعضی از انواع آنها می‌پردازیم[۳].

روبات‌های پادار و انواع آن

روبات‌های پادار دارای انواع زیر است:

۱. روبات تک پا
۲. روبات دو پا
۳. روبات چهارپا
۴. روبات‌های شش پا و بیشتر

روبات تک پا دارای وضعیت ایستای[1] ناپایدار بوده و پایدارسازی آن بسیار دشوارتر از بقیه انواع فوق است و کارایی آن نیز کمتر است. هرچه به تعداد پاها اضافه می‌شود پایدارسازی روبات ساده‌تر ولی تعداد کنترل‌کننده مورد نیاز بیشتر و مانورهای حرکتی آن پیچیده‌تر می‌شود. از این رو سیستم کنترل پیچیده‌تری را می‌طلبد. کاربری روبات دو پا و چهار پا از بقیه موارد فوق بیشتر است.

روبات‌های چرخ دار

این روبات‌ها برعکس دسته قبلی برای حرکت به جای پا از چرخ استفاده می‌کنند، که از مهم‌ترین مزایای آنها می‌توان به پیچیدگی کمتر در طراحی و توان مصرفی کمتر در مقایسه با روبات‌های پادار اشاره کرد. اما در عوض در برابر ناهمواری‌های موجود در محیط حرکتی دچار مشکل می‌شوند[۴]. این دسته از روبات‌ها همانند روبات‌های پادار دارای انواعی می‌باشند:

۱. چرخ استاندارد[2]: توانایی چرخش پیرامون میله چرخ و نقطه تماس با زمین را دارد.
۲. چرخ تعادلی[3]: توانایی چرخش پیرامون میله چرخ و یک بندگاه با قابلیت جا بجایی برای تعادل را دارد.
۳. چرخ سوئدی[4]: توانایی چرخش پیرامون میله چرخ، نقطه تماس و غلتک‌ها را دارد.
٤. چرخ کروی[5]: توانایی چرخش پیرامون محیط یک کره را دارد.

مزایای روبات‌های پادار

[1] Static
[2] Standard Wheel
[3] Castor Wheel
[4] Swedish Wheel
[5] Spherical Wheel

جدای از علاقه برای راه رفتن در طبیعت و نیز تمایل برای ساخت ماشین‌هایی که بتوانند حرکات موجود در طبیعت را تقلید کنند، روبات‌های پادار نسبت به روبات‌های چرخ دار دارای مزایایی هستند که استفاده از آنها را در برخی زمینه‌ها توجیه می‌کند[۵]:

۱- قابلیت سازگاری با محیط‌های ناهموار.
۲- تغییر در هدف با مهارت بالا.
۳- جا بجایی[1] کارآمد.
۴- تعلیق پویا[2] و فعال.
۵- عبور از موانع.
۶- مصرف مناسب انرژی در محیط‌های ناهموار.
۷- امکان کاهش سر خوردگی.

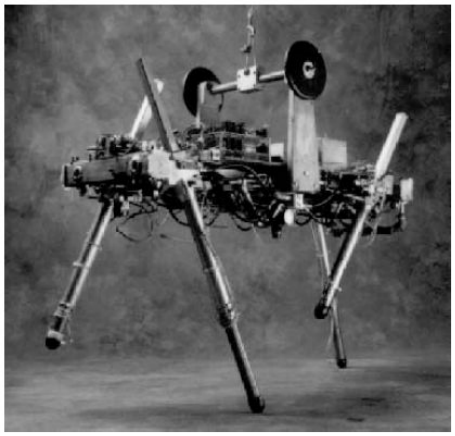
۱-۱-۲- تاریخچه روبات‌های پادار و چند نمونه روبات چهار پا

تحقیقات و بررسی‌ها در مورد روبات‌های پادار از بیش از یک قرن پیش آغاز شده است. از زمانی که یک ریاضی دان روسی به نام چبیشف[3] در حدود سال ۱۸۷۰ با هدف تقلید از راه رفتن موجودات در طبیعت بر اساس مکانیزم چهار میله از یک اتصال[4] برای به جلو راندن بدنه در وضعیت افقی استفاده کرد. در حدود سال ۱۹۵۰ نیاز به استفاده از دانش کنترل برای ماشین‌های راه رونده پر رنگ‌تر شد و اولین کنترل کننده خود انسان بود. رالف موشر[5] ماشین چهارپایی به وزن تقریبی ۱۳۵۰ کیلوگرم و ارتفاع حدود ۳ متر در شرکت جنرال الکتریک ساخت که توسط انسان کنترل می‌شد . اولین استفاده از کامپیوتر در کنترل روبات‌های پادار در سال ۱۹۷۷ توسط مک‌گی[6] در دانشگاه ایالتی اوهایو[7] انجام گرفت. روبات ساخته شده یک شش پای حشره گون بود که می‌توانست برخی شیوه‌های حرکتی استاندارد را انجام داده و در مقابل موانع ساده واکنش نشان دهد. وظیفه کامپیوتر حل معادلات جنبش و فرمان دادن به محرک[8]ها بود. تمامی ماشین‌ها و روبات‌های ساخته شده تا بدین جا با وجود تفاوت‌هایی در ساختارهای فیزیکی و کنترلی، همگی به صورت ایستا طراحی شده بود با این ویژگی که در همه‌شان به تعداد کافی پا در روی زمین برای حفظ تعادل روبات نگه داشته می‌شد تا مرکز ثقل روبات درون چندضلعی تشکیل شده از محل برخورد پاها با زمین قرار گیرد. سرعت بسیار پایین و تضمین وجود پایداری از مشخصه‌های روبات‌های ایستا است.

---

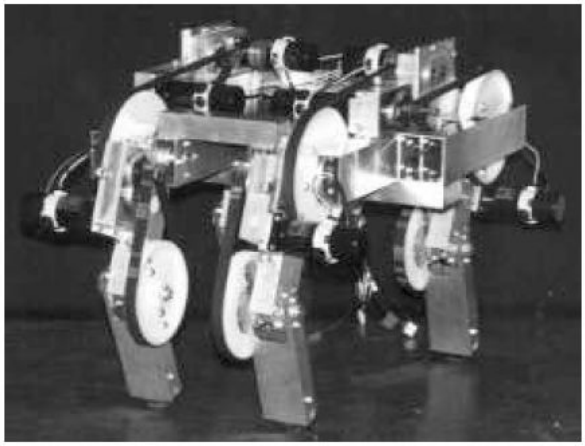
[1] Mobility
[2] Dynamic suspension
[3] Chebyshev
[4] Linkage
[5] Ralph Mosher
[6] McGhee
[7] Ohio
[8] Actuator

جامع‌ترین تحقیقات در مورد روبات‌های پادار توسط ریبرت در دانشگاه MIT انجام گرفت. او و همکارانش دو روبات تک پا (دوبعدی و سه‌بعدی)، دو روبات دوپا (دوبعدی و سه‌بعدی) و یک روبات چهارپا ساختند و کنترل آنها به شکل پویا پرداختند. او کارش را با حل مسئله روبات تک پای دو بعدی با تقسیم کار کنترل به سه بخش آغاز نمود و سپس روش بکارگرفته شده را در روبات‌های دوپا و چهارپا بکار گرفت و با تغییرات جزئی توانست این روبات‌ها را نیز به صورت پویا کنترل کند. روبات چهار پای رایبرت از اولین روبات‌ها با پایداری پویا بود[۶]. از خصوصیات این روبات می‌توان به تعداد درجه آزادی سه در هر پا، طول پای ۱.۰۵ متر و ارتفاع ۰.۹۵ با وزن ۲۵ کیلوگرم اشاره کرد[۲].



شکل ۱-۲: روبات رایبرت[۲].

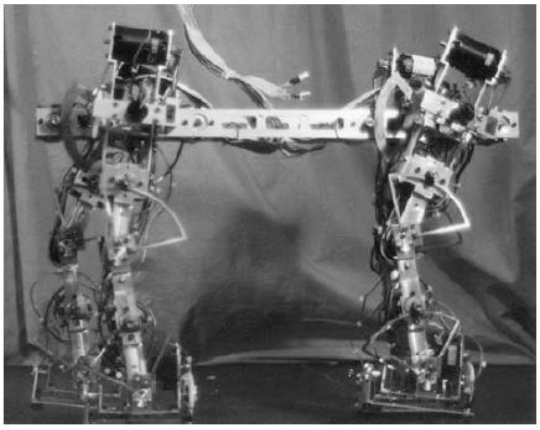
از دیگر روبات‌های ساخته شده می‌توان به روبات دو درجه آزادی ساخته شده توسط فورشو[۱]، سانو[۲] و کویزومی[۳] در سال ۱۹۹۵ اشاره کرد. این روبات توانایی پریدن و دویدن را هم دارد[۲].



شکل ۱-۳: روبات فورشو[۲].

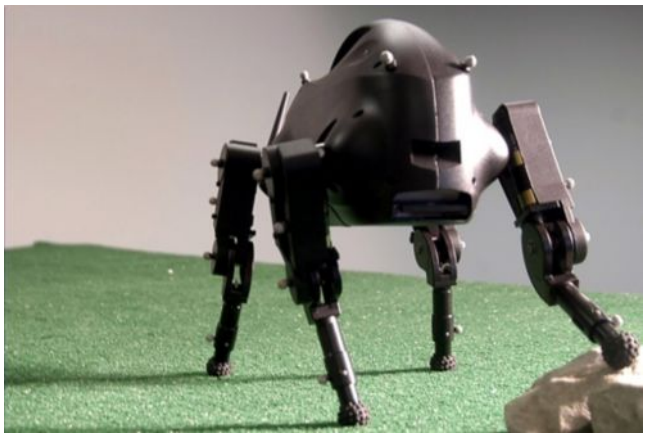
[1] Furosho
[2] Sano
[3] Koizomi

به موازات همین تحقیقات در آزمایشگاهی به نام کیمورا[1] در ژاپن مابین سال‌های ۱۹۸۴ تا ۱۹۹۰ روبات‌های چهارپایی به نام کلی[2] ساخته شدند که از معروف‌ترین آنها می‌توان به کلی یک و دو اشاره کرد. این روبات‌ها دارای سه درجه آزادی می‌باشند که یک درجه برای محور نصب پا و دو درجه برای محورهای گردش پا در نظر گرفته شده است.این روبات‌ها حدود ۰.۴۲ متر طول و ۰.۳۸ متر ارتفاع و در حدود ۷ کیلو گرم وزن دارند[۲].



شکل ۱-۴: روبات‌های چهارپای کلی[۲].

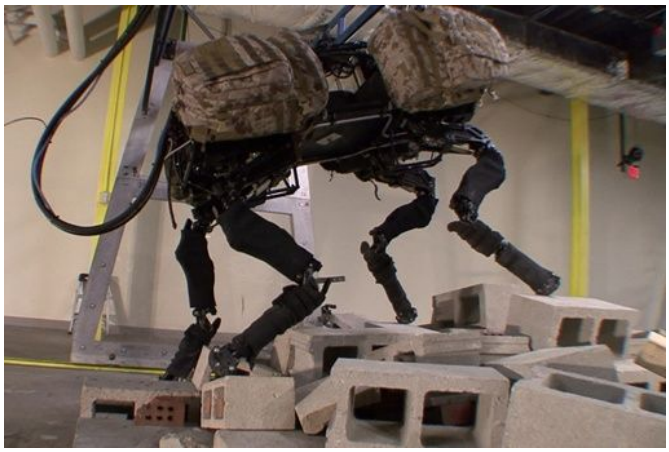
از دیگر روبات‌های جدید در این زمینه سگ کوچک[3]و سگ بزرگ[4] می‌باشد. سگ کوچک یک روبات چهار پاست که توسط شرکت مهندسی و تحقیقاتی بوستون داینامیکس[5] به منظور انجام تحقیقات در خصوص یادگیری گام برداری[6] به خصوص در زمین‌های ناهموار ساخته شده است [۷].



شکل ۱-۵: روبات سگ کوچک[۷].

[1] Kimura
[2] Collie
[3] Little Dog
[4] Big Dog
[5] Bostoon Dynamics
[6] Locomotion

روبات سگ بزرگ نیز توسط در شرکت بوستون داینامیکس ساخته شده و دارای قابلیت‌های منحصر به فردی در مانور دادن در محیط‌های طبیعی و خشن می‌باشد. این روبات قادر است بارهای نسبتاً سنگین تا حدود دو برابر وزن خود را در زمین‌های شیب دار، برفی و یخ زده حمل نماید. روبات سگ بزرگ قادر به دویدن می‌باشد و در حال حاضر به عنوان پیشرفته‌ترین روبات چهارپا شناخته می‌شود. [۸].



شکل ۱-۶: روبات سگ بزرگ در حال عبور از موانع[۸].

۱-۲- نقد و بررسی روش‌های انجام شده

برای کارهای انجام شده در زمینه روباتیک می‌توان به مواردی مانند پویش[۱] روبات، مسیریابی، پایداری و کنترل روبات اشاره نمود. برای رسیدن به این اهداف نیاز به دسترسی به جنبش[۲] و پویش روبات می‌باشد. با دست‌یابی به این دو و طراحی مسیر برای روبات می‌توان به کنترل و بهینه سازی مسیر حرکتی با توجه به تابع هدفی خاص پرداخت[۹][۱۰].

در زمینه پویش روبات روش‌های گوناگونی وجود دارد که می‌توانند در بدست آوردن معادلات پویایی روبات پادار نیز مورد استفاده قرار بگیرند. مثلاً می‌توان با استفاده از روش دناویت هارتنبرگ[۳] دستگاه‌های مختصات را بر روی روبات نصب نمود و سپس با کمک قوانین نیوتنی معادلات حاکم بر روبات را بدست آورد. در این روش با استفاده از حل دستگاه معادلات نیروهای داخلی حذف می‌شوند. روش دیگر بدست آوردن معادلات پویایی روبات روش لاگرانژ است. این روش رویکرد انرژی را در بدست آوردن معادلات سیستم پیش می‌گیرد. با توجه به حذف نیروهای قیدی در روش لاگرانژ، این روش برای روبات‌های پادار توصیه می‌گردد[۱۱]،[۱۲].

روبات‌ها در هنگام گام برداری بر روی زمین با یک سری قیود روبرو هستند که عبارت اند از:

[1] Dynamic
[2] Kinematic
[3] Denavit-Hartenberg