۱۳۰۷
دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی
دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر

پایان‌نامه دوره کارشناسی ارشد مهندسی برق–مکاترونیک

طراحی و ساخت ربات متحرک دو چرخ تعادلی

توسط:

مسعود خلجی

استاد راهنما:

دکتر مهدی علیاری شوره دلی

بهار ۱۳۹۱

بسم الله الرحمن الرحیم

تأییدیّه هیات داوران

(برای پایان نامه)

اعضای هیئت داوران، نسخه نهائی پایان نامه آقای: مسعود خلجی

را با عنوان: «طراحی و ساخت ربات متحرک دو چرخ تعادلی»

از نظر فرم و محتوی بررسی نموده و پذیرش آن را برای تکمیل درجه کارشناسی ارشد تأیید می‌کند.

اعضای هیئت داوران	نام و نام خانوادگی	رتبه علمی	امضاء
۱- استاد راهنما	دکتر مهدی علیاری شوره دلی	استادیار	
۲- استاد مشاور			
۳- استاد مشاور			
۴- استاد ممتحن	دکتر امیر موسوی نیا	استادیار	
۵- استاد ممتحن	دکتر مجید محمدی مقدم	دانشیار	
۶- نماینده تحصیلات تکمیلی			

تقدیم

تقدیم به پدر و مادر عزیزم

که هرچه در زندگی ام دارم به خاطر وجود عزیز آن هاست

و تقدیم به همسرم

که این پایان نامه بدون صبر و دلگرمی هایش به سرانجام نمی رسید

تشکر و قدردانی

بر خود لازم می دانم از زحمات و لطف بی دریغ استاد محترم **دکتر مهدی علیاری شوره دلی** که در طول انجام این پروژه کمک های فراوانی نموده اند، تشکر و قدردانی نمایم.

همچنین از تمامی دوستان خوبم در آزمایشگاه تشخیص و شناسایی خطا که در انجام این پروژه به من یاری رساندند، تشکر می کنم.

چکیده

پاندول معکوس یک مسئله سنتی در دینامیک و کنترل محسوب می شود. حالت پایه زمانی است که پاندول روی یک ارابه قرار گرفته است و با عقب و جلو رفتن ارابه می توان تعادل پاندول را حفظ نمود. هدف این پایان نامه طراحی و ساخت پاندول معکوسی است که به جای ارابه، روی دو چرخ هم محور قرار دارد. حرکت و چرخش ربات باید از راه دور و بدون سیم کنترل شود. ابتدا مدل ریاضی ربات استخراج شده و کنترل کننده های PID و LQR روی این مدل شبیه سازی می شود. در مرحله پیاده سازی، از یک کنترل کننده PID برای حفظ زاویه پاندول استفاده می شود. برای اندازه گیری زاویه پاندول، از یک حسگر جایرو و یک حسگر شتاب سنج استفاده می شود. اطلاعات این دو سنسور برای داشتن زاویه ای بدون نویز و دریفت توسط فیلتر کالمن با یکدیگر ترکیب می شود. ربات ساخته شده به خوبی تعادل خود را حفظ می کند، اما نتایج شبیه سازی نشان می دهد که برای داشتن کنترل بهتر روی موقعیت آن، بهتر است در مرحله پیاده سازی از کنترل کننده LQR به جای PID استفاده شود.

کلید واژه: ربات تعادلی، پاندول معکوس دو چرخ، فیلتر کالمن

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فهرست جدول‌ها ..... د

فهرست شکل‌ها ..... ه

فهرست علایم و نشانه‌ها ..... ز

فصل ۱- مقدمه ۱

۱-۱- پیشگفتار ۱

۱-۲- طرح کلی پایان نامه ۲

۱-۲-۱- تعریف مسئله ۲

۱-۲-۲- مزایای حل مسئله ۳

۱-۲-۳- هدف ۳

۱-۳- تاریخچه و روند تحقیقاتی ۴

۱-۳-۱- ربات Segway و ویلچر iBOT ۴

۱-۳-۲- ربات EMIEW ۶

۱-۳-۳- موتورسیکلت UNO ۷

۱-۳-۴- ربات های Anybots ۸

۱-۳-۵- ربات nBOT ۸

۱-۳-۶- ربات JOE ۹

۱-۳-۷- پاندول معکوس با چرخ عکس العملی ۱۰

۱-۴- جمع بندی ۱۰

فصل ۲- طراحی و ساخت ربات ۱۱

۲-۱- مقدمه ۱۱

۲-۲- مدل CAD ربات ۱۱

۲-۳- ساختار ربات ۱۲

۲-۳-۱- اجزای مکانیکی ۱۲

۲-۳-۱-۱- پروفیل استاندارد آلومینیوم ۱۳

۲-۳-۱-۲- پایه اتصال موتور ۱۴

۲-۳-۱-۳- موتور DC گیربکسی ۱۴

۲-۳-۱-۴- چرخ ها ۱۵
۲-۳-۲- اجزای الکترونیکی ۱۵
۲-۳-۲-۱- واحد میکروکنترلر ۱۵
۲-۳-۲-۲- واحد IMU ۱۶
۲-۳-۲-۳- واحد بلوتوث ۱۸
۲-۳-۲-۴- واحد RF و ریموت کنترل ۱۸
۲-۳-۲-۵- واحد راه انداز موتور ۱۹
۲-۴- جمع بندی ۲۰

فصل ۳- مدل دینامیکی ربات ۲۱

۳-۱- مقدمه ۲۱
۳-۲- مدلسازی ریاضی ۲۱
۳-۲-۱- مدل پاندول معکوس دو چرخ ۲۱
۳-۲-۲- معادلات حرکت پاندول معکوس دو چرخ ۲۲
۳-۲-۳- معادلات فضای حالت پاندول معکوس دو چرخ ۲۵
۳-۳- پارامترهای فیزیکی ربات ۲۸
۳-۳-۱- پارامترهای موتورDC ۲۹
۳-۴- جمع بندی ۳۰

فصل ۴- طراحی کنترل کننده ۳۱

۴-۱- مقدمه ۳۱
۴-۲- تعریف مساله کنترلی ۳۱
۴-۲-۱- پاسخ سیستم حلقه باز به ورودی ضربه ۳۱
۴-۲-۲- محل قطب های حلقه باز سیستم ۳۲
۴-۳- کنترل پذیری و مشاهده پذیری ۳۲
۴-۴- کنترل کننده تناسبی انتگرالی مشتقی ۳۳
۴-۴-۱- نتیجه شبیه سازی کنترل کننده PID روی سیستم ۳۴
۴-۵- کنترل کننده فیدبک حالت ۳۵
۴-۵-۱- نتیجه شبیه سازی کنترل کننده فیدبک حالت روی سیستم ۳۶
۴-۶- تخمین حالت ها ۳۸
۴-۷- تنظیم کننده مربعی خطی ۳۹
۴-۷-۱- نتیجه شبیه سازی کنترل کننده LQR روی سیستم ۴۰
۴-۸- فیلتر کالمن ۴۲

۴-۸-۱- ترکیب اطلاعات حسگرها توسط فیلتر کالمن ۴۵
۴-۹- کنترل کننده گوسین مربعی خطی(LQG) ۴۶
۴-۱۰- جمع بندی ۴۶
فصل ۵- نتایج و پیاده سازی ۴۷
۵-۱- مقدمه ۴۷
۵-۲- شکل فیزیکی نهایی ربات ۴۷
۵-۳- سخت افزار الکترونیکی ربات ۴۸
۵-۴- نرم افزار ربات ۴۹
۵-۵- پیاده سازی فیلتر کالمن ۴۹
۵-۶- پیاده سازی کنترل کننده ۵۱
۵-۶-۱- کنترل کننده PID موتورها ۵۱
۵-۶-۱-۱- اندازه گیری سرعت موتور DC ۵۱
۵-۶-۱-۲- تنظیم پارامترهای کنترل کننده PID موتورها ۵۳
۵-۶-۲- کنترل کننده PID برای حفظ زاویه پاندول ۵۵
۵-۷- حرکت ربات ۵۷
۵-۸- چرخش ربات ۵۷
۵-۹- کنترل حرکت ربات با ریموت کنترل ۵۸
۵-۱۰- برقراری ارتباط با ربات به وسیله بلوتوث ۵۹
۵-۱۱- نتیجه گیری و پیشنهادات ۵۹
ضمیمه أ -مشخصات فنی موتورDC گیربکس دار EMG30 ۶۱
ضمیمه ب -پارامترهای سیستم پاندول معکوس دو چرخ ۶۲
فهرست مراجع ۶۴
واژه نامه فارسی به انگلیسی ۶۶
واژه نامه انگلیسی به فارسی ۶۸

فهرست جدول‌ها

عنوان **صفحه**

جدول ۱-۱: مقایسه EMIEW و EMIEW2 ..... ۷
جدول ۲-۱: مشخصات فنی پروفیل استاندارد آلومینیوم ۱۳
جدول ۵-۱: تنظیم پارامترهای کنترل کننده PID به روش زیگلر-نیکولز [۲۱] ۵۴
جدول ۵-۲: پارامترهای کنترل کننده PID برای موتورهای DC ۵۴
جدول ۵-۳: تنظیم پارامترهای کنترل کننده PID و توصیف رفتار ربات به ازای هر ترکیب از پارامترها..۵۶
جدول ۵-۴: عملکرد کلیدهای ریموت کنترل ۵۸
جدول أ-۵-۵: مشخصات فنی موتور EMG30 ..... ۶۱
جدول ب- ۵-۶: پارامترهای سیستم پاندول معکوس دو چرخ تعادلی ۶۲

فهرست شکل‌ها

عنوان **صفحه**

شکل ۱-۱: ربات دو چرخ تعادلی (الف) [] و پاندول معکوس سنتی (ب) ۱
شکل ۱-۲: ربات تعادلی در حالت تعادل (الف) و در حالت نامتعادل (ب) ۲
شکل ۱-۳: ایجاد زاویه انحراف و حفظ آن برای حرکت ربات ۳
شکل ۱-۴ : Segway ۵
شکل ۱-۵: ویلچر تعادلی (iBOT) ۵
شکل ۱-۶ : EMIEW2 (الف) و EMIEW (ب) ۶
شکل ۱-۷ : موتور سیکلت تعادلی (Uno) ۷
شکل ۱-۸: ربات های حضور مجازی QA (الف) و QB (ب) ۸
شکل ۱-۹: nBOT ۹
شکل ۱-۱۰ : پاندول معکوس متحرک JOE ۹
شکل ۱-۱۱ : ربات دو چرخ تعادلی با عملگر چرخ عکس العملی ۱۰
شکل ۲-۱: مدل CAD ربات دو چرخ تعادلی ۱۲
شکل ۲-۲: مدل CAD پروفیل آلومینیومی (الف) و سطح مقطع پروفیل (ب) ۱۳
شکل ۲-۳: مهره و بست برای اتصال پروفیل های آلومینیومی به یکدیگر ۱۳
شکل ۲-۴ : پایه آلومینیومی برای نصب موتور روی پروفیل آلومینیوم ۱۴
شکل ۲-۵ : موتورEMG-30 ..... ۱۴
شکل ۲-۶ : چرخ ۱۰۰ میلیمتری ۱۵
شکل ۲-۷ : واحد میکروکنترلر ۱۶
شکل ۲-۸ : واحد IMU مدل SEN-10252 محصول شرکت SparkFun ۱۶
شکل ۲-۹: واحد بلوتوث AUBTM-22 محصول شرکت AUSTAR ۱۸
شکل ۲-۱۰: ریموت کنترل (الف) و واحد گیرنده RF (ب) ۱۹
شکل ۲-۱۱ : واحد راه انداز موتور DC ۱۹
شکل ۳-۱: پاندول معکوس دو چرخ ۲۱
شکل ۳-۲: نمای صفحه ای (الف) و جانبی (ب) پاندول معکوس دو چرخ ۲۲
شکل ۳-۳: نمونه ای از خصوصیات جرمی ربات محاسبه شده توسط نرم افزار *Solidworks* ۲۸
شکل ۳-۴ : شماتیک مداری موتور DC ۲۹

شکل ۳-۵: مدل Simulink پاندول معکوس متحرک ۳۰
شکل ۴-۱: شمای بلوکی سیستم حلقه بسته ۳۱
شکل ۴-۲: پاسخ ضربه سیستم حلقه باز، زاویه چرخ ها (الف)، زاویه پاندول (ب) ۳۲
شکل ۴-۳: مدل کنترل کننده PID در محیط Simulink ۳۴
شکل ۴-۴: پاسخ سیستم حلقه بسته با کنترل کننده PID، زاویه چرخ ها (الف)، زاویه پاندول (ب) ۳۴
شکل ۴-۵: کنترل کننده فیدبک حالت ۳۵
شکل ۴-۶: مدل کنترل کننده فیدبک حالت در محیط Simulink ۳۷
شکل ۴-۷: پاسخ ضربه سیستم حلقه بسته باکنترل کننده فیدبک حالت ۳۷
شکل ۴-۸: تخمین حالت ها به کمک مشاهده گر با رتبه کامل ۳۸
شکل ۴-۹: پاسخ سیستم حلقه بسته باکنترل کننده *LQR* با بهره زیاد برای زاویه اوج پاندول ۴۱
شکل ۴-۱۰: پاسخ سیستم حلقه بسته باکنترل کننده *LQR* با بهره زیاد برای موقعیت ۴۱
شکل ۴-۱۱: عملکرد بازگشتی فیلتر کالمن [۲۳] ۴۴
شکل ۵-۱: شکل فیزیکی ربات ۴۷
شکل ۵-۲: بلوک دیاگرام سخت افزار ربات دو چرخ تعادلی ۴۸
شکل ۵-۳ : تغییر دهنده سطح دو جهته ۴۹
شکل ۵-۴: نمودار تنظیم پارامترهای فیلتر کالمن(Q_A=0.001, Q_G=0.003, R_A=0.1) ۵۰
شکل ۵-۵: نمودار تنظیم پارامترهای فیلتر کالمن (Q_A=0.001, Q_G=0.002, R_A=0.005) ۵۰
شکل ۵-۶: نمودار تنظیم پارامترهای فیلتر کالمن (Q_A=0.001, Q_G=0.002, R_A=0.001) ۵۰
شکل ۵-۷: دیاگرام کنترلی پاندول معکوس دو چرخ ۵۱
شکل ۵-۸: نحوه اندازه گیری ولتاژ الکتروموتوری برگشتی ۵۲
شکل ۵-۹: پاسخ پله موتور EMG30 با پالس PWM ، ۴۰٪ ۵۳
شکل ۵-۱۰: پاسخ پله موتور EMG30 با پالس PWM ، ۴۰٪ با فیلتر پنجره ای ۵۳
شکل ۵-۱۱: پاسخ پله سیستم حلقه باز و حلقه بسته با کنترل کننده PID ۵۴
شکل ۵-۱۲: زاویه خام و فیلتر شده پاندول معکوس در حین تعادل ۵۶
شکل ۵-۱۳: زاویه خام و فیلتر شده پاندول معکوس در حین تعادل و در حضور اغتشاش خارجی ۵۶
شکل ۵-۱۴: تاثیر تغییر ناگهانی زاویه مرجع در زاویه پاندول ۵۷
شکل ۵-۱۵: زاویه خام و فیلتر شده پاندول معکوس حین چرخش ربات ۵۸

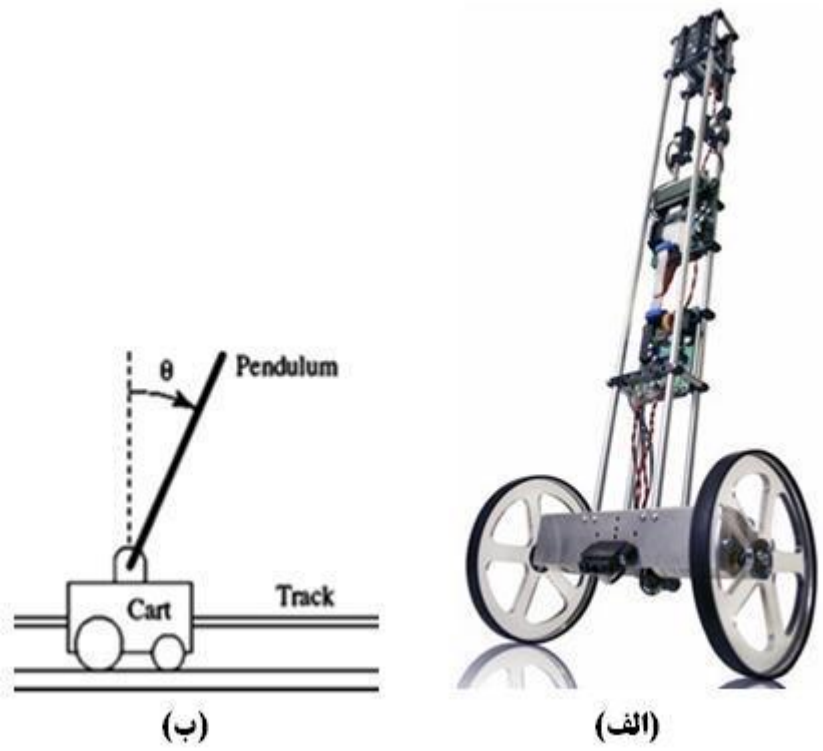
فهرست علایم و نشانه‌ها

عنوان	علامت اختصاری
قابل برنامه ریزی درون سیستم	In System Programming (ISP)
واحد اندازه گیری اینرسی	Inertial Measurement Unit (IMU)
لاگرانژین	L
تنظیم کننده مربعی خطی گوسین	Linear Quadratic Gaussian Regulator (LQG)
تنظیم کننده مربعی خطی	Linear Quadratic Regulator (LQR)
مدولاسیون عرض پالس	Pulse Width Modulation (PWM)
انرژی جنبشی	T
انرژی پتانسیل	U

فصل ۱– مقدمه

۱–۱– پیشگفتار

پاندول معکوس یک مساله سنتی[1] در دینامیک و کنترل به حساب می آید. پایه ای ترین شکل این مساله یک پاندول معکوس است که روی یک ارابه[2] قرار گرفته است و می تواند به صورت خطی به عقب و جلو حرکت کند. سپس می توان با کنترل حرکت افقی ارابه، پاندول را به صورت قائم نگاه داشت. شکل ظاهری پاندول معکوس می تواند به صورت های مختلفی تغییر نماید تا جالب تر و پیچیده تر شود. ربات دو چرخ تعادلی پاندول معکوسی است که به جای ارابه، روی دو چرخ هم محور[3] قرار دارد. با کنترل مناسب این چرخ ها علاوه بر حفظ تعادل پاندول، ربات می تواند به صورت آزادانه در محیط حرکت کند. پاندول معکوس سنتی و ربات دو چرخ تعادلی در شکل ۱-۱، مشاهده می شود.



شکل ۱-۱: ربات دو چرخ تعادلی (الف) [1] و پاندول معکوس سنتی (ب)

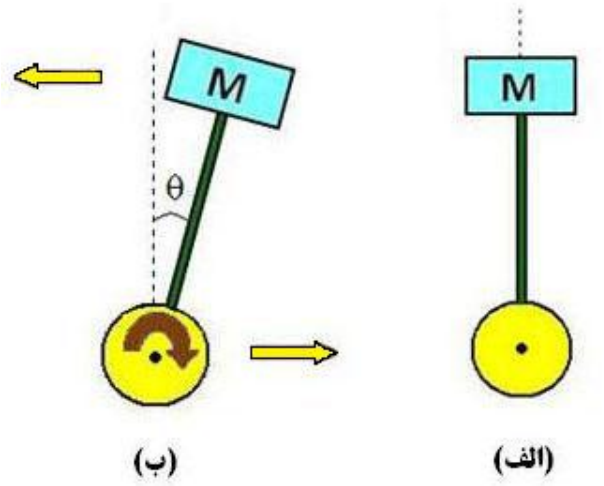
[1] Classic
[2] Cart
[3] Coaxial

۱-۲- طرح کلی پایان نامه

در این بخش به ارائه طرح کلی پایان نامه، بیان مزایای حل مساله و هدف از انجام این پایان نامه می-پردازیم.

۱-۲-۱- تعریف مسئله

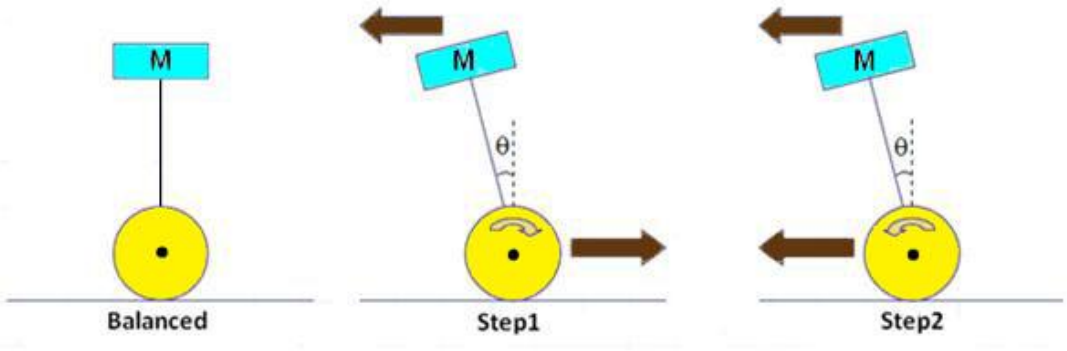
ربات دو چرخ تعادلی یک سیستم دینامیکی ناپایدار است. برای اینکه ربات به صورت متعادل قرار گیرد، باید مرکز جرم ربات و مرکز چرخ ها روی یک خط فرضی عمودی قرار گیرد. حال اگر پاندول را از وضعیت تعادل رها کنیم چه اتفاقی خواهد افتاد؟ به محض اینکه زاویه ی پاندول از صفر بیشتر شود (چه در جهت مثبت و چه در جهت منفی)، پاندول از حالت تعادل خارج شده و میل به افتادن دارد. برای جبران زاویه پاندول باید چرخ ها در همان جهت افتادن پاندول بچرخند تا زاویه انحراف به وجود آمده را جبران نمایند. شکل ۱-۲ طرح ربات دو چرخ تعادلی را در وضعیت متعادل (الف) و نامتعادل (ب)، نشان می دهد.



شکل ۱-۲: ربات تعادلی در حالت تعادل (الف) و در حالت نامتعادل (ب)

تعیین میزان گشتاوری که از طرف موتور باید به چرخ ها وارد گردد تا زاویه ی پاندول را جبران نماید، به عهده کنترل کننده می باشد و به خصوصیات دینامیکی ربات بستگی دارد.

برای اینکه ربات حرکت کند، ابتدا یک زاویه انحراف کوچک از وضعیت تعادل ایجاد می شود. ایجاد این زاویه با چرخش چرخ ها در خلاف جهتی که ربات می خواهد در آن جهت حرکت کند انجام می‌شود. پس از اینکه این زاویه انحراف کوچک ایجاد شد، جهت چرخش چرخ ها عوض می شود. سپس برای انجام حرکت، زاویه انحراف باید حفظ شود. این دو مرحله (ایجاد زاویه خطا و سپس حفظ آن)، در شکل ۱-۳ دیده می شود.



شکل ۱-۳: ایجاد زاویه انحراف و حفظ آن برای حرکت ربات

لازم به ذکر است که ربات تعادلی علاوه بر حفظ تعادل و حرکت در مسیر مستقیم باید بتواند حول محور قائم دوران کند.

۱-۲-۲- مزایای حل مسئله

با طراحی و ساخت پاندول ربات دو چرخ تعادلی علاوه بر تفهیم مساله سنتی پاندول معکوس، ابزار محک[1] مناسبی برای ارزیابی روش های کنترل موجود تهیه می شود [۲].

۱-۲-۳- هدف

هدف از انجام این پایان نامه، طراحی و ساخت ربات دو چرخ تعادلی است که شامل طراحی و ساخت قسمت های مکانیکی، الکترونیکی و کنترل این ربات می شود. ابتدا شکل فیزیکی مورد نظر برای ربات توسط نرم افزار SolidWorks طراحی می شود و سپس با استفاده از این مدل طراحی شده، ساخت قسمت مکانیکی ربات انجام می شود. طراحی مدارات الکترونیکی ربات نیز انجام شده و بردهای الکترونیکی ربات توسط نرم افزار Protell طراحی می شود. سپس نرم افزار مورد نیاز برای کنترل ربات تهیه می شود.

مدل دینامیکی ربات توسط قوانین لاگرانژ استخراج شده و کنترل کننده های مختلفی روی آن ارزیابی می شوند. ربات ساخته شده باید دارای قابلیت های زیر باشد:

- تعادل پاندول باید به خوبی حفظ شود
- ربات باید بتواند به عقب و جلو حرکت کرده و دور بزند
- ربات باید دارای یک ارتباط بی سیم[2] برای ارتباط با کامپیوتر باشد

[1] Benchmark
[2] Wireless

۱-۳- تاریخچه و روند تحقیقاتی

ربات دو چرخ تعادلی یا همان پاندول معکوس متحرک در یک دهه اخیر توجه بسیاری از محققین را به خود جلب نموده است و موضوع بسیاری از مقالات و پایان نامه ها شده است. تحقیقاتی که مرتبط با موضوع پاندول معکوس دو چرخ می باشند به دو گروه کلی تقسیم می شوند:

- تحقیقاتی که مربوط به استخراج مدل دینامیکی ربات می باشند
- تحقیقاتی که مربوط به کنترل پاندول معکوس دو چرخ می باشند

در مقالات متعددی مدل دینامیکی ربات به روش های نیوتن [۳]، لاگرانژ [۴] و کین [۵] محاسبه شده است. همچنین کارایی کنترل کننده های مختلف اعم از خطی و غیرخطی و کلاسیک و هوشمند روی این سیستم بررسی شده است. به عنوان نمونه می توان کنترل کننده های PID [۶]، LQR [۷]، مد لغزشی[1] [۸]، شبکه عصبی [۲]، خطی سازی فیدبک[2] [۹] و... را نام برد.

امروزه محصولات تجاری بسیاری بر پایه ربات تعادلی ساخته شده است و همچنین محققین در گوشه و کنار دنیا نمونه ای[3] از این ربات را برای انجام کارهای تحقیقاتی خود ساخته اند. در بخش های بعدی به بررسی چند نمونه از این محصولات می پردازیم.

۱-۳-۱- ربات Segway و ویلچر iBOT

Segway یک وسیله نقلیه دو چرخ تعادلی است که توسط شرکت Segwag Inc تولید می شود. این وسیله توسط آقای دین کامن[4] در سال ۲۰۰۱ ابداع شد. Segway توسط موتورهای سروو حرکت می کند و سرعت آن می تواند به ۲۰ کیلومتر در ساعت برسد. باطری این وسیله از نوع لیتیوم یون بر پایه فسفات[5] بوده و امکان شارژ از طریق برق شهر را دارد. با شارژ کامل این باطری بسته به مدل Segway می توان ۱۴ تا ۴۰ کیلومتر راه پیمود. حداقل وزن راننده باید ۴۵ کیلوگرم و حداکثر وزن آن ۱۱۷ کیلوگرم باشد. راننده Segway می تواند با هل دادن خود به جلو و عقب، شتاب آن را زیاد یا کم کند. برای تشخیص جابجایی مرکز جرم در Segway از چندین حسگر جایرو[6] و حسگرهای زاویه سنجی[7] که بر

[1] Sliding Mode
[2] Feedback Linearization
[3] Prototype
[4] Dean Kamen
[5] Phosphate-based Lithium-ion
[6] Gyroscopic Sensors
[7] Tilt Sensors

اساس سطح مایعات کار می کند، استفاده شده است [۱۰]. شکل ۱-۴ یک نمونه Segway را نمایش می دهد.

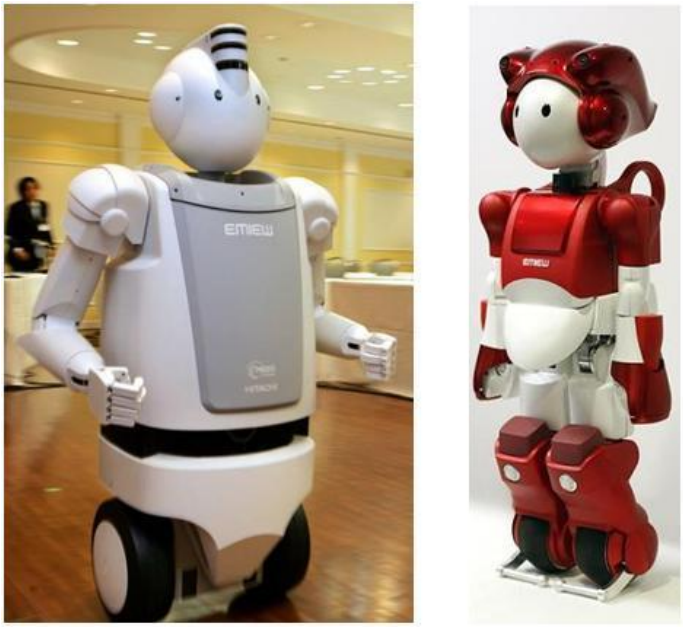
شکل ۱-۴ : Segway

یکی دیگر از کاربردهای پاندول معکوس در ساخت ویلچرهای فاقد چرخک کمکی است [۱۱]. در سال ۲۰۰۶ ، دین کامن دومین اختراع خود با نام *iBOT* را تجاری نمود. *iBOT* یک ویلچر پیشرفته است که امکان بالا رفتن از پله و تعادل روی دو چرخ را دارد. وقتی ویلچر در وضعیت تعادلی قرار می گیرد ارتفاع آن زیاد شده و امکان انجام بعضی از فعالیت ها مانند فشردن زنگ منزل را به فرد معلول می دهد [۱۲]. شکل ۱-۵ ویلچر *ibot* را در وضعیت تعادلی نمایش می دهد.

شکل ۱-۵: ویلچر تعادلی (iBOT)

۱-۳-۲- ربات EMIEW

EMIEW[1] یک ربات انسان نمای دو چرخ تعادلی است که توسط گروه تحقیقاتی شرکت هیتاچی[2] ساخته شده است [۱۳]. این ربات به عنوان ربات راهنما[3] یا ناظر[4] در دفاتر اداری، کارخانه ها و بیمارستان ها به کار می رود. هیتاچی دو مدل از این ربات را عرضه کرده است. این دو مدل توانایی شناسایی موانع را دارند و حداکثر سرعت آن ها به ۶ کیلومتر بر ساعت می رسد. EMIEW2 نسخه جدیدی از EMIEW است که با اضافه کردن یک سیستم تعلیق[5] به هر پای ربات قابلیت تحرک آن را افزایش داده است و ویژگی تشخیص فرمان های صوتی نیز به آن افزوده شده است [۱۴]. شکل ۱-۶ این دو ربات را نمایش می دهد.



(ب) (الف)

شکل ۱-۶ : EMIEW2 (الف) و EMIEW (ب)

در جدول زیر مقایسه ای از این دو مدل ارائه شده است.

[1] Excellent Mobility and Interactive Existence as Workmate
[2] Hitachi
[3] Guide
[4] Surveillance
[5] Suspension System

جدول ۱-۱: مقایسه EMIEW و EMIEW2

مدل	EMIEW	EMIEW2
سال تولید	2005	2007
وزن	70 kg	13 kg
ارتفاع	130 cm	80 cm
حداکثر سرعت	6 km/hour	6 km/hour
شتاب	4 m/s^2	4 m/s^2
تعداد درجات آزادی	14	25

۱-۳-۳- موتورسیکلت UNO

Uno یک موتور سیکلت دو چرخ تعادلی است که ایده اصلی آن در سال ۲۰۰۶ توسط بن گالاک[1] نوجوان ۱۷ ساله کانادایی ارائه گردید. بن برای عملی کردن ایده خود از یک متخصص رباتیک به نام تروور بلکول[2] کمک گرفت. Uno برای اولین بار در بهار سال ۲۰۰۸ در نمایشگاه موتور سیکلت شهر تورنتو به نمایش عمومی گذاشته شد و در همان سال جزو ۱۰ ابتکار برتر از نگاه مجله علوم محبوب[3] قرار گرفت. سیستم حرکتی Uno مشابه Segway بوده و برای حرکت به سمت جلو راننده باید خود را به جلو هل دهد و برای کم شدن سرعت و توقف خود را به عقب بکشد. در شکل ۱-۷، گالاک سوار بر موتور سیکلت تعادلی خود مشاهده می شود.

شکل ۱-۷ : موتور سیکلت تعادلی (Uno)

[1] Ben Gulak
[2] Trevor Blackwell
[3] Popular Science