



دانشگاه آزاد اسلامی

واحد قزوین

دانشکده مهندسی برق، مکاترونیک و مهندسی پزشکی
پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد
مهندسی برق، گرایش سیستمهای الکترونیک دیجیتال

عنوان:

طراحی و پیاده سازی ربات دوچرخه امدادگر دست پرتاب HSL

نگارش:

سعید بازرگان

استاد راهنما:

محمد نوروزی

بهار ۱۴۰۴

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



معاونت پژوهش و فناوری

به نام خدا

مشور اخلاق پژوهش

بیامیزی از خداوند سبحان و اعتقاد به این که عالم محضر خداست و همواره ناظر بر افعال انسان و به منظور پاس داشت مقام بلند دانش و پژوهش و نظر به اهمیت جایگاه دانشگاه در امتلای فرهنگ و تمدن بشری، دانشجویان و اعضاء هیأت علمی و انشعاده آزاد اسلامی متعهد می گردیم اصول زیر را در انجام فعالیت های پژوهشی مد نظر قرار داده و از آن تحفظی نکنیم:

- ۱- اصل برائت: التزام به برائت جویی از هرگونه رفتار غیر حرفه ای و اعلام موضع نسبت به کسانی که حوزه علم و پژوهش را به مثابه های غیر علمی می آلائند.
- ۲- اصل رعایت انصاف و امانت: تعهد به اجتناب از هرگونه جانب داری غیر علمی و حفاظت از اموال، تجهیزات و منابع در اختیار.
- ۳- اصل ترویج: تعهد به رواج دانش و ارائه نتایج تحقیقات و انتقال آن به بکارگران علمی و دانشجویان به غیر از مواردی که منع قانونی دارد.
- ۴- اصل احترام: تعهد به رعایت حریم ناموس و حرمت و انجام تحقیقات و رعایت جانب تقد و خودداری از هرگونه حرمت شکنی.
- ۵- اصل رعایت حقوق: التزام به رعایت کامل حقوق پژوهشگران، پرسنل، و پژوهشگران (انسان، حیوان و نبات) و سایر صاحبان حق.
- ۶- اصل رازداری: تعهد به صیانت از اسرار و اطلاعات محرمانه افراد، سازمان ها و کشورهای مربوطه و نهاد های مرتبط با تحقیق.
- ۷- اصل حقیقت جویی: تلاش در راستای پی جویی حقیقت و وفاداری به آن و دوری از هرگونه پنهان سازی حقیقت.
- ۸- اصل مالکیت مادی و معنوی: تعهد به رعایت کامل حقوق مادی و معنوی دانشگاه و کلیه بکارگران پژوهش.
- ۹- اصل منافع ملی: تعهد به رعایت مصالح ملی و در نظر داشتن بهر دو توسعه کشور و کلیه مراحل پژوهش.

تعهدنامه اصالت پایان نامه

اینجانب سعید بازرگان دانش آموخته مقطع کارشناسی ارشد در رشته الکترونیک دیجیتال که در تاریخ از پایان نامه خود تحت عنوان طراحی و پیاده سازی ربات دوچرخ امدادگر دست پرتاب HSL با کسب نمره دفاع نموده ام، بدینوسیله متعهد می شوم:

۱) این پایان نامه حاصل تحقیق و پژوهش انجام شده توسط اینجانب بوده و در مواردی که از دستاوردهای علمی و پژوهشی دیگران (اعم از پایان نامه، کتاب، مقاله و ...) استفاده نموده ام، مطابق ضوابط و رویه موجود، نام منبع مورد استفاده و سایر مشخصات آن را در فهرست مربوطه ذکر و درج کرده ام.

۲) این پایان نامه قبلاً برای دریافت هیچ مدرک تحصیلی (هم سطح، پایین تر یا بالاتر) در سایر دانشگاه ها و موسسات آموزش عالی ارائه نشده است.

۳) چنانچه بعد از فراغت از تحصیل، قصد استفاده و هر گونه بهره برداری اعم از چاپ کتاب، ثبت اختراع و ... از این پایان نامه داشته باشم، از حوزه معاونت پژوهشی واحد مجوزهای مربوطه را اخذ نمایم.

۴) چنانچه در هر مقطع زمانی خلاف موارد فوق ثابت شود، عواقب ناشی از آن را می پذیرم و واحد دانشگاهی مجاز است با اینجانب مطابق ضوابط و مقررات رفتار نموده و در صورت ابطال مدرک تحصیلی ام هیچگونه ادعایی نخواهم داشت.

نام و نام خانوادگی: سعید بازرگان

تاریخ و امضا

تشکر و قدردانی:

با نهایت احترام و امتنان، بدینوسیله از استاد گرامی و محترم، جناب آقای دکتر نوروزی که با هدایت‌ها و راهنمایی‌های ارزشمند خود در طول انجام این پژوهش، اینجانب را یاری نمودند، تشکر و قدردانی می‌نمایم. از صبر و شکیبایی و همچنین توجهات بی‌دریغ ایشان که موجب پیشبرد پژوهش گردید، صمیمانه سپاسگزارم.

همچنین از تمامی اعضای خانواده و دوستان که در طول این مسیر پشتیبان من بودند، کمال تشکر را دارم.

چکیده:

توسعه ربات‌های امداد و نجات مقرون به صرفه برای افزایش ایمنی و کارایی در محیط‌های خطرناک که دسترسی انسان به آن‌ها دشوار است، امری ضروری است. در حالی که تاکنون طراحی‌های متعددی برای ربات‌های امدادگر ارائه شده، اما ترکیب ویژگی‌هایی نظیر تحرک بالا، هزینه ساخت کم، استقرار سریع، امنیت ارتباطات و عملکرد هوشمند در یک پلتفرم واحد، همچنان یک چالش بزرگ محسوب می‌شود. این پایان‌نامه به طراحی و پیاده‌سازی یک ربات امدادگر دست‌پرتاب دوچرخ می‌پردازد که قابلیت ارسال اطلاعات محیط، ارتباط بی‌سیم رمزنگاری شده و تحمل شرایط سخت محیطی را دارد. این ربات با استفاده از یک Raspberry Pi Zero 2W به عنوان پردازنده اصلی، داده‌های محیطی را از طریق دوربین و میکروفون داخلی دریافت کرده و به یک رابط کاربری گرافیکی در سمت کاربر ارسال می‌کند. جهت افزایش امنیت ارتباطات، تمامی داده‌های ارسال شده با الگوریتم رمزنگاری RSA-2048 محافظت شده و همچنین با CRC سخت‌افزاری کنترل خطا می‌شود. برای بهینه‌سازی مصرف توان و عملکرد بلادرنگ، سیستم عامل بلادرنگ FreeRTOS بر روی میکروکنترلر ARM با معماری Cortex-M اجرا شده است که امکان مدیریت چندین وظیفه همزمان را فراهم می‌کند.

در مقایسه با سیستم‌های مشابه، این ربات دارای وزن کم، طراحی مقاوم، الگوریتم‌های مسیریابی بهینه و قابلیت پردازش تصویر بلادرنگ است. همچنین، اطلاعات به طوری فشرده و بهینه‌سازی شده‌اند که باعث کاهش تأخیر ارسال داده‌ها و افزایش دوام باتری می‌شود. آزمایش‌های عملی نشان داده که ربات قادر است در مسیرهای ناهموار، محیط‌های کم نور و ارتباطات بی‌سیم با برد بالا عملکرد مطلوبی داشته باشد. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که این طراحی می‌تواند یک گزینه مقرون به صرفه و کارآمد برای عملیات امداد و نجات، تحقیقات و برنامه‌های آموزشی، نظامی و نظارت از راه دور باشد. در نهایت، پیشنهادهایی برای بهبود قابلیت‌های خودمختاری، افزایش دقت سنسورها و بهینه‌سازی سیستم ارتباطات ارائه شده است که شبیه‌سازی دقیق درباره اقدامات آینده این ربات نیز در محیط نرم‌افزاری Gazebo صورت خواهد گرفت که در حال حاضر توسط آزمایشگاه تحقیقات مکاترونیک MRL در دست توسعه است.

کلمات کلیدی: ربات‌های متحرک، جستجو و امدادگر، دست پرتاب، انتشار اطلاعات

فهرست مطالب

فصل ۱: مقدمه	۱
۱-۱- مقدمه‌ای بر ربات‌های متحرک:	۲
۱-۱-۱- انواع ربات‌های متحرک:	۳
۱-۱-۲- کاربرد ربات‌های متحرک:	۴
۲-۱- چالش‌های پیش روی ربات‌های متحرک:	۵
۳-۱- مطالعه انجام شده درباره ربات‌های چرخ‌دار متحرک:	۶
۳-۱-۱- تاریخچه ساخت ربات‌های چرخ‌دار متحرک:	۷
۴-۱- مطالعه انجام شده درباره ربات‌های پادار متحرک:	۸
۴-۱-۱- تاریخچه ساخت ربات‌های پادار متحرک:	۹
۵-۱- ربات‌های متحرک در امداد و نجات:	۱۰
۶-۱- موضوع پژوهش:	۱۱
۶-۱-۱- شرح کلی صورت مسئله:	۱۱
۶-۱-۲- اهداف پژوهش:	۱۳
۶-۱-۳- ساختار پایان‌نامه:	۱۴
فصل ۲: پیشرفت‌های پیشین در زمینه ربات‌های امدادگر دست‌پرتاب	۱۵
۱-۲- مقدمه:	۱۶
۱-۱-۲- تحقیقات اولیه:	۱۶
۲-۱-۲- پروژه‌های برجسته و نوآوری‌های اخیر:	۱۸
فصل ۳: ربات دوچرخ امدادگر دست‌پرتاب HSL	۲۱
۱-۳- طراحی کلی و معماری ربات:	۲۲
۱-۱-۳- چارچوب کلی طراحی:	۲۲
۲-۳- ساخت‌افزار مکانیکی، مدل حرکتی و سینماتیک ربات:	۲۳
۱-۲-۳- مدل حرکتی و سینماتیک ربات:	۲۴
۳-۳- ساخت‌افزار و اجزای الکترونیکی:	۲۶
۴-۳- سیستم‌های نهفته:	۲۸

۳-۵- نرم افزار کنترلی و ارتباطات ربات:	۳۱
۳-۵-۱- سیستم ارتباطی رمزنگاری شده:	۳۲
۳-۵-۲- سیستم کنترل حرکتی:	۳۳
۳-۵-۳- پردازش تصویر و صدا:	۳۴
فصل ۴: نتایج، دستاوردها و پیشنهادات	۳۸
۴-۱- نتیجه گیری:	۳۹
۴-۲- دستاوردهای حاصل شده:	۴۰
۴-۳- پیشنهادات ارائه شده جهت ارتقاء:	۴۱
مراجع:	۴۳

فهرست اشکال

- شکل (۱-۱) نمونه‌ای از توصیف رفتار حرکتی در ربات ۲ چرخ (کومان و لونسکو، ۲۰۱۴)..... ۶
- شکل (۲-۱) راست-ربات شی کی چپ-ربات متحرک هیلاری ۷
- شکل (۳-۱) نمایشی از اولین ربات‌های ساخته شده در اروپا ۸
- شکل (۴-۱) صفحات سه گانه طولی، روبرویی و عرضی مورد بررسی در ربات‌های انسان‌نما و دوپا ۹
- شکل (۵-۱) راست-ربات طراحی شده توسط لئوناردو داوینچی چپ- انسان الکتریکی ساخته شده توسط فرانک رید ۹
- شکل (۱-۲) نمونه‌ای از یک ربات امدادگر دست‌پرتاب که توسط تیم‌های دانشگاهی ساخته شده است. ۱۷
- شکل (۲-۲) نمونه‌ای از ربات امداد و نجات دست‌پرتاب ساخته شده در سال‌های اخیر ۱۸
- شکل (۳-۲) نمونه‌ای از ربات‌های ساخته شده در سال‌های اخیر ۱۹
- شکل (۴-۲) نمونه‌ای از ربات‌های ساخته شده در سال‌های اخیر ۱۹
- شکل (۱-۳) نمونه اولیه طراحی شده از بدنه ربات دست پرتاب امدادگر ۲۳
- شکل (۲-۳) نمونه طراحی شده از چرخ ربات دست‌پرتاب امدادگر ۲۵
- شکل (۳-۳) نمایشی از مدارات به کار رفته در ربات امدادگر دوچرخ دست‌پرتاب ۲۷
- شکل (۴-۳) بلوک دیاگرام کلی ربات ۲۸
- شکل (۵-۳) ساختار کلی سیستم عامل بلادرنگ ۳۰
- شکل (۶-۳) نمودار خروجی فیلترینگ در سه محور اصلی ۳۱
- شکل (۷-۳) نمونه‌ای از کلید عمومی ساخته شده به وسیله الگوریتم آر اس ای-۲۰۴۸ بیتی ۳۲
- شکل (۸-۳) نمایشی از برنامه کنترلی که در اختیار کاربر قرار می‌گیرد ۳۴
- شکل (۹-۳) نمونه‌ای از برنامه نوشته شده جهت فشردن سازی اطلاعات و ارسال آن ۳۵
- شکل (۱۱-۳) نحوه استفاده از سی آر سی سخت‌افزاری بر روی داده‌های ارسالی و دریافتی این ربات ۳۶
- شکل (۱-۴) نمایشی از ربات امدادگر دوچرخ دست‌پرتاب ۳۹

فصل ۱: مقدمه

۱-۱- مقدمه‌ای بر ربات‌های متحرک:

ربات‌های متحرک^۱ یکی از شاخه‌های پیشرفته و پر کاربرد علم رباتیک هستند که توانایی حرکت و جابجایی در محیط‌های گوناگون را دارند. این ربات‌ها بسته به طراحی و نوع کاربردها می‌توانند به صورت خودمختار یا هدایت شونده از راه دور عمل کنند و در صنایع مختلفی از جمله صنعت، حمل و نقل، پزشکی، کاوش‌های فضایی، امداد و نجات، خدمات شهری و حتی مصارف خانگی مورد استفاده قرار گیرند. یکی از ویژگی‌های کلیدی ربات‌های متحرک، توانایی درک و تحلیل محیط اطراف و واکنش مناسب به تغییرات آن است. این ربات‌ها به حسگرهای متعددی مانند دوربین^۲، لیدار^۳ و حسگرهای اولتراسونیک^۴، سنسورهای مادون قرمز، ژيروسکوپ^۵، شتاب‌سنج^۶، و حسگرهای موقعیت یابی مجهز شده‌اند. این حسگرها، داده‌های محیطی را جمع‌آوری کرده و اطلاعات لازم را برای تحلیل و تصمیم‌گیری در اختیار واحد پردازش قرار می‌دهند. ربات‌ها با استفاده از الگوریتم‌های پردازش تصویر، یادگیری ماشین و هوش مصنوعی می‌توانند اشیاء و موانع موجود در مسیر را شناسایی کرده و با به کارگیری روش‌های پردازش داده سنسوری، بهترین مسیر ممکن را برای حرکت خود انتخاب کنند.

کنترل حرکتی ربات‌های متحرک بر اساس مدل‌های دینامیکی، سیستم‌های کنترلی پیشرفته و الگوریتم‌های مسیریابی^۶ هوشمند انجام می‌گیرد. در این راستا، روش‌هایی مانند کنترل فازی و شبکه‌های عصبی به کار گرفته می‌شوند تا ربات بتواند با دقت بالا در محیط‌های ناشناخته و پیچیده حرکت کند. علاوه بر این، برخی از ربات‌های پیشرفته به فناوری نقشه برداری^۷ مجهز هستند که به آن‌ها این امکان را می‌دهد تا نقشه‌ای از محیط ناشناخته را به صورت همزمان ایجاد کرده و موقعیت خود را در آن مشخص کنند. این ویژگی در کاربردهایی نظیر ربات‌های خودران، وسایل نقلیه هوشمند و ربات‌های کاوشگر اهمیت بسیار زیادی دارد. در کنار این قابلیت‌ها، پایداری و بهینه‌سازی مصرف انرژی نیز از چالش‌های مهم در طراحی ربات‌های متحرک محسوب می‌شود. بسته به کاربرد ربات، از منابع تغذیه مختلفی نظیر باتری، پیل‌های سوختی و یا سیستم‌های انرژی خورشیدی برای تأمین انرژی آن استفاده می‌شود. بهینه‌سازی مصرف انرژی، به ویژه در ربات‌هایی که برای مأموریت‌های طولانی مدت و در محیط‌های بدون دسترسی طراحی شده‌اند، یک موضوع حیاتی به شمار می‌رود. برای این منظور، سیستم‌های کنترلی هوشمند و پردازنده‌های

^۱ Mobile-Robots

^۲ Lidar

^۳ Ultrasonic

^۴ Gyroscope

^۵ Accelerator

^۶ Path-Planning

^۷ SLAM

کم مصرف در این ربات‌ها به کار گرفته می‌شوند تا علاوه بر افزایش کارایی، طول عمر عملیاتی آن‌ها نیز افزایش یابد. با توجه به پیشرفت‌های اخیر در شبکه‌های ارتباطی مانند ۵-جی^۸ و پروتکل‌های ارتباطی بی‌سیم، ربات‌های متحرک امروزی می‌توانند تحت شبکه‌های توزیع شده فعالیت کنند و از قابلیت‌هایی مانند کنترل از راه دور، پردازش داده و همکاری با سایر ربات‌ها بهره‌مند شوند. این پیشرفت‌ها نه تنها موجب افزایش دقت و سرعت پردازش اطلاعات می‌شوند، بلکه امکان کنترل بلادرنگ و انجام مأموریت‌های پیچیده را نیز فراهم می‌سازند.

در مجموع، ربات‌های متحرک با ترکیبی از فناوری‌های پیشرفته همچون هوش مصنوعی، یادگیری ماشین، سیستم‌های ناوبری دقیق و بهینه‌سازی مصرف انرژی، نقش حیاتی در آینده صنعت و زندگی روزمره ایفا خواهند کرد. پیش بینی می‌شود که با بهبود عملکرد حسگرها، الگوریتم‌های مسیریابی پیشرفته‌تر و استفاده از منابع انرژی کارآمدتر، نسل جدیدی از ربات‌های متحرک با قابلیت‌های بیشتر و توانایی‌های بهینه‌تر به عرصه فناوری معرفی شوند.

۱-۱-۱- انواع ربات‌های متحرک:

ربات‌های متحرک بسته به نوع حرکت و مکانیزم جابجایی که برای پیمایش در محیط از آن استفاده می‌کنند، به دسته‌های مختلفی تقسیم می‌شوند. هر یک از این دسته‌ها دارای ساختار، ویژگی‌ها و قابلیت‌های منحصر به فردی هستند که آن‌ها را برای کاربردهای خاصی مناسب می‌سازد. دو دسته پر کاربرد از میان این ربات‌ها، ربات‌های چرخ‌دار و ربات‌های پادار هستند که هر کدام مزایا و محدودیت‌های خاص خود را دارند. ربات‌های چرخ‌دار از چرخ برای جابجایی استفاده می‌کنند و به دلیل سادگی مکانیکی، مصرف انرژی پایین و کنترل آسان، یکی از رایج‌ترین ربات‌های متحرک محسوب می‌شوند. این ربات‌ها برای حرکت در سطوح صاف و یکنواخت مانند محیط‌های داخلی، جاده‌های آسفالت شده و مسیرهای هموار، عملکرد بسیار خوبی دارند. با این حال، حرکت در زمین‌های ناهموار، پله‌ها و مسیرهای دارای موانع زیاد برای آن‌ها چالش برانگیز است.

در مقابل، ربات‌های پادار که عمدتاً به ربات‌های انسان‌نما معروف هستند، از پا برای حرکت استفاده می‌کنند. این نوع ربات‌ها به دلیل انعطاف‌پذیری بالاتر، امکان حرکت در زمین‌های دشوار، پله‌ها، سطوح ناصاف و محیط‌های طبیعی را دارند. مکانیزم حرکتی پیچیده‌تر، مصرف انرژی بالاتر و نیاز به الگوریتم‌های کنترلی پیشرفته، از چالش‌های اصلی این نوع ربات‌ها محسوب می‌شود. هر یک از این دو نوع ربات، بسته به

^۸ 5G

شرایط محیطی، کاربرد مورد نظر و نیازهای عملیاتی، می‌توانند انتخاب مناسبی باشند. در جدول زیر، برخی از ویژگی‌ها، مزایا و معایب این دو دسته از ربات‌های متحرک مقایسه شده‌اند.

جدول (۱-۱) مزایا و معایب حرکتی ربات‌های چرخ‌دار و پادار

نوع	مزایا	معایب
چرخ‌دار	حرکت آسان	نیاز به مسیر تکیه‌گاهی پیوسته
	طراحی آسان	مشکلاتی در مانور دادن
	مصرف انرژی کم	افزایش تعداد چرخ‌ها برای حرکت‌های چند وجهی
	کنترل راحت‌تر به دلیل مکانیزم آسان آن‌ها	
	کمبود مشکلات پایداری در حرکت	
پادار	حرکت چند وجهی	طراحی پیچیده
	جداسازی مسیر حرکت بدن ربات از مسیر پاها	مصرف توان بالا
	آسیب کمتر به محیط	کنترل بسیار پیچیده
	طبیعی، مانند گونه‌های حیوانی	سرعت کم حرکت بر روی سطوح
	تطبیق بهتر با محیط‌های انسانی	

۱-۲- کاربرد ربات‌های متحرک:

ربات‌های متحرک در صنایع و حوزه‌های مختلفی کاربرد دارند که برخی از مهم‌ترین آن‌ها عبارت‌اند از:

- صنعت و تولید: استفاده در خطوط تولید، انبارداری هوشمند و حمل مواد اولیه.
- حمل و نقل و لجستیک^۹: خودروهای خودران و ربات‌های تحویل کالا.
- پزشکی و مراقبت‌های بهداشتی: ربات‌های جراحی، حمل دارو و کمک به بیماران.
- کاوش‌های فضایی: مریخ‌نوردهای بدون سرنشین.
- امداد و نجات: جستجوی نجات در بلایای طبیعی و مناطق خطرناک.

در آینده، پیشرفت‌های بیشتری در زمینه طراحی، الگوریتم‌های هوش مصنوعی و بهینه‌سازی مصرف انرژی حاصل خواهد شد که ربات‌های متحرک به شکل گسترده‌تری در زندگی روزمره و صنایع مختلف مورد استفاده قرار گیرند. توسعه شبکه‌های ارتباطی پیشرفته مانند ۵-جی می‌تواند امکان کنترل بهتر و دقیق‌تر این ربات‌ها را فراهم سازد، به ویژه برای کاربردهایی مانند ربات‌های خودران شهری و ربات‌های صنعتی متصل به اینترنت اشیا.

^۹ Logistics

از سوی دیگر، ترکیب ربات‌های متحرک با یادگیری عمیق و سیستم‌های تصمیم‌گیری پیشرفته موجب خواهد شد که این ربات‌ها توانایی بیشتری در درک محیط، تعامل با انسان و سازگاری با شرایط غیرمنتظره پیدا کنند. به طور مثال، ربات‌هایی که در محیط‌های شهری تردد می‌کنند، می‌توانند از مدل‌های پیشرفته بینایی ماشین برای شناسایی موانع، افراد و علائم راهنمایی و رانندگی استفاده کنند. به طور کلی، ربات‌های متحرک نه تنها در صنایع موجود نقش کلیدی ایفا می‌کنند، بلکه در حوزه‌های نوظهور مانند کشاورزی هوشمند، مدیریت پسماند و شهرهای هوشمند نیز کاربردهای گسترده‌تری خواهند یافت.

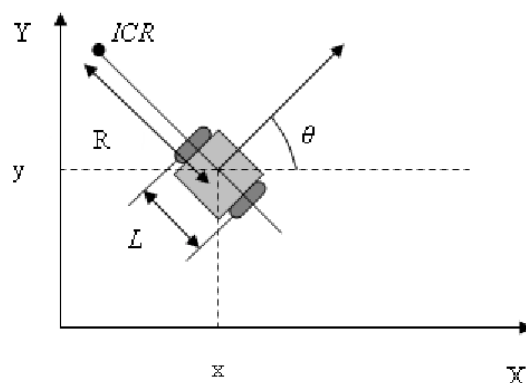
۱-۲- چالش‌های پیش روی ربات‌های متحرک:

با پیشرفت فناوری، ربات‌های متحرک به سطح بالاتری از هوش، انعطاف‌پذیری و استقلال عملیاتی رسیده‌اند. از خودروهای خودران گرفته تا پهپادهای هوشمند و ربات‌های امدادگر که این سیستم‌ها نقش حیاتی در نجات جان انسان‌ها، اکتشافات و حمل و نقل هوشمند ایفا می‌کنند. با این حال، چالش‌هایی همچنان در مسیر توسعه این فناوری‌ها وجود دارد که برخی از آن‌ها عبارت‌اند از:

- پردازش داده حسگرها: دریافت و تحلیل حجم بالای داده‌های سنسوری برای تصمیم‌گیری لحظه‌ای، بدون افزایش تأخیر پردازشی، یک چالش اساسی محسوب می‌شود.
- ناوبری و مسیریابی بهینه: یافتن کوتاه‌ترین و امن‌ترین مسیر در محیط‌های متغیر و ناشناخته، نیازمند پردازش سریع داده‌های محیطی و ترکیب اطلاعات سنسوری است.
- حفظ تعادل و پایداری: در ربات‌های دوچرخ و چهارچرخ، حفظ پایداری به ویژه در سطوح ناهموار، بهینه‌سازی سیستم‌های کنترلی را ضروری می‌سازد.
- مدیریت مصرف انرژی: کاهش مصرف انرژی و افزایش بازدهی باتری‌ها برای عملکرد طولانی مدت ربات‌ها، یکی از موانع اصلی توسعه این سیستم‌ها است.
- امنیت داده‌ها و ارتباطات: ارتباطات بی‌سیم در ربات‌های متحرک نیازمند رمزنگاری داده‌ها با الگوریتم‌هایی همچون آر اس ای-۲۰۴۸^{۱۰} و احراز هویت دوطرفه است و برای حفظ امنیت ارتباطات ضروری است.
- تعامل هوشمند با محیط: ربات‌ها باید توانایی تشخیص دقیق اشیاء، موانع و تعامل مناسب با انسان‌ها را داشته باشند و همچنین بهبود الگوریتم‌های پردازش تصویر به افزایش دقت تشخیص و پاسخگویی کمک خواهد کرد.

۳-۱- مطالعه انجام شده درباره ربات‌های چرخ‌دار متحرک:

مطالعه‌های پیشین انجام شده در حوزه ربات‌های متحرک و چرخ‌دار بر توسعه مدل‌های حرکتی، کنترل ناوبری، بهینه‌سازی مصرف انرژی و بهبود تعامل با محیط تمرکز داشته‌اند. بسیاری از مقالات و پژوهش‌ها به بررسی راهکارهای افزایش پایداری و دقت حرکت ربات‌های چرخ‌دار در شرایط مختلف پرداخته‌اند. یکی از حوزه‌های کلیدی مطالعه، مدل‌سازی دینامیکی ربات‌های چرخ‌دار است که تلاش دارد تا تأثیر اصطکاک، وزن و نیروی گرانش بر حرکت را بررسی کند و از مدل‌های کلاسیکی مانند مدل درایو دیفرانسیلی^{۱۱} برای توصیف رفتار حرکتی اینگونه ربات‌ها به کار گرفته‌اند (الن، ۲۰۱۳)^{۱۲}.



شکل (۱-۱) نمونه‌ای از توصیف رفتار حرکتی در ربات ۲ چرخ (کومان و لونسکو، ۲۰۱۴)^{۱۳}

یکی دیگر از چالش‌های مطرح شده در پژوهش‌های گذشته، کنترل پایدار و حرکت روی سطوح ناهموار است. تحقیقات مختلف نشان داده‌اند که ترکیب حسگرهایی همچون لیدار، بینایی ماشین، و واحدهای اندازه‌گیری اینرسی^{۱۴} می‌توانند به بهبود حرکت ربات‌های چرخ‌دار در محیط‌های پیچیده کمک کنند. مطالعاتی در زمینه ناوبری اجتماعی نیز صورت گرفته است که هدف آن‌ها ایجاد رفتارهای طبیعی‌تر برای ربات‌های چرخ‌دار در محیط‌های انسانی است. در نتیجه، الگوریتم‌های یادگیری تقویتی^{۱۵} و پردازش تصویر به این ربات‌ها امکان داده است تا در محیط‌های شلوغ به گونه‌ای حرکت و عمل کنند که با کمترین مزاحمت برای افراد همراه باشد. لذا یکی از حوزه‌های پررنگ تحقیقاتی، بررسی تعاملات میان انسان و ربات‌ها بوده است و توسعه رابط‌های گرافیکی بهینه و الگوریتم‌های هوشمند باعث می‌شود تا ربات‌ها بتوانند به طور مؤثرتری با انسان‌ها ارتباط برقرار کنند.

^{۱۱} Differential Drive Kinematics

^{۱۲} Allen P

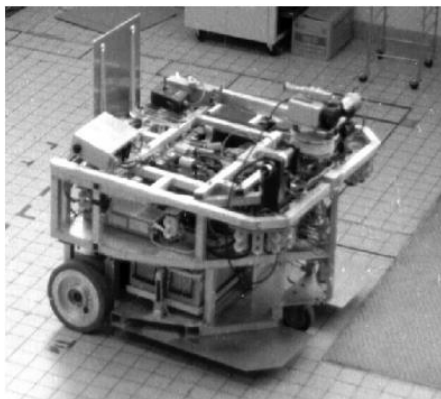
^{۱۳} Coman D, Lonescu A

^{۱۴} Inertial Measurement Unit (IMU)

^{۱۵} Reinforcement learning

۱-۳-۱- تاریخچه ساخت ربات‌های چرخ‌دار متحرک:

تاریخچه ربات چرخ‌دار در دهه ۶۰ میلادی آغاز می‌شود. در سال ۱۹۶۰ در مؤسسه تحقیقاتی استنفورد، ساخت ربات شی کی^{۱۶} به پایان رسید. این اولین و تنها رباتی بود که با استفاده از یک برنامه کنترل می‌شد. سپس هیلاری^{۱۷} مطابق با شکل زیر ساخته شد و یک نمونه عالی از سیستمی است که از یک روش کنترل کلاسیک استفاده می‌کند. این ربات مجهز به حلقه‌ای متشکل از ۱۴ حسگر اولتراسونیک، یک سیستم مادون قرمز و یک دوربین بود. این سیستم سعی کرد یک مدل جهانی دقیق به دست آورد تا ربات بتواند خود را در داخل آن قرار دهد (گولتیرز و باربر، ۲۰۰۵).



شکل (۱-۲) راست-ربات شی کی چپ-ربات متحرک هیلاری

از طرفی در ربات‌های چرخ‌دار، ربات‌هایی که در محیط‌های بیرونی^{۱۸} کار می‌کنند را نمی‌توان فراموش کرد. هدف آن‌ها بر بهبود استقلال اینگونه ربات‌ها در یک محیط باز بوده و است. برای رسیدن به این هدف، توسعه تصمیم‌گیری و استفاده از سیستم‌هایی بر پایه سنسور^{۱۹} امری ضروری است که در این جهت طراحی‌های مختلف مکانیکی با توجه به کاربردهایی که برای آن توسعه داده شده، صورت گرفته است و این کاربردها می‌توانند متناسب با محیط متفاوت باشند.

در اروپا نیز، اولین ربات متحرک در محیط‌های باز در سال ۱۹۸۷ با پروژه یوریکا^{۲۰} آغاز شد. در این پروژه ربات آدام^{۲۱} توسط فراماتوم و ماترا مارکنی^{۲۲} ساخته شد. این پروژه در نهایت در سال ۱۹۹۲ به لاس^{۲۳}

^{۱۶} Shakey

^{۱۷} Hilare

^{۱۸} Outdoor

^{۱۹} Sensor

^{۲۰} Eureka AMR

^{۲۱} ADAM (Advanced Demonstrator for Autonomy and Mobility)

^{۲۲} Framatome and Matra Marconi

^{۲۳} LAAS

اهداد شد و یک پروژه داخلی به نام ادن^{۲۴} آغاز شد. هدف این پروژه ادغام ظرفیت های ناوبری^{۲۵} در محیط های باز و طبیعی بود. در سال ۲۰۰۰ نیز گروه تحقیقاتی لاس ربات لاما^{۲۶} را توسعه دادند که از خصوصیات شاخص این ربات می توان به شاسی آن اشاره کرد که از ۳ جفت چرخ محرک با ۳ محور تشکیل شده بود و توسط چندین مفصل به هم متصل می شدند. شکل زیر نمایی از ربات لاما را نمایش می دهد.



شکل (۱-۳) نمایی از اولین ربات های ساخته شده در اروپا

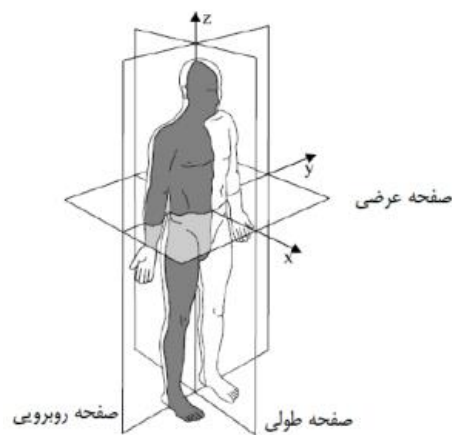
۱-۴- مطالعه انجام شده درباره ربات های پادار متحرک:

در طراحی ربات های انسان نما و به طور ویژه ربات های دوبا از ویژگی های طبیعی بدن انسان الهام گرفته شده است. به هر حال پیچیدگی های ساختمان بدن انسان از جمله دستگاه ماهیچه ای آن قابل باز تولید در ربات ها نمی باشد. بنابراین تعداد درجات آزادی به موارد ضروری کاهش می یابد و سیستم محرک باید ساده شود. از طرفی یک ربات انسان نما یا یک ربات دوبا نسبت به بدن انسان از ساختاری ساده تر و تعداد درجات آزادی کمتری برخوردار است. انتخاب تعداد درجات آزادی برای هر مفصل بسیار مهم می باشد. به طور کلی حرکت ربات دوبا در سه محور و یا سه صفحه صورت می گیرد. صفحه طولی، صفحه روبرویی و صفحه عرضی. حرکت عموماً در صفحه طولی صورت می گیرد و بیشتر مفاصل مهم در یک ربات دوبا در این صفحه قرار دارند. مطالعات و بررسی حرکت مفاصل در صفحه روبرو اهمیت آن را برای پایداری جانبی ربات آشکار می سازد و موجب حرکت ربات به سمت جلو یا عقب می گردد. به کمک دو مفصل قرار گرفته شده در لگن نیز، ربات قادر است تا در جهت چپ و راست صفحه روبرویی حرکت نماید.

^{۲۴} EDEN (Expérimentation de Déplacement en Environnement Naturel)

^{۲۵} Navigation

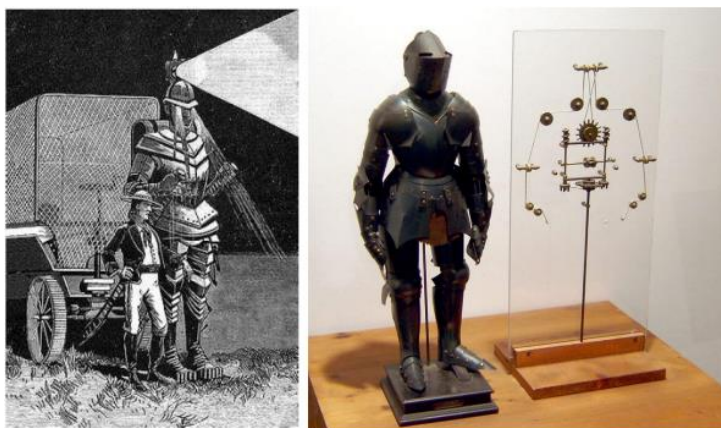
^{۲۶} LAMA



شکل (۱-۴) صفحات سه گانه طولی، روبرویی و عرضی مورد بررسی در ربات‌های انسان‌نما و دوبا

۱-۴-۱- تاریخچه ساخت ربات‌های پادار متحرک:

انسان در طول تاریخ همواره به ساخت موجودی شبیه به خود علاقه‌مند بوده است. شاید لئوناردو داوینچی اولین فردی بوده است که یک مکانیزم ربات انسان‌نما را طراحی و احتمالاً ساخته است. در نتیجه، قرن هفده را شاید بتوان به عنوان دوره‌ای پر بار در زمینه ربات‌های انسان‌نما به شمار آورد. در این قرن ربات‌های بسیاری با قابلیت انجام کارهای شبیه به انسان مانند نواختن موسیقی یا نوشتن ساخته شد. در قرن نوزده با ساخت ربات‌های انسان بخاری (که با استفاده از نیروی بخار حرکت می‌کرد) توسط جان برینارد^{۲۷} و انسان الکتریکی توسط فرانک رید جونیور^{۲۸} گام مهمی در پیشرفت ربات‌های انسان‌نما انجام گرفت. با وجود تمامی موارد ذکر شده، ربات‌های راه‌رونده به طور جدی در دهه‌های ۱۹۶۰ و ۱۹۷۰ شروع به گسترش نمودند. عمده این ربات‌ها در کشور ژاپن ساخته شدند (گوسوامی و واداکپات، ۲۰۱۸)^{۲۹}.



شکل (۱-۵) راست-ربات طراحی شده توسط لئوناردو داوینچی چپ- انسان الکتریکی ساخته شده توسط فرانک رید

^{۲۷} John Brainerd

^{۲۸} Frank Reade Junior

^{۲۹} Goswami A, Vadakkepat P

۱-۵- ربات‌های متحرک در امداد و نجات:

همانطور که در بخش‌های قبلی اشاره شد، یکی از کاربردهای ربات‌های متحرک در امر امداد و نجات است. ربات‌های امداد و نجات به دلیل توانایی حرکتی آن‌ها در محیط‌های پرخطر، مانند مناطق زلزله‌زده، ساختمان‌های تخریب شده و مناطق آلوده، ارزش فزاینده‌ای در عملیات جستجو و نجات پیدا کرده‌اند. برخلاف انسان‌ها یا سگ‌های نجات، این ربات‌ها در صورت از بین رفتن، تلفات جانی ایجاد نمی‌کنند و می‌توانند به عنوان اولین کاوشگران برای ارزیابی اولیه محیط‌های خطرناک استفاده شوند. یکی از چالش‌های اصلی در عملیات جستجو و نجات شهری، غیرقابل پیش‌بینی بودن و تنوع زیاد محیط‌های فاجعه است. محیط‌های پر از آوار، معابر باریک و خطرات احتمالی باعث می‌شوند که استفاده از ربات‌ها به عنوان ابزار اصلی امداد و نجات دشوار باشد. با وجود تلاش‌های فراوان، هنوز هیچ یک از راه‌حل‌های موجود به طور کامل مقرون به صرفه و قابل اعتماد برای استفاده گسترده در تمام سناریوهای نجات نیستند (مسینا و جکاف، ۲۰۰۷)^{۳۰}.

در سال‌های اخیر، پیشرفت‌های قابل توجهی در زمینه پردازش تصاویر و تشخیص اشیا به وقوع پیوسته است که نقش مهمی در بهبود عملکرد ربات‌های امدادگر ایفا کرده است. به ویژه، شبکه‌های عصبی کانولوشنال^{۳۱} و الگوریتم‌های یادگیری عمیق^{۳۲} منجر به افزایش دقت در شناسایی و مکان‌یابی افراد گرفتار در میان آوار شده‌اند. یکی از فناوری‌های برجسته در این زمینه، چارچوب یولو^{۳۳} است که به دلیل توانایی پردازش بلادرنگ^{۳۴} و تشخیص سریع اشیا، برای عملیات نجات بسیار مناسب است (یاو و همکاران، ۲۰۲۲)^{۳۵}. علاوه بر بینایی ماشین^{۳۶}، استفاده از فناوری‌های دیگری مانند لیدار برای نقشه‌برداری سه‌بعدی، حسگرهای حرارتی^{۳۷} برای شناسایی افراد زنده و سیستم‌های ارتباطی خودکار برای ارسال داده‌های حیاتی از محل حادثه، باعث شده است که ربات‌های امداد و نجات کارایی بیشتری پیدا کنند. آینده این حوزه وابسته به پیشرفت در هوش مصنوعی، سخت‌افزارهای کم‌مصرف و توسعه سیستم‌های خودمختار است که بتوانند در شرایط بحرانی به طور مؤثر عمل کنند. با این حال، چالش‌هایی همچنان وجود دارد. افزایش توان پردازشی در سخت‌افزارهای کم‌مصرف، بهینه‌سازی مدل‌های هوش مصنوعی برای اجرا روی

^{۳۰} Messina E, Jacoff A

^{۳۱} Convolutional Neural Network (CNN)

^{۳۲} Deep-Learning

^{۳۳} YOLO (You Only Look Once)

^{۳۴} Real-Time

^{۳۵} Yao et al.

^{۳۶} Image Processing

^{۳۷} Thermal Infrared Images

پردازنده‌های تعبیه‌شده و بهبود امنیت ارتباطات در انتقال داده‌ها به صورت بی‌سیم، از جمله مواردی هستند که برای آینده این فناوری باید در نظر گرفته شوند.

۱-۶- موضوع پژوهش:

در سال‌های اخیر، توسعه ربات‌های متحرک چرخ‌دار، به خصوص ربات‌های امدادگر به دلیل کاربردهای وسیع در صنایع مختلف و تعاملات انسانی، توجه بسیاری از پژوهشگران را به خود جلب کرده است و با توجه به اینکه در چند دهه گذشته، بلایای طبیعی و انسانی تلفات سنگین و خسارات اقتصادی قابل توجهی به همراه داشته‌اند. با افزایش این تلفات، نیاز به راه‌حلهایی برای کاهش آن‌ها در تمام مراحل یک فاجعه بیشتر شده و به همین دلیل، استفاده از ربات‌های امداد و نجات افزایش یافته است. در این میان، ربات‌های دست‌پرتاب به دلیل ویژگی‌های منحصر به فرد خود، به عنوان یک دسته خاص از ربات‌های امدادگر معرفی شده‌اند که توجه زیادی را به خود جلب کرده‌اند. این ربات‌ها برای مواجهه شدن با شرایط دشوار و محیط‌های غیرقابل دسترس طراحی شده‌اند و قابلیت پرتاب شدن به مکان‌های دشوار و به دور از دسترس انسان‌ها را دارند. که به وسیله آن‌ها، نیروهای امداد و نجات می‌توانند به سرعت به بررسی و شناسایی وضعیت در محیط‌های خطرناک مانند ساختمان‌های ویران شده، مناطق زلزله زده و فضاهای تنگ و محدود بپردازند.

از طرفی لازم به ذکر است که تنها کاربرد این ربات‌ها در عملیات امداد و نجات نبوده، بلکه می‌توان به وسیله چندین نمونه از این ربات‌ها و استفاده از قابلیت‌هایی همچون کوچک بودن، سبک و قابل حمل بودن آن‌ها، در بخش‌های مختلفی همچون نظامی، آموزشی و سرگرمی نیز بهره‌مند شد (کریمی، ۲۰۱۶).

۱-۶-۱- شرح کلی صورت مسئله:

کنترل یک بحران طبیعی و یا غیر طبیعی امری بسیار مهم و ضروری است. یک اشتباه کوچک در کنترل که ناشی از دریافت اطلاعات نادرست باشد، می‌تواند هزینه بسیار زیادی را به قیمت از دست دادن جان انسان‌ها در پی داشته باشد. به همین جهت همواره به دنبال راهی برای دریافت اطلاعات صحیح در مورد موقعیت اشیاء و یا انسان‌ها هستیم که در این راه چالش‌های گوناگونی را شاهد هستیم. به همین دلیل روش‌های مختلفی برای از بین بردن این چالش‌ها به کار گرفته می‌شود که یکی از آن‌ها استفاده از ربات‌ها است. این روش‌ها با توجه به کاربرد ربات و مشخصات ساختاری آن می‌تواند متفاوت باشد.

یکی از روش‌های پر کاربرد در امر امداد و نجات توسط ربات، استفاده از سنسورهای مخصوص می‌باشد. این سنسورها می‌توانند شامل دوربین، قطب‌نما و شتاب‌سنج و غیره باشند. اما مسئله اصلی در به کارگیری

آن‌ها برای یک ربات امدادگر، این است که به دلیل عوامل مختلف محیطی و جانبی، امکان ایجاد اعوجاج و خطا در دریافت داده‌ها وجود دارد. در نتیجه، ما به دنبال روشی هستیم که بتوانیم خطای داده‌های دریافتی را به حداقل برسانیم.

برای دستیابی به یک راه حل مناسب، روش‌های گوناگونی مورد بررسی قرار گرفته و با توجه به نوع عملکرد هر روش یک الگوی منطقی و پایدار را انتخاب نموده‌ایم. در روش انجام پروژه، ما از تعدادی سنسور که متشکل از دوربین، میکروفن، قطب‌نما، شتاب‌سنج وژیروسکوپ است؛ استفاده نموده‌ایم. هدف اصلی این است تا بتوانیم با استفاده از یک تکنیک مناسب که برگرفته از پردازش تصویر، سیستم‌های نهفته و رمزنگاری اطلاعات است ربات مورد نظر را هوشمند و یا نیمه هوشمند کرده تا اختلالات پیش آمده را از بین برده و اطلاعات درست و مناسبی را از محیط ربات دریابیم. لازم به ذکر است که در حالت کلی باید قادر به استفاده از این ربات در محیط‌های مختلف با شرایط گوناگون بود. به طور مثال اگر ربات در یک لوله آب با عمق کم مورد استفاده قرار گیرد باید قادر به حرکت باشد و اجرای دستورات را انجام دهد. همچنین، در توضیح صورت مسئله باید به این نکته اشاره کنیم که به دنبال روشی هستیم که دقت قابل قبولی را در اختیار ما گذاشته و در عین حال به صرفه بوده و انتظارات اقتصادی ما را نیز برآورده سازد. به طور مثال بجای استفاده از روش‌های پرهزینه و گاه‌مخاطره آمیز برای انسان در انجام بعضی از ماموریت‌ها می‌توان از ربات‌ها و به طور خاص از ربات‌های امدادگر دست‌پرتاب استفاده نمود.

مسئله بعدی در شرح صورت مسئله این است که ربات‌های دست‌پرتاب باید مقاوم در برابر ضربه‌های شدید، رطوبت و یا آب، مسیرهای شیب‌دار خاکی و یا سنگلاخ باشند. در نتیجه دقت داده‌های ارسالی از ربات‌های دست‌پرتاب برای ما دارای اهمیت بسیاری است. به طور مثال، هنگام بررسی مناطق آسیب دیده در یک فاجعه، برای ما بسیار مهم است که موقعیت دقیق قربانیان و نقاط بحرانی را به طور دقیق به دست آورده باشیم. به همین خاطر، ابزارهای سنجش موقعیت این ربات‌ها باید دقت کافی را داشته باشند تا کارایی عملیات امداد و نجات تحت تأثیر قرار نگیرد. در پیشبرد این فرایند و تعیین موقعیت ربات‌های دست‌پرتاب و از همه مهم تر جهت‌گیری خود ربات در فضا، چالش‌هایی در برابر ما قرار دارند. این چالش‌ها به علت عوامل گوناگون محیطی ایجاد می‌شوند. اختلالاتی که در جهت‌یابی ربات‌های دست‌پرتاب ایجاد می‌شوند، ممکن است به عوامل مختلفی برگردند. در زیر، برخی از این اختلالات را شرح خواهیم داد:

- تداخل الکترومغناطیسی: امواج الکترومغناطیسی از منابع مختلف مانند تجهیزات بی سیم، رادیوها، سیستم‌های ارتباطی و سایر دستگاه‌های الکترونیکی می‌توانند تداخلی در سیستم جهت‌یابی ربات ایجاد کنند و موجب از دست رفتن یا تغییر موقعیت مکانی ربات شوند.
- مشکلات سنسورها: سنسورهای استفاده شده برای تعادل و موقعیت‌یابی ربات‌های دست‌پرتاب ممکن است با خطاهایی مواجه شوند. به عنوان مثال، سنسورهای اینرسیال^{۳۸} (مانندژیروسکوپ و شتاب‌سنج) ممکن است دچار نویز شوند یا در طول زمان دقت خود را از دست دهند.
- مشکلات ناشی از شرایط محیطی: شرایط محیطی مثل باد قوی، بارش باران یا برف، و موانع فیزیکی می‌توانند تداخلی در عملکرد ربات‌های دست‌پرتاب ایجاد کنند. این شرایط ممکن است منجر به دست زدن ربات به عوارضی ناخواسته شود یا باعث عدم دقت در تعیین موقعیت شود.
- خرابی سخت‌افزاری: خرابی‌ها و نقص‌های سخت‌افزاری مانند خرابی در سنسورها یا سیستم‌های الکترونیکی می‌توانند تداخلی در عملکرد ربات ایجاد کنند.

برای مقابله با این اختلالات، معمولاً روش‌هایی همانند استفاده از سیستم‌های قدرتمند، سنسورهای دقیق‌تر، بهبود الگوریتم‌های موقعیت‌یابی، سیستم‌های فیلترینگ سیگنال و روش‌های پیشرفته‌تر برای محافظت در برابر تداخلات الکترومغناطیسی مورد استفاده قرار می‌گیرند. یکی از آن سنسورها، سنسور اینرسی است که در حقیقت از تجميع ۳ سنسور مختلف ایجاد شده است که شاملژیروسکوپ، شتاب‌سنج و قطب‌نما می‌باشد. هر یک از این سنسورها به ترتیب سرعت زاویه‌ای، شتاب خطی و قدرت میدان مغناطیسی را در ۳ محور اصلی در اختیار سیستم قرار می‌دهد و همچنین هزینه پردازشی استفاده از این سنسور بسیار پایین است. (خطیب و همکاران، ۲۰۲۰)^{۳۹}.

۱-۶-۲- اهداف پژوهش:

- ارائه یک پلتفرم کامل و کارآمد درعین حال مقرون‌به‌صرفه از ربات‌های امدادگر که بتواند در شرایط بحرانی مانند زلزله، سیل و حوادث طبیعی، عملیات شناسایی و امداد را با دقت بالا انجام دهد.
- بهبود سیستم تشخیص موانع با استفاده از پردازش تصویر به منظور افزایش دقت در تشخیص مسیرهای مناسب و موانع موجود.
- افزایش پایداری و تعادل ربات با توسعه الگوریتم‌های کنترلی مبتنی بر داده‌های سنسوری.

^{۳۸} IMU (inertial measurement unit)

^{۳۹} Al Khatib, et al.

- ایجاد یک ارتباط پایدار و بلندرنج بین ربات و مرکز کنترل از طریق اینترنت اشیا^{۴۰} برای ارسال داده‌های صوتی و تصویری از محیط.
- بهینه‌سازی مصرف انرژی و طراحی ماژولار^{۴۱} جهت افزایش زمان عملکرد ربات و کاهش هزینه‌های ساخت و نگهداری.

۱-۶-۳- ساختار پایان‌نامه:

این پایان‌نامه شامل چهار فصل است. در فصل اول، مقدمه و تاریخچه‌ای کوتاه از پیدایش علم رباتیک، معرفی ربات‌های متحرک، اهمیت آنها و نمونه‌های موفق ساخته شده تا به امروز ارائه شده است. در فصل دوم، اصول و مفاهیم پایه‌ای در زمینه ربات‌های دست‌پرتاب بررسی می‌شود. در این فصل، طراحی مدل‌های مختلف از ربات‌های دست‌پرتاب و نوآوری‌های اخیر مورد بررسی قرار گرفته است. در فصل سوم، طراحی یک ربات دست‌پرتاب انجام گرفته است. بنابراین، ابتدا ویژگی‌ها و پارامترهای یک فضای آسیب دیده مورد بررسی قرار گرفته و پارامترهای ربات بر اساس آنها تعیین شده‌اند که به صورت کلی عبارتند از سیستم‌های نهفته^{۴۲}، استفاده از سنسورهای کنترلی و امنیت انتقال اطلاعات می‌باشند و از سویی دیگر قابل توجه است که این ربات برای کاربردهای امدادی، پژوهشی و آموزشی طراحی شده است. در فصل آخر نیز، نتایج و دستاوردهای این پژوهش مرور شده و پیشنهاداتی برای پژوهش‌های آتی در راستای تکمیل این دستاوردها ارائه شده است.

^{۴۰} IoT (Internet of Things)

^{۴۱} Modular

^{۴۲} Embedded Systems

فصل ۲: پیشرفت‌های پیشین در زمینه ربات‌های امدادگر دست‌پرتاب

۲-۱- مقدمه:

در دنیای امروز، با افزایش وقوع حوادث طبیعی و انسانی، نیاز به تکنولوژی‌های پیشرفته برای امداد و نجات بیش از پیش احساس می‌شود. ربات‌های امدادگر دست‌پرتاب به عنوان یکی از نوآوری‌های برجسته در این زمینه، توانسته‌اند توجه بسیاری از محققان و متخصصان را به خود جلب کنند. این ربات‌ها با طراحی منحصر به فرد خود، توانایی این را دارند تا به مناطق دور از دسترس و خطرناک نفوذ کنند و اطلاعات حیاتی را به تیم‌های امداد و نجات منتقل کنند. توسعه و استفاده از ربات‌های امدادگر دست‌پرتاب، نتیجه تلاش‌های گسترده‌ای است که در سال‌های اخیر در حوزه رباتیک و فناوری‌های نوین صورت گرفته است. این ربات‌ها، با استفاده از سنسورهای مختلف نظیر دوربین، میکروفن، قطب‌نما، شتاب‌سنج وژیروسکوپ، قادرند تا داده‌های دقیق و حیاتی را از محیط جمع‌آوری کرده و به تیم‌های نجات ارائه دهند. این ویژگی‌ها به خصوص در شرایط بحرانی مانند زلزله، سیل، آتش‌سوزی و سایر حوادث غیرمنتظره، می‌تواند تفاوت بین زندگی و مرگ را تعیین کند. در این فصل، به بررسی پیشینه تحقیقات و پروژه‌های انجام شده در زمینه ربات‌های امدادگر دست‌پرتاب پرداخته می‌شود. شناخت و درک این تحقیقات نه تنها به ما کمک می‌کند تا با روند پیشرفت‌های تکنولوژیکی در این حوزه آشنا شویم، بلکه می‌تواند راهنمایی برای توسعه و بهبود ربات‌های امدادگر آینده باشد. از طراحی‌های اولیه تا مدل‌های پیشرفته‌تر، مروری بر این تحقیقات به ما نشان می‌دهد که چگونه نوآوری‌ها و بهبودهای مستمر در این زمینه، می‌توانند به کارایی بیشتر و نجات جان‌ها کمک کنند. ربات‌های امدادگر دست‌پرتاب، با توجه به چالش‌های محیطی و تکنولوژیکی مختلف، همواره در حال بهبود و ارتقاء هستند. از کاهش تداخلات الکترومغناطیسی تا افزایش دقت سیستم‌های جهت‌یابی، هر یک از این بهبودها گامی به سوی ساخت‌های کارآمدتر و مطمئن‌تر است. در ادامه، به بررسی دقیق‌تر این تحقیقات و دستاوردها خواهیم پرداخت تا بتوانیم تصویری جامع و کامل از وضعیت کنونی و مسیرهای پیش رو در این حوزه ارائه دهیم.

۲-۱-۱- تحقیقات اولیه:

ربات‌های امدادگر در سال‌های اخیر پیشرفت‌های قابل توجهی داشته‌اند و بسیاری از پروژه‌های قبلی بر بهبود قابلیت‌های حرکتی، افزایش دقت ناوبری، بهینه‌سازی مصرف انرژی و ارتقای توانایی پردازش داده‌های محیطی تمرکز داشته‌اند. هرچند که تاکنون مدل‌های مختلفی از ربات‌های امدادگر طراحی شده‌اند، اما همچنان چالش‌هایی مانند کاهش هزینه ساخت، افزایش استحکام مکانیکی و بهبود سیستم‌های ارتباطی باقی مانده است. با این حال، با وجود گستردگی تحقیقات در حوزه ربات‌های امدادگر، مطالعات محدودی

بر روی ربات‌های دست‌پرتاب انجام شده و مقالات و منابع علمی کمتری در این زمینه منتشر شده است. این دسته از ربات‌ها به دلیل طراحی منحصر به فرد خود، می‌توانند در شرایط اضطراری و محیط‌های غیرقابل دسترس، مانند مناطق زلزله‌زده یا ساختمان‌های تخریب شده، به کار گرفته شوند. در این بخش، برخی از مهمترین پژوهش‌های انجام شده در حوزه ربات‌های امدادگر بررسی شده و تفاوت‌های آن‌ها با پروژه حاضر مشخص می‌شود.

در دهه ۱۹۹۰، اولین گام‌ها برای توسعه ربات‌های امدادگر دست‌پرتاب برداشته شد. این ربات‌ها در ابتدا بسیار ساده بودند و تنها دارای قابلیت‌های پایه‌ای مانند ارسال تصاویر ویدیویی به مرکز کنترل بودند. یکی از اولین نمونه‌های این ربات‌ها، ربات‌هایی بودند که توسط تیم‌های دانشگاهی طراحی شدند و به منظور استفاده در عملیات‌های امداد و نجات در محیط‌های خطرناک مورد آزمایش قرار گرفتند. این ربات‌ها به دلیل محدودیت‌های تکنولوژیکی زمان خود، نمی‌توانستند به طور کامل نیازهای تیم‌های امداد و نجات را برآورده کنند، اما نقطه شروعی برای تحقیقات بیشتر در این زمینه بودند (رینر و سنسون، ۲۰۱۶)^{۴۳}. در نتیجه با ورود به دهه ۲۰۰۰ و پیشرفت‌های چشمگیر در زمینه فناوری‌های رباتیک و الکترونیک، ربات‌های امدادگر دست‌پرتاب با قابلیت‌های پیشرفته‌تری توسعه یافتند. این ربات‌ها علاوه بر داشتن دوربین‌های با کیفیت بالا و میکروفن‌های حساس، مجهز به سیستم‌های جهت‌یابی دقیق‌تری نیز بودند که امکان تعیین موقعیت دقیق‌تر را فراهم می‌ساخت.



شکل (۱-۲) نمونه‌ای از یک ربات امدادگر دست‌پرتاب که توسط تیم‌های دانشگاهی ساخته شده است.

دهه ۲۰۱۰ شاهد تحولات بزرگی در زمینه سنسورها و سیستم‌های جهت‌یابی ربات‌های امدادگر بود. محققان با استفاده از تکنولوژی‌های پیشرفته‌تر، توانستند دقت و کارایی این ربات‌ها را به میزان قابل توجهی افزایش دهند. استفاده از سنسورهای پیشرفته مانند دوربین‌های با کیفیت بالا، میکروفن‌های حساس،

^{۴۳} Reiner B, Svensson M

قطب‌نما، شتابسنج و ژيروسکوپ، این امکان را فراهم کرد که ربات‌ها بتوانند داده‌های دقیق‌تری را از محیط جمع‌آوری کنند.

۲-۱-۲- پروژه‌های برجسته و نوآوری‌های اخیر:

در سال‌های اخیر، چندین پروژه برجسته در زمینه ربات‌های امدادگر دست‌پرتاب اجرا شدند که هر کدام به نوبه خود به پیشرفت‌های قابل توجهی در این حوزه منجر شد. به عنوان مثال، پروژه‌های مشترکی بین دانشگاه‌ها و سازمان‌های دولتی در کشورهای مختلف انجام شده که به توسعه ربات‌هایی با قابلیت‌های پیشرفته‌تر و مقاوم‌تر منجر شده‌اند. این ربات‌ها علاوه بر داشتن ویژگی‌های اولیه، قادر به انجام ماموریت‌های پیچیده‌تری مانند نقشه برداری از محیط، شناسایی نشتی‌های گاز و حتی حمل محموله‌های کوچک نیز هستند. همچنین یکی از پروژه‌های برجسته در این زمینه، پروژه توسعه ربات‌های دست‌پرتاب با قابلیت تشخیص و شناسایی مواد خطرناک است. به طور مثال این ربات‌ها مجهز به سنسورهای خاصی هستند که می‌توانند نشتی گازهای شیمیایی، بیولوژیکی و غیره را تشخیص دهند و اطلاعات مربوطه را به مرکز کنترل ارسال کنند. این قابلیت به تیم‌های امداد و نجات این امکان را می‌دهد که با اطلاع از وجود خطرات احتمالی، اقدامات مناسبی را برای حفاظت از خود و دیگران انجام دهند.



شکل (۲-۲) نمونه‌ای از ربات امداد و نجات دست‌پرتاب ساخته شده در سال‌های اخیر

مقاله‌ای در سال ۲۰۰۵ منتشر شده است (متیو و همکاران، ۲۰۱۴)^{۴۴} که با استفاده از سیستم ربات‌های چرخ‌دار ساخته شده و تلاش دارد تا مسیرهای شیب‌دار را توسط ۶ چرخ طی کند که همین موضوع باعث افزایش قیمت ساخت ربات می‌شود. همچنین ربات‌هایی را معرفی کرده که دارای محدودیت‌های تحرکی بودند که به علت طراحی‌های مختلف نتوانستند به خوبی در زمین‌های مختلف عمل کنند. همچنین از دوربینی استفاده شده که زاویه دید مناسبی را ندارد و به این نتیجه رسیده است که در شرایط نور کم یا تاریک، که نیاز به دوربین‌هایی با کیفیت بالاتر یا منبع نور اضافی دارد.

^{۴۴} Mathew T, et al.



شکل (۲-۳) نمونه‌ای از ربات‌های ساخته شده در سال‌های اخیر

مقاله دیگری در سال ۲۰۱۴ ارائه شده است (بویسن و متیو، ۲۰۱۴)^{۴۵} که به تحلیل نیازها و چالش‌ها پرداخته اما تمامی جنبه‌های ممکن برای یک ربات امداد و نجات عمومی را پوشش نمی‌دهد و بیشتر تمرکز آن بر تجربیات گذشته و مشکلات عملیاتی بوده و کمتر به راه حل‌های آینده پرداخته است. دیگر مشکلی که این ربات‌ها دارند هزینه ساخت بالایی آن‌ها است و اغلب در دسترس تیم‌های نجات اولیه قرار ندارند.



شکل (۲-۴) نمونه‌ای از ربات‌های ساخته شده در سال‌های اخیر

همچنین، مقاله‌ای دیگر در سال ۲۰۱۴ منتشر شد (متیو و همکاران، ۲۰۱۴) که اختراعی است با شماره ۲۰۲۱۰۱۱۶۲۲۳ که به ثبت جهانی رسیده است. این ربات به طور خاص برای نیروهای نظامی توسعه یافته است و برخلاف روش‌های سنتی که در آن نیروهای عملیاتی باید خودشان نارنجک را پرتاب کنند و تا حد زیادی در معرض خطر قرار بگیرند، این ربات می‌تواند از فاصله‌ای امن کنترل شود، به موقعیت

Booyesen T, Mathew T ^{۴۵}

موردنظر حرکت کند و در لحظه‌ی مناسب نارنجک را منفجر کند. در برد ارتباطی آن دارای مشکل بوده و حداکثر تا فاصله ۳۰ متر را پوشش می‌دهد و زمان استفاده از این ربات مطابق با باتری استفاده شده ۷۰ دقیقه است که در برخی از سناریوهای امداد و نجات ممکن است کافی نباشد. اما می‌توان از بسیاری از ایده‌های به کار رفته در این ربات به منظور عملیات امدادی استفاده نمود. بنابراین همانگونه که مطالعه گردید، اکثر ربات‌های دست‌پرتاب ساخته شده تاکنون قابلیت هوشمندی را دارا نبوده و از نظر سخت‌افزاری نیز دارای معایب مختلفی هستند که در این پژوهش سعی بر این بوده است تا مزایا و معایب ربات‌های دیگر را مطابق با جدول زیر به طور کلی بررسی کرده و معایب آن‌ها را تا حدودی برطرف نموده و همچنین قابلیت هوشمندسازی را نیز تا حد قابل قبولی در این ربات‌ها جای دهد.

جدول (۲-۱) مزایا و معایب ربات‌های بررسی شده و ارائه ربات پیشنهادی

ویژگی	سایر ربات‌های بررسی شده				ربات پیشنهادی
مکانیزم حرکتی	دو چرخ	شش چرخ	چهار چرخ	ریلی	دو چرخ انعطاف پذیر
سیستم ناوبری	دستی	دستی	دستی	دستی	نیمه هوشمند و یا هوشمند
پردازش تصویر	پیشرفته	ضعیف	متوسط	متوسط	پیشرفته به همراه فشرده سازی
امنیت ارتباطات	متوسط	ندارد	ندارد	ندارد	رمزنگاری و تشخیص خطای افزونگی
هزینه تولید	متوسط	بالا	بالا	بالا	مقرون به صرفه
مصرف انرژی	کم	زیاد	متوسط	متوسط	بهینه شده با مدیریت توان
کار در شرایط کم نور	دارد	محدود	محدود	دارد	باید داشته باشد

فصل ۳: ربات دوچرخ امدادگر دست پرتاب HSL

در این فصل قصد داریم طراحی و نحوه شکل گیری ربات دست پرتاب اچ اس ال^{۴۶} را با توجه به ویژگی‌ها و مولفه‌های یک فضای آسیب دیده مورد بررسی قرار دهیم و هدف، تعیین پارامترهای سخت‌افزاری و نرم‌افزاری بهینه برای عملکرد بهتر ربات در شرایط بحرانی است. این پارامترها شامل سیستم‌های نهفته برای پردازش کارآمد داده‌ها، کاهش نویز در سنسورها برای افزایش دقت اطلاعات دریافتی و بهبود امنیت ارتباطات بی‌سیم می‌باشند. در ادامه، نحوه پیاده‌سازی این فناوری‌ها و چالش‌های موجود در طراحی سیستم مورد ارزیابی قرار خواهد گرفت.

۳-۱- طراحی کلی و معماری ربات:

طراحی کلی ربات دو چرخ امدادگر دست پرتاب اچ اس ال بر اساس نیازهای عملیاتی در محیط‌های بحرانی و شرایط سخت انجام شده است. این ربات به گونه‌ای طراحی شده که علاوه بر مقاومت مکانیکی در برابر ضربه و سقوط، از ارتباطات امن، پردازش کارآمد داده‌ها و مصرف انرژی بهینه برخوردار باشد. معماری این ربات شامل سه بخش اصلی است: سخت‌افزار، سیستم‌های نهفته و نرم‌افزار کنترلی است که به صورت یکپارچه برای بهبود عملکرد در محیط‌های عملیاتی طراحی شده‌اند.

۳-۱-۱- چارچوب کلی طراحی:

ربات اچ اس ال دارای بدنه‌ای سبک و مقاوم است که از مواد با استحکام بالا مانند فیبر کربن یا پلاستیک فشرده ساخته شده تا در برابر ضربه‌های ناشی از پرتاب و سقوط مقاومت کافی داشته باشد. همچنین، برای تسهیل حرکت در سطوح ناهموار، از چرخ‌های انعطاف‌پذیر استفاده شده که امکان جذب ضربات و کاهش لغزش را فراهم می‌کند. در طراحی این ربات تلاش بر این بوده تا از مزایای ربات‌های پیشین استفاده کرده و معایب آن‌ها را با استفاده از نوآوری‌های موجود برطرف ساخته و ساختار ربات را ارتقا دهد. بنابراین، طراحی کلی ربات بر اساس چندین هدف کلیدی انجام شده است که عبارت‌اند از:

- سبک بودن برای پرتاب آسان و جابه‌جایی سریع
- استحکام بالا برای دوام در محیط‌های سخت و شرایط اضطراری
- سیستم ناوبری کارآمد برای حرکت در محیط‌های پیچیده و نامنظم
- ارتباطات بی‌سیم امن و پایدار برای ارسال داده‌های زنده
- پردازش سریع اطلاعات برای تحلیل وضعیت محیط در کمترین زمان

۳-۲- سخت افزار مکانیکی، مدل حرکتی و سینماتیک ربات:

برای تحقق اهداف ذکر شده و پیاده سازی یک سیستم کارآمد، لازم است تا مجموعه ای از قطعات مکانیکی مناسب انتخاب شوند که بتوانند عملکرد کلی ربات اچ اس ال را به درستی تعریف و پشتیبانی کنند. این انتخاب باید با توجه به نیازهای سبک بودن، قابلیت های حرکتی، استحکام بالا انجام شود تا ربات بتواند وظایف خود را در شرایط عملیاتی مختلف به خوبی ایفا کند. بنابراین در طراحی این ربات امدادگر دست پرتاب، سخت افزارهای مورد استفاده باید دارای ویژگی هایی باشند که امکان عملکرد بهینه در محیط های پویای امدادی را فراهم آورند. از جمله این ویژگی ها می توان به بدنه مقاوم و سبک برای پرتاب شدن به نقاط غیرقابل دسترس، چرخ های انعطاف پذیر برای حرکت در سطوح ناهموار و سیستم تعلیق برای جذب ضربات ناشی از فرود اشاره کرد.

با توجه به این نیازها، انتخاب قطعات مکانیکی مناسب یکی از مهم ترین چالش ها در طراحی سیستم به شمار می آید. این قطعات شامل بدنه اصلی ساخته شده از پلاستیک مقاوم است که وزن کم و مقاومت بالا را تضمین می کند. چرخ ها از جنس پلی اورتان تقویت شده که انعطاف پذیری لازم برای حرکت روی سطوح مختلف را فراهم می سازد.



شکل (۳-۱) نمونه اولیه طراحی شده از بدنه ربات دست پرتاب امدادگر

انتخاب محرک و یا موتور مناسب یکی از بخش های کلیدی در طراحی ربات ها است. بنابراین برای انتخاب آن، مولفه هایی نظیر حداکثر سرعت با توجه به گشتاور در نظر گرفته می شود که از رابطه زیر پیروی خواهد کرد.

$$\omega_{\max} = \frac{V_{\max} - I_{NoLoad} * R}{e^k} \quad (۳-۱)$$

با استفاده از معادله فوق، در این مرحله مطابق با پارامترهایی همچون حداکثر سرعت زاویه‌ای، ولتاژ تغذیه، جریان در حالت بی باری و غیره به نظر می‌رسد که سروو موتورهای داینامیکسل^{۴۷} که توسط شرکت رباتیس^{۴۸} ساخته شده‌اند به دلیل بالا بودن گشتاور آن‌ها گزینه مناسبی هستند.

۳-۲-۱- مدل حرکتی و سینماتیک ربات:

مدل حرکتی این ربات به گونه‌ای طراحی شده که بتواند در شرایط محیطی سخت و مسیرهای نامنظم عملکرد بهینه‌ای داشته باشد. برای دستیابی به این هدف، از مدل سینماتیکی خاصی استفاده شده که کنترل دقیق سرعت و جهت حرکت را فراهم می‌کند. معادلات سینماتیکی ربات اچ اس ال بر اساس مدل دوچرخ تفاضلی تعریف شده‌اند که امکان چرخش درجا، حرکت مستقیم و تنظیم دقیق مسیر را فراهم می‌کند. این مدل از دو چرخ اصلی برای حرکت و یک پایه تعادلی برای افزایش پایداری استفاده می‌کند. مزیت این مدل حرکتی در این است که می‌تواند در مسیرهای باریک و پیچیده به راحتی مانور دهد و از موانع عبور کند.

لازم به ذکر است که سینماتیک یک ربات دوچرخ، یک موضوع پیچیده و جذاب در زمینه رباتیک است. این نوع ربات‌ها دارای قيود حرکتی خاصی هستند که باعث می‌شود کنترل آن‌ها چالش برانگیز باشد. در مدل سینماتیکی این ربات‌ها، معمولاً از سه متغیر حالت استفاده می‌شود: ایکس و ایگرگ برای نشان دادن موقعیت مرکز جرم ربات در صفحه و تتا^{۴۹} برای نشان دادن زاویه چرخش ربات حول محور عمودی. معادلات سینماتیکی پایه برای این نوع ربات‌ها به صورت زیر بیان می‌شوند:

$$\begin{aligned}x &= v \cos \theta \\y &= v \sin \theta \\ \theta &= \omega\end{aligned}\quad (2-3)$$

v : سرعت خطی ربات

ω : سرعت زاویه‌ای ربات

این مدل سینماتیکی، پایه‌ای برای طراحی کنترل‌کننده‌های پیچیده‌تر است که می‌توانند تعادل ربات را در حین حرکت حفظ کنند. لذا برای تحلیل دقیق‌تر و پیچیده‌تر سینماتیک ربات دوچرخ و محاسبه موقعیت و زاویه ربات، می‌توان معادلات زیر را در نظر گرفت.

$$x = \cos \theta (L_w + R_w) \frac{r}{2} \quad (3-3)$$

^{۴۷} Dynamixel

^{۴۸} Robotis

^{۴۹} x, y, Theta

$$y = \sin \theta (L_w + R_w) \frac{r}{2} \quad (۴-۳)$$

$$\theta = (L_w - R_w) \frac{r}{2d} \quad (۵-۳)$$

و برای محاسبه شعاع چرخ ربات از رابطه زیر استفاده شده است.

$$R = \frac{2d(V_R + V_L)}{V_R - V_L} \quad (۶-۳)$$

$$\theta(t) = \theta_0 + \int_0^t \omega(\tau) d\tau \quad (۷-۳)$$

$$x(t) = x_0 + \int_0^t v(\tau) \cos(\theta(\tau)) d\tau \quad (۸-۳)$$

$$y(t) = y_0 + \int_0^t v(\tau) \sin(\theta(\tau)) d\tau \quad (۹-۳)$$

در معادلات فوق:

r : شعاع چرخها

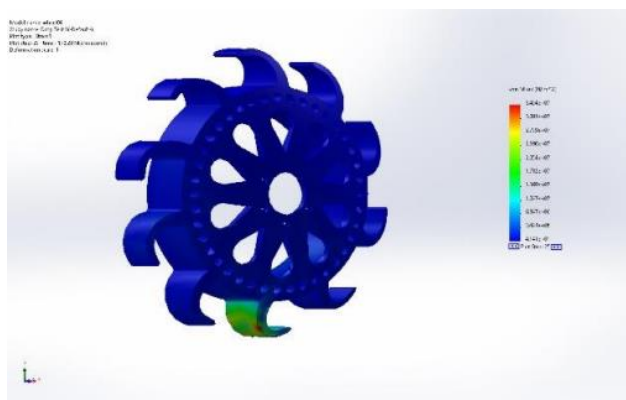
d : فاصله بین دو چرخ ربات

L_w, R_w : به ترتیب سرعت زاویه‌ای چرخ راست و چپ ربات

V_R, V_L : سرعت خطی چرخ راست و چپ ربات

θ_0, x_0, y_0 : مقادیر اولیه هستند.

در نهایت پس از بررسی و تحلیل‌های انجام شده، طراحی چرخ ربات به صورت شکل زیر بوده و بر روی ربات نصب گردیده است. این طراحی نیز در نرم‌افزارهایی همچون انسیس^{۵۰} مورد تحلیل‌هایی همچون تحلیل تنش قرار گرفته است.



شکل (۳-۲) نمونه طراحی شده از چرخ ربات دست‌پرتاب امدادگر

در طراحی سینماتیکی ربات، موارد زیر در نظر گرفته شده‌اند:

- کنترل سرعت مستقل چرخ‌ها برای بهینه‌سازی مسیر حرکت

- امکان تغییر زاویه حرکتی برای مانور در فضاهاى تنگ
 - حداقل لغزش در سطوح نامنظم به دلیل استفاده از چرخ‌هاى مخصوص
 - توانایی چرخش درجا برای افزایش انعطاف‌پذیری حرکت
- این ویژگی‌ها باعث می‌شوند که ربات بتواند در محیط‌های غیرقابل پیش‌بینی، عملکردی پایدار و دقیق داشته باشد و در مأموریت‌های امداد و نجات، بیشترین کارایی را ارائه دهد.

۳-۳- سخت‌افزار و اجزای الکترونیکی:

برای پیاده‌سازی یک سیستم کارآمد، لازم است تا مجموعه‌ای از قطعات سخت‌افزاری مناسب انتخاب شوند که بتوانند عملکرد کلی ربات اچ اس ال را به درستی تعریف و پشتیبانی کنند. این انتخاب باید با توجه به نیازهای پردازشی، قابلیت‌های حرکتی، دقت حسگرها و الزامات ارتباطی انجام شود تا ربات بتواند وظایف خود را در شرایط عملیاتی مختلف به خوبی ایفا کند. بنابراین در طراحی این ربات امدادگر دست‌پرتاب، سخت‌افزارهای مورد استفاده باید دارای ویژگی‌هایی باشند که امکان عملکرد بهینه در محیط‌های پویای امدادی را فراهم آورند. از جمله این ویژگی‌ها می‌توان به توان پردازشی بالا برای پردازش داده‌های سنسوری و تصمیم‌گیری آنی، مصرف انرژی بهینه برای افزایش مدت زمان فعالیت در برابر شرایط محیطی دشوار اشاره کرد. با توجه به این نیازها، انتخاب سخت‌افزار مناسب یکی از مهمترین چالش‌ها در طراحی سیستم به شمار می‌آید. این سخت‌افزارها شامل پردازنده اصلی، ماژول‌های ارتباطی، حسگرها و تأمین انرژی هستند که هر یک نقش مهمی در عملکرد کلی ربات ایفا می‌کنند. به همین دلیل، در این بخش به بررسی اجزای سخت‌افزاری کلیدی، ویژگی‌های مهم آن‌ها و معیارهای انتخاب مناسب برای ربات اچ اس ال پرداخته خواهد شد.

در این راستا، یک طرح اولیه برای بدنه ربات در نظر گرفته شد که با استفاده از فناوری چاپ سه بعدی ساخته شد. جنس بدنه به گونه‌ای انتخاب شده است که علاوه بر دارا بودن مقاومت بالا در برابر ضربه‌های شدید، قادر به دمپ^{۵۱} یا جذب و کاهش انرژی ناشی از ضربه‌ها نیز باشد. این ویژگی‌ها باعث می‌شوند تا ربات نه تنها در محیط‌های سخت و پرفشار عملکرد مطلوبی داشته باشد، بلکه طول عمر اجزای داخلی آن نیز افزایش می‌یابد. استفاده از مواد با کیفیت بالا و طراحی مهندسی دقیق، تضمین می‌کند که بدنه ربات در شرایط مختلف، از جمله سقوط یا برخوردهای ناگهانی، کارایی خود را حفظ نموده و از آسیب‌های جدی جلوگیری نماید. در نهایت، طراحی بدنه به گونه‌ای انجام شده است که امکان دسترسی آسان به اجزای

^{۵۱} Damping

داخلی برای تعمیر و نگهداری فراهم باشد و همچنین در کنار ضد آب بودن آن، تهویه مناسبی برای جلوگیری از گرم شدن بیش از حد قطعات الکترونیکی داخلی در نظر گرفته شده است. این مزایا مجموعاً به افزایش بهره‌وری و کارایی کلی ربات کمک خواهند کرد



شکل (۳-۳) نمایی از مدارات به کار رفته در ربات امدادگر دوچرخ دست‌پرتاب

در نهایت، لازم است تا یک واحد کنترل مرکزی یا پردازنده اصلی برای این ربات در نظر گرفته شود که تمامی پردازش‌های مورد نیاز بر روی آن انجام گیرد. کامپیوترهای کوچک رزبری پای دارای معماری چهار هسته‌ای و مصرف انرژی پایین است و با توجه به دیگر قابلیت‌های سخت‌افزاری خود، می‌توانند عملکرد بسیار مطلوبی را ارائه دهند (شکل فوق). در این پژوهش مطابق با بلوک دیاگرام در شکل زیر، یک ماژول یا دانگل وای فای به این مینی کامپیوتر متصل می‌شود تا امکان تبادل اطلاعات به صورت بی‌سیم فراهم شود. علاوه بر این، یک دوربین با زاویه دید مناسب و مجهز به میکروفن نیز به این مینی کامپیوتر متصل است تا داده‌های تصویری و صوتی را از طریق درگاه یو اس بی^{۵۲} به واحد کنترل مرکزی منتقل کند.

از سویی دیگر، یک واحد کنترلی نیز وظیفه مدیریت توان، تشخیص خطا و یا تغییرات تصادفی بر روی داده‌ها، حسگرها و دریافت فرامین (از طریق پروتکل یو‌آرت^{۵۳}) از پردازنده اصلی و انتقال آن به موتورها را دارد. پردازنده به کار رفته در این واحد کنترلی، میکروکنترلر آرم^{۵۴} سری اس تی ام^{۵۵} است که در بسیاری از مصارف صنعتی، پزشکی، خودرویی و نظامی کاربرد داشته و نقش کلیدی دارد. ترکیب این دو پردازنده، علاوه بر تسهیل پردازش داده‌ها و تبادل اطلاعات حیاتی، این امکان را فراهم می‌کند که ربات بتواند به صورت مستقل و کارآمد وظایف محوله را اجرا کند.

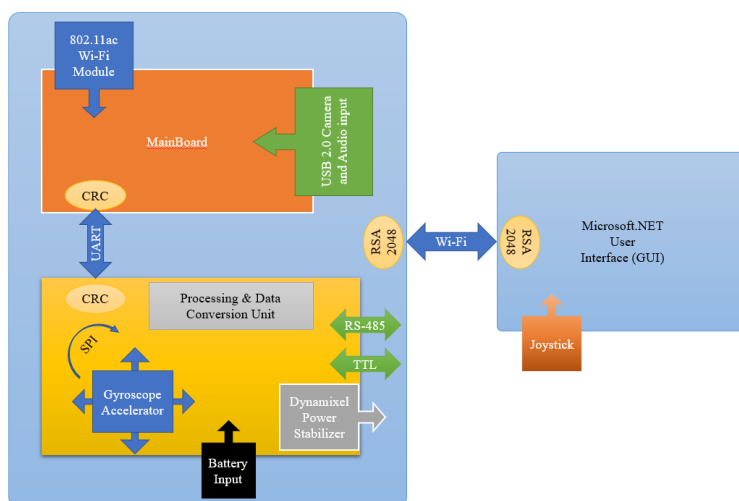
بنابراین، انتخاب دقیق قطعات سخت‌افزاری باعث افزایش پایداری سیستم، کاهش تأخیر در پاسخگویی و بهینه‌سازی مصرف انرژی شده و به ربات کمک می‌کند تا در شرایط عملیاتی مختلف، بهترین عملکرد

USB^{۵۲}
UART^{۵۳}
ARM^{۵۴}
STM32^{۵۵}

ممکن را داشته باشد. در جدول زیر، مشخصات فنی تمامی قطعات مهم در نظر گرفته شده برای این پروژه به صورت تفصیلی ارائه شده است تا درک بهتری از ویژگی‌های سخت‌افزاری به کار رفته در این ربات فراهم شود.

نوع	مشخصات فنی
باتری	لیتیوم پلیمر - ۴ سل - ۲۲۰۰ میلی آمپر
سروو موتور	۲ دینامیکسل سری MX-28
سنسور	(ژیروسکوپ / شتاب سنج) MPU9250
برد کنترل مرکزی	رزبری پای zero
دوربین و میکروفن	Logitech C920
واحد ارتباطی	مدار طراحی شده
بدنه اصلی	پرینتر سه بعدی PLA

در این ربات مطابق با بلوک دیاگرام در شکل زیر، از یک حسگر اینرسی استفاده شده که از طریق پروتکل اس پی آی^{۵۶} داده‌های خام خود را به میکروکنترلر ارسال می‌کند و پس از گذر از فیلترینگ مربوطه، داده‌های مرتبط با زاویه و سرعت ربات را در اختیار کاربر قرار می‌دهد که در ادامه توضیحات بیشتری در این باره گردآوری شده است.



شکل (۳-۴) بلوک دیاگرام کلی ربات

۳-۴- سیستم‌های نهفته:

سیستم‌های نهفته عضو جدایی ناپذیر ربات‌های مدرن هستند و به دلیل مصرف بهینه انرژی، سرعت پردازش بالا و عملکرد بلادرنگ آن‌ها، در بسیاری از کاربردهای صنعتی و تحقیقاتی مورد استفاده قرار

^{۵۶} SPI

می‌گیرند. در ربات امدادگر دست‌پرتاب اچ اس ال نیز، از سیستم‌های نهفته به منظور مدیریت پردازش داده‌های سنسوری، ارسال فرامین به محرک‌ها و همچنین تشخیص تغییرات تصادفی بر روی داده‌ها به وسیله الگوریتم افزونه چرخه‌ای سی آر سی^{۵۷} استفاده شده است. این سیستم‌ها ترکیبی از سخت‌افزار و نرم‌افزار هستند که برای انجام وظایف خاص و مشخصی طراحی می‌شوند و در ربات‌های امدادگر، این سیستم‌ها برای کنترل دقیق و مدیریت عملیات‌های مختلف ربات کاربرد دارند. برخلاف سیستم‌های محاسباتی عمومی که برای اجرای چندین نوع برنامه طراحی شده‌اند، سیستم‌های تعبیه شده معمولاً برای یک یا چند وظیفه خاص بهینه‌سازی می‌شوند. یکی از مهم‌ترین اجزای سیستم‌های تعبیه شده، میکروکنترلرها هستند که به عنوان مغز متفکر این سیستم‌ها عمل می‌کنند. به طور مثال، میکروکنترلرهای سری اس تی ام ۳۲، به دلیل قابلیت‌های گسترده و انعطاف‌پذیری بالا، در بسیاری از پروژه‌های رباتیک و امبدد^{۵۸} استفاده می‌شوند. این میکروکنترلرها با معماری منحصر به فرد خود، از ویژگی‌هایی مانند پردازنده‌های قدرتمند، مصرف انرژی پایین، پشتیبانی از پروتکل‌های ارتباطی مختلف برخوردارند. این ویژگی‌ها به توسعه دهندگان این امکان را می‌دهد تا سیستم‌های پیشرفته و بهینه‌ای را برای کاربردهای مختلف از جمله ربات‌های امدادگر طراحی کنند. یکی از ویژگی‌های برجسته این میکروکنترلرها، توانایی اجرای سیستم عامل‌های بلادرنگ مانند فری آرتاس^{۵۹} است که امکان مدیریت همزمان وظایف مختلف را با دقت و کارایی بالا فراهم می‌سازد (ناکانو و همکاران، ۲۰۲۱)^{۶۰}.

فری آرتاس یک سیستم عامل بلادرنگ سبک و انعطاف پذیر است که به طور گسترده در پروژه‌های امبدد استفاده می‌شود. این سیستم عامل به توسعه دهندگان اجازه می‌دهد تا برنامه‌های پیچیده‌ای با چندین وظیفه همزمان را ایجاد کنند که هر یک از این وظایف می‌تواند به صورت مستقل از دیگری اجرا شود. لذا با ارائه امکاناتی همچون مدیریت وظایف^{۶۱}، هماهنگ‌سازی^{۶۲}، صف‌های پیام و تایمرها^{۶۳} کمک می‌کند تا برنامه‌هایی قابل اعتماد و با کارایی بالا ایجاد شوند.

^{۵۷} Cyclic redundancy check (CRC)

^{۵۸} Embedded

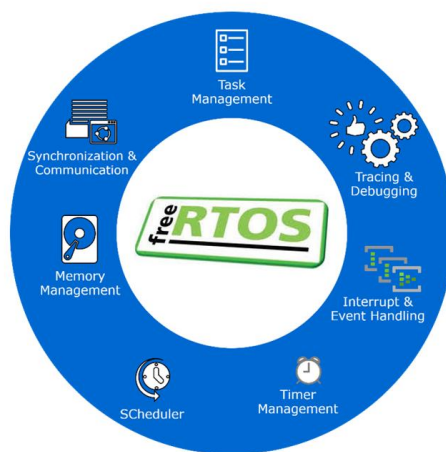
^{۵۹} FreeRTOS

^{۶۰} Nakano W, et al.

^{۶۱} Task Management

^{۶۲} Synchronization

^{۶۳} Timer



شکل (۳-۵) ساختار کلی سیستم عامل بلادرنگ

در این ربات با استفاده از سیستم عامل فری آرتاس، چندین وظیفه تشکیل شده که هر یک به طور مستقل کارهای خود را انجام می‌دهند. یک وظیفه جهت خواندن اطلاعات خام از حسگر اینرسی و دومین وظیفه مربوط به فیلترینگ آن داده‌ها است. وظیفه بعدی مدیریت توان مصرفی ربات را برعهده دارد. به گونه‌ای که در صورت نیاز، پردازنده‌های ربات و تمامی المان‌های مصرفی در ربات را خاموش کرده و یا در صورت موجود به حالت دیپ اسلیپ^{۶۴} می‌برد. این امر موجب افزایش طول عمری باتری گردیده و می‌توان از ربات در فواصل زمانی طولانی استفاده نمود. وظیفه دیگر، عملیات دریافت فرامین از سوی پردازنده اصلی است اما به دلیل اینکه ربات در محیط‌های مختلف قابل استفاده است، لذا این ارتباطات مستعد دریافت هرگونه اعوجاج بر روی داده‌ها است که جهت تشخیص و جلوگیری از آن از الگوریتم سی آر سی سخت‌افزاری استفاده شده که توانایی تشخیص خطا در داده‌های دریافتی را دارد. سیستم عامل فری آرتاس وظیفه تشخیص خطا را برعهده می‌گیرد.

در این روش، داده‌ها به عنوان چند جمله‌ای در نظر گرفته می‌شوند و با استفاده از یک چند جمله‌ای مولد^{۶۵} تقسیم می‌شوند و فرایند محاسبه آن به صورت زیر خواهد بود.

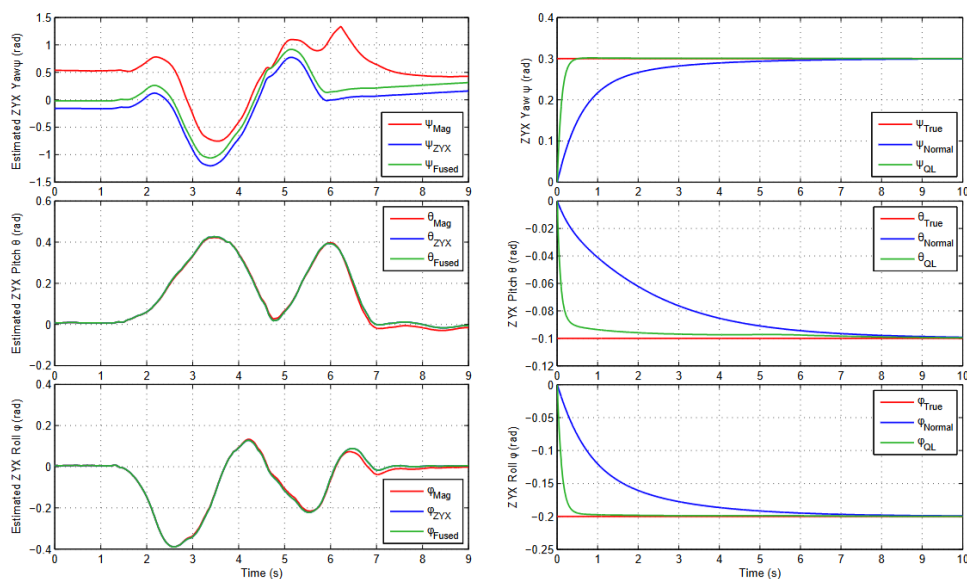
$$G(x)Q(x) = R(x) + x^r * M(x) \quad (۱۰-۳)$$

همچنین این فرایند را می‌توان به صورت تقسیم دودویی و با بهره‌گیری از عملیات ایکس^{۶۶} پیاده‌سازی کرد که معمولاً با استفاده از یک شیفت رجیستر ۳۲-بیتی و ایکس^{۶۶} انجام می‌گیرد. این قابلیت‌ها باعث می‌شوند تا ربات امدادگر مورد نظر بتواند به طور مؤثر و کارآمد در عملیات نجات و جستجو شرکت کند

^{۶۴} Deep Sleep
^{۶۵} Generator Polynomial
^{۶۶} XOR

و در شرایط بحرانی عملکرد بهتری داشته باشد. انتخاب صحیح سخت‌افزار و نرم‌افزار برای اینگونه سیستم‌ها می‌تواند تفاوت بزرگی در موفقیت یا ناکامی یک پروژه رباتیک ایجاد کند (زونبو و همکاران، ۲۰۲۴)^{۶۷}.

همانگونه که در بخش‌های قبلی اشاره شد، یکی از چالش‌های اصلی در پردازش داده حسگرها، مدیریت نویز و بهینه‌سازی کیفیت داده‌ها است. از طرفی آگاهی از نحوه جهت‌گیری ربات نسبت به جهان اغلب اطلاعات ارزشمندی در زمینه رباتیک است. بنابراین، برای کاهش نویز در داده‌های حسگر اینرسی، از فیلتر کامپلیمتری^{۶۸} استفاده شده که باعث بهبود دقت اطلاعات موقعیتی ربات می‌شود. برنامه این فیلتر به عنوان یک کتابخانه متن باز منتشر شده و قابل دسترسی است (الگرو و بنکه، ۲۰۱۴)^{۶۹}. عملکرد این فیلتر تا حد زیادی مرتبط با سیستم‌های ای‌اچ‌آر اس^{۷۰} بود که نمودار خروجی آن به صورت زیر بوده تا مقادیر مربوط با زاویه ربات را در اختیار قرار دهد.



شکل (۳-۶) نمودار خروجی فیلترینگ در سه محور اصلی

۳-۵- نرم‌افزار کنترلی و ارتباطات ربات:

سیستم نرم‌افزاری ربات دوچرخه امدادگر دست‌پرتاب ای‌اس‌ال به گونه‌ای طراحی شده که بتواند پردازش بلادرنگ داده‌ها، کنترل دقیق حرکت و برقراری ارتباط ایمن با ایستگاه کنترل یا همان کاربر را فراهم سازد.

^{۶۷} Zuinev A, et al.
^{۶۸} Complementary
^{۶۹} Allgeuer P, Behnke S
^{۷۰} AHRS

این نرم افزار شامل سه بخش اصلی است: سیستم ارتباطی رمزنگاری شده، سیستم کنترل حرکتی، پردازش تصویر و پردازش داده های دریافتی.

۳-۵-۱- سیستم ارتباطی رمزنگاری شده:

با توجه به اینکه این ربات از طریق راه دور کنترل می شود و به دلیل کم هزینه بودن و کوچک بودن ربات، امکان دارد تا از چندین نمونه از آن در عملیات امداد و نجات مشارکت داشته باشند. بنابراین برای محافظت از ایجاد چالش هایی در کنترل ربات ها با یکدیگر از الگوریتم آر اس ای-۲۰۴۸ بیتی به منظور امنیت انتقال داده و احراز هویت استفاده گردیده است. این الگوریتم بر اساس اصول ریاضیاتی خاص و فاکتورگیری اعداد اول بزرگ طراحی شده است و از دو کلید برای رمزنگاری و رمزگشایی داده ها بهره می برد: یک کلید عمومی که برای رمزنگاری داده ها استفاده می شود و یک کلید خصوصی که برای رمزگشایی داده ها به کار می رود. به دلیل قدرت بالای امنیتی که با استفاده از کلید ۲۰۴۸ بیتی به دست می آید، این الگوریتم به عنوان یک استاندارد امن در رمزنگاری اطلاعات در شبکه های مختلف شناخته شده است.

```
const u8 rsa2048_public_key[RSA2048_PUBKEY_SIZE] = {
    0xAA, 0xA3, 0x52, 0x90, 0xDA, 0xB7, 0xBD, 0x67,
    0xC2, 0x7B, 0x95, 0x78, 0x0C, 0x15, 0x4A, 0x24,
    0x73, 0xBB, 0x43, 0x97, 0x7F, 0x67, 0x13, 0x99,
    0x0B, 0x72, 0x47, 0xF4, 0x7B, 0x0D, 0x05, 0xBD,
    0x76, 0xF8, 0x13, 0x7F, 0xE6, 0xDA, 0x27, 0x22,
    0xB4, 0x59, 0x5D, 0x4B, 0xD6, 0x0F, 0xE3, 0xBE,
    0x1C, 0x93, 0xB5, 0xB4, 0x22, 0xA9, 0xD7, 0xB5,
    0x1A, 0x86, 0xDC, 0x4F, 0xC7, 0xC6, 0xB4, 0x8B,
    0xEF, 0x4F, 0x80, 0x03, 0x57, 0xDF, 0xDD, 0x69,
    0x13, 0xAB, 0x68, 0xA3, 0x43, 0xB8, 0x88, 0xA2,
    0xD8, 0x40, 0x55, 0x14, 0x10, 0x4E, 0x0A, 0xBD,
    0x0B, 0x7E, 0xDB, 0x7B, 0xD3, 0xCB, 0xBB, 0xB1,
    0xE7, 0xC7, 0xB2, 0xDF, 0x8D, 0x8F, 0xDA, 0x67,
    0xB3, 0x21, 0x19, 0xF8, 0x0E, 0x5B, 0x88, 0xE5,
    0xF1, 0xA1, 0xC3, 0xF1, 0xB3, 0x0F, 0x2B, 0xC8,
    0x34, 0xD2, 0xF3, 0x8A, 0xA2, 0x45, 0x4F, 0xAE,
    0x76, 0x6C, 0x5A, 0x5E, 0x7F, 0x06, 0x79, 0x9D,
    0xA6, 0xB9, 0xED, 0x50, 0xB6, 0x3A, 0x2D, 0x10,
    0xC4, 0x5F, 0x86, 0x75, 0x91, 0x50, 0x63, 0x29,
    0x0F, 0x38, 0xE3, 0x67, 0x87, 0x46, 0xCA, 0x2E,
    0xB5, 0x6B, 0x07, 0xB0, 0x66, 0x2F, 0x26, 0x4B,
    0xB8, 0x24, 0x37, 0xDE, 0x43, 0xAC, 0x23, 0x7D,
    0xDB, 0x93, 0xCE, 0x7E, 0xBF, 0x96, 0xFC, 0x52,
    0x28, 0xBF, 0xEF, 0xC6, 0xB5, 0xF9, 0xF3, 0xC4,
    0x8D, 0x7E, 0xD9, 0x99, 0xDB, 0x72, 0xDD, 0x91,
    0x7B, 0x8A, 0x49, 0x34, 0x2B, 0x9A, 0x7C, 0x61,
    0x64, 0x69, 0xE7, 0xCA, 0x3D, 0xD2, 0x45, 0xC8,
    0xAA, 0x44, 0xEB, 0x14, 0x9B, 0x5B, 0xDD, 0x87,
    0x86, 0x59, 0x26, 0x21, 0x32, 0xD3, 0x68, 0x3D,
    0xCC, 0x02, 0x01, 0x91, 0x8F, 0xFA, 0x6B, 0x15,
    0xD8, 0xB1, 0xCF, 0x11, 0xD1, 0xAB, 0x71, 0x14,
    0xDB, 0x1D, 0xF3, 0xD4, 0xA4, 0xB5, 0x2B, 0x6F
};

// e
const u8 rsa2048_public_e[RSA_PUBKEY_E_SIZE] = {
    0x00, 0x01, 0x00, 0x01
};
```

شکل (۳-۷) نمونه ای از کلید عمومی ساخته شده به وسیله الگوریتم آر اس ای-۲۰۴۸ بیتی

لذا در نخستین مرحله از فرآیند، کاربر کلیدهای مربوط به الگوریتم آر اس ای-۲۰۴۸ بیتی را تولید می‌کند. پس از ایجاد این کلیدها، آن‌ها به ربات منتقل می‌شوند تا فرآیند اولیه‌سازی^{۷۱} سیستم امنیتی انجام گیرد. در این مرحله، ربات با دریافت کلید عمومی و خصوصی از کاربر (مطابق با شکل فوق)، بستر ارتباطی ایمن خود را راه‌اندازی کرده و آماده تبادل داده‌های رمزنگاری شده می‌شود.

پس از این مرحله، پردازنده اصلی ربات به واسطه داشتن کلید خصوصی، قادر خواهد بود تا داده‌های دریافتی را رمزگشایی کرده و پردازش کند. این نوع رمزنگاری اطمینان می‌دهد که تنها ربات، که دارای کلید خصوصی منحصر به فرد خود است، بتواند اطلاعات ارسال شده را دریافت و پردازش کند. بنابراین، برای افزایش امنیت و کاهش حجم داده‌های انتقالی، تمام اطلاعات پیش از ارسال، فشرده‌سازی شده و سپس تحت الگوریتم ذکر شده رمزنگاری می‌شوند. پس از دریافت اطلاعات، هر یک از طرفین (ربات و سیستم کاربر) با استفاده از کلیدهای اختصاصی خود، داده‌ها را رمزگشایی کرده و اطلاعات را استخراج می‌کنند. این فرایند، ارتباطی کاملاً ایمن و محافظت شده بین ربات و کاربر برقرار می‌سازد.

۳-۵-۲- سیستم کنترل حرکتی:

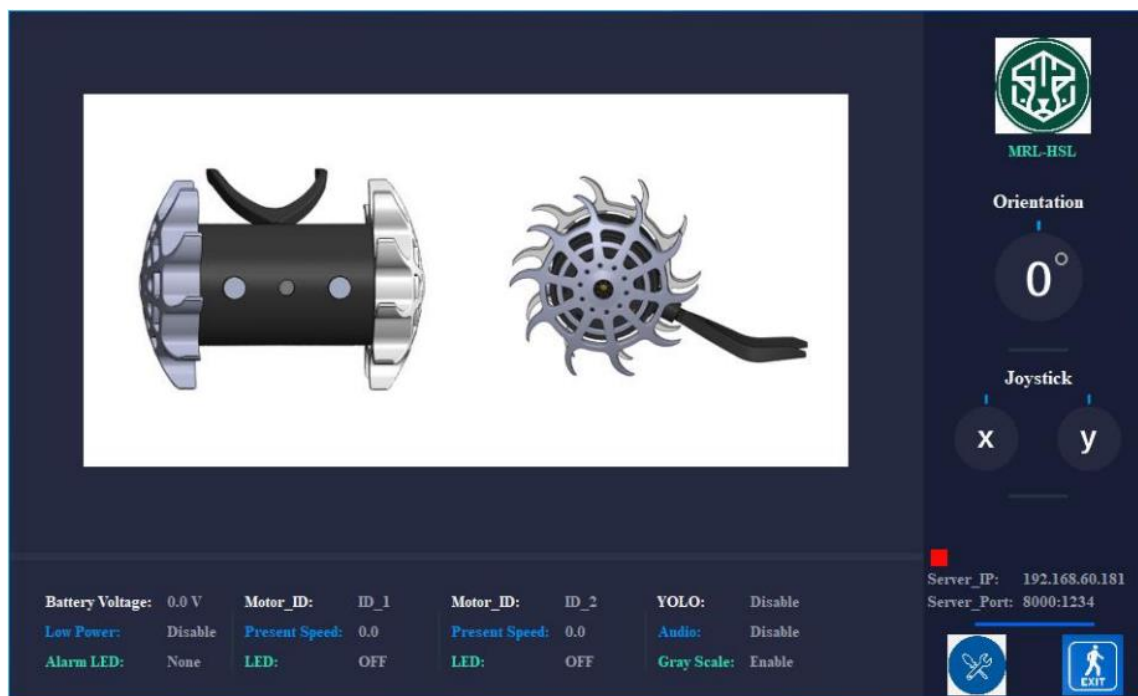
کنترل حرکت ربات توسط کاربر از طریق یک جوی‌استیک^{۷۲} انجام می‌شود که امکان هدایت دقیق و بلادرنگ ربات را در شرایط مختلف عملیاتی می‌دهد. داده‌های مرتبط با حسگرها که متشکل از ژيروسکوپ، ستاب‌سنج، دوربین و میکروفن هستند، از طریق نرم‌افزار کنترلی به نمایش درمی‌آیند. این سیستم کنترلی به کاربر اجازه می‌دهد تا جهت حرکت، سرعت و تغییرات لحظه‌ای مسیر را به صورت کاملاً پویا و بدون تأخیر مدیریت کند.

این نرم‌افزار، اطلاعاتی از جمله زاویه چرخش ربات، سرعت حرکت و جهت دوربین را به صورت زنده نمایش داده و امکان کنترل دقیق‌تر را فراهم می‌سازد. در نتیجه، کاربر می‌تواند بدون نیاز به مشاهده مستقیم، از طریق داده‌های ارائه شده در نرم‌افزار، تصمیمات سریع و کارآمدی برای هدایت ربات اتخاذ کند. از ویژگی‌های کلی و کلیدی این سیستم کنترلی می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- کنترل بلادرنگ با جوی‌استیک: امکان هدایت سریع و روان ربات را در مسیرهای پیچیده فراهم می‌سازد. این سیستم، تأخیر بسیار کمی دارد و به کاربر اجازه می‌دهد تا در لحظه، مسیر حرکت را اصلاح کند و به سرعت به تغییرات محیطی واکنش نشان دهد.

^{۷۱} Initialize
^{۷۲} Joystick

- نمایش زنده داده‌های حرکتی: نرم‌افزار کنترلی، تمام اطلاعات حرکتی ربات را در لحظه نمایش می‌دهد، از جمله زاویه چرخش، سرعت ربات و غیره.
- کنترل میکروفن و دوربین: کاربر می‌تواند در صورت نیازهایی که دارد، از تصویر و صدای دریافتی از سوی ربات صرف نظر کرده و این حسگرها را به حالت خاموش ببرد که این امر می‌تواند تاثیر به سزایی در توان مصرفی داشته باشد.
- حالت‌های حرکتی متنوع: سیستم کنترلی دارای چندین حالت حرکتی متناسب با شرایط عملیاتی مختلف است. از جمله حرکت آرام و حرکت سریع.



شکل (۳-۸) نمایشی از برنامه کنترلی که در اختیار کاربر قرار می‌گیرد

۳-۵-۳- پردازش تصویر و صدا:

همانطور که در شکل فوق مشاهده می‌کنید، کاربر می‌تواند بسته به نیاز خود، دوربین و میکروفون ربات را به صورت دستی فعال یا غیرفعال کند. این قابلیت به اپراتور این امکان را می‌دهد که در شرایطی که نیازی به ارسال تصویر یا صدا وجود ندارد، با غیرفعال کردن این ماژول‌ها، مصرف انرژی را کاهش داده و پهنای باند ارتباطی را بهینه کند.

یکی از مشکلات اساسی در طراحی ربات‌های امدادگر پیشین، استفاده از دوربین‌های کم کیفیت بود که تصاویر نامناسبی ارائه می‌دادند. از طرف دیگر، در مواردی که از دوربین‌هایی با کیفیت بالا استفاده شده بود، حجم زیاد داده‌های تصویری باعث افزایش تأخیر در سیستم کنترلی و کاهش سرعت پردازش اطلاعات

شده بود. این تأخیر به ویژه در عملیات‌های امداد و نجات، که تصمیم‌گیری‌های سریع و آنی در آن ضروری است، می‌تواند عملکرد ربات را تحت تأثیر قرار دهد.

برای حل این مشکل، یکی از نوآوری‌های کلیدی در این ربات، فشرده‌سازی داده‌های دوربین قبل از ارسال است. در این فرآیند، ربات ابتدا داده‌های خام تصویری را از دوربین دریافت کرده و سپس با استفاده از الگوریتم‌های بهینه فشرده‌سازی، حجم این داده‌ها را بدون افت محسوس کیفیت کاهش می‌دهد. کاهش حجم اطلاعات باعث می‌شود که تأخیر در ارسال داده‌ها به حداقل برسد و سیستم کنترلی عملکرد سریعتری داشته باشد. پس از فشرده‌سازی، داده‌های دوربین برای افزایش امنیت، رمزنگاری شده و از طریق ارتباط بی‌سیم به سمت کاربر ارسال می‌شوند. رمزنگاری اطلاعات علاوه بر جلوگیری از هرگونه دسترسی غیرمجاز، امنیت تبادل داده‌ها را تضمین می‌کند. در سمت کاربر، پس از دریافت داده‌ها، اطلاعات رمزگشایی شده و مورد استفاده قرار می‌گیرند. این روش موجب کاهش پهنای باند مصرفی شده و ارتباط بی‌سیم میان ربات و کاربر را بهینه می‌سازد. نمونه‌ای از نحوه فشرده‌سازی اطلاعات نیز در شکل زیر قابل مشاهده است.

```
# <----->
def send_frame(self, conn):
    while self.running:
        if self.cameraMode == 0:
            self.release_camera()
        else:
            self.open_camera()
            ret, frame = self.camera.read()
            if not ret:
                print("Error: Could not read frame.")
                continue

            if self.cameraMode == 1:
                frame = cv2.cvtColor(frame, cv2.COLOR_BGR2GRAY)

            result, encoded_frame = cv2.imencode('.jpg', frame, [int(cv2.IMWRITE_JPEG_QUALITY), 90])
            if not result:
                print("Error: Could not encode frame.")
                continue
```

شکل (۳-۹) نمونه‌ای از برنامه نوشته شده جهت فشرده‌سازی اطلاعات و ارسال آن

این کنترل انعطاف‌پذیر به کاربر اجازه می‌دهد تا به راحتی تنظیمات دلخواه خود را در سیستم اعمال کرده و با توجه به شرایط محیطی یا نیازهای خاص، عملکرد ربات را بهینه سازد. به این ترتیب، این طراحی نه تنها قابلیت‌های ربات را به کاربر معرفی می‌کند، بلکه امکان مدیریت و شخصی‌سازی دقیق عملکرد ربات را نیز فراهم می‌آورد. تمامی این قابلیت‌ها به طور یکپارچه در نرم‌افزار پیاده‌سازی شده‌اند که کاربر می‌تواند از طریق آن داده‌های دریافتی را به راحتی مشاهده کند تا کاربر بتواند از پتانسیل بالای ربات به طور بهینه و مطابق با نیاز خود استفاده کند.

۳-۵-۴- پردازش داده‌های دریافتی:

بخش دیگر نرم‌افزار به میکروکنترلر اختصاص دارد که نقش اساسی در کنترل و مدیریت سیستم ربات ایفا می‌کند. این میکروکنترلر مسئولیت ارسال فرامین به محرک‌ها و دریافت داده‌ها از حسگرها را بر عهده دارد. در واقع، این بخش از نرم‌افزار به طور مستقیم با واحدهای سخت‌افزاری ربات در تعامل است تا اطمینان حاصل شود که ربات قادر به انجام حرکات دقیق و دریافت اطلاعات صحیح از محیط پیرامونی خود است. به‌عنوان مثال، میکروکنترلر دستورات لازم را از سوی رزبری پای دریافت کرده و به موتورهای ربات برای حرکت دادن آن در مسیرهای مختلف ارسال می‌کند و همچنین داده‌های مربوط به وضعیت حسگرهای مختلف را دریافت و پردازش می‌کند.

برای اطمینان از درستی انتقال داده‌ها و جلوگیری از خطاهای احتمالی در ارتباطات میان رزبری پای و میکروکنترلر، از سی آر سی سخت‌افزاری استفاده شده است. این الگوریتم که در سطح سخت‌افزاری بر روی میکروکنترلر پیاده‌سازی شده، به طور خودکار کدهای ارسالی و دریافتی را بررسی می‌کند تا از اصالت داده‌ها اطمینان حاصل کند. بدین ترتیب، در صورت بروز هرگونه خطا در انتقال داده‌ها از میکروکنترلر به رزبری پای یا بالعکس، این خطاها شناسایی شده و داده‌ها دوباره ارسال خواهند شد. استفاده از این الگوریتم سخت‌افزاری موجب افزایش سرعت پردازش و کاهش بار پردازشی روی میکروکنترلر می‌شود، زیرا این فرآیند به صورت خودکار و در سطح سخت‌افزار انجام می‌گیرد. بخشی از این برنامه که به تنظیمات این الگوریتم اختصاص دارد، در شکل زیر قابل مشاهده است.

```
hrcrc.Instance = CRC;
hrcrc.Init.DefaultPolynomialUse = DEFAULT_POLYNOMIAL_ENABLE;
hrcrc.Init.DefaultInitValueUse = DEFAULT_INIT_VALUE_ENABLE;
hrcrc.Init.InputDataInversionMode = CRC_INPUTDATA_INVERSION_BYTE;
hrcrc.Init.OutputDataInversionMode = CRC_OUTPUTDATA_INVERSION_ENABLE;
hrcrc.InputDataFormat = CRC_INPUTDATA_FORMAT_BYTES;

uint32_t crc = HAL_CRC_Calculate(&hrcrc, (uint32_t *)address, length);
```

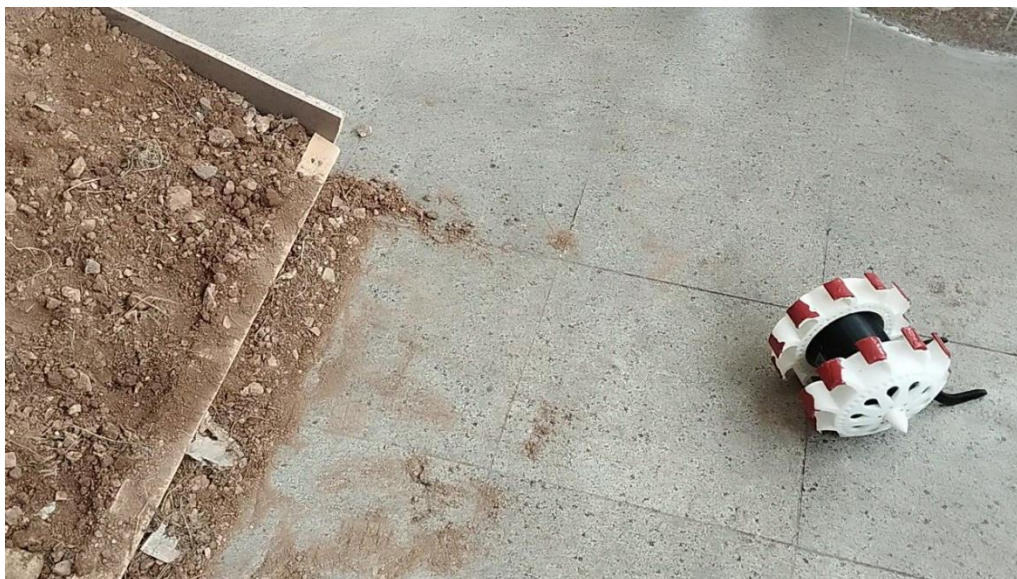
شکل (۳-۱۰) نحوه استفاده از سی آر سی سخت‌افزاری بر روی داده‌های ارسالی و دریافتی این ربات

علاوه بر این، برنامه و تمامی مستندات مربوط به ربات به صورت متن باز در سایت گیت‌هاب^{۷۳} در اختیار عموم قرار گرفته است. این ویژگی باعث می‌شود که کاربران و توسعه‌دهندگان مختلف بتوانند به راحتی به کد منبع، مستندات فنی و دیگر اطلاعات مرتبط با پروژه دسترسی پیدا کنند و به شما این امکان را

^{۷۳} <https://github.com/SaeedBazargan/Throw-HSL/tree/main>

می‌دهد که علاوه بر بررسی عملکرد سیستم، به طور آزادانه تغییرات، بهبودها یا توسعه‌های جدیدی را در پروژه اعمال کنید. این رویکرد متن باز نه تنها باعث تسهیل در یادگیری و توسعه پروژه می‌شود، بلکه امکان مشارکت و افزودن ویژگی‌های جدید توسط سایر علاقه‌مندان را نیز فراهم می‌آورد.

فصل ۴: نتایج، دستاوردها و پیشنهادات



شکل (۴-۱) نمایی از ربات امدادگر دوچرخ دست پرتاب

۴-۱- نتیجه گیری:

روش‌های متعددی برای طراحی و پیاده‌سازی ربات‌های امدادگر، به ویژه ربات‌های دست پرتاب امداد و نجات وجود دارد. اگرچه برخی ربات‌های توانمند و بزرگ‌تر نیز در دسترس هستند، اما برای کارهای تخصصی مناسب‌تر بوده و معمولاً هزینه‌های بالایی در ساخت و یا تعمیر دارند. همچنین، حمل و نقل و کارکرد آن‌ها پیچیده است و در بسیاری از موارد، ابعاد بزرگ آن‌ها مانع از ورود به محیط‌های چالش برانگیز با فضاهای محدود می‌شود. در مقابل، ربات‌های کوچک و متوسطی که بررسی شد، به طور بالقوه می‌توانند نیازهای امداد و نجات را برآورده کنند. با این حال، هزینه هر یک از این ربات‌ها معمولاً به چند هزار دلار می‌رسد که این امر استفاده گسترده از آن‌ها در سناریوهای نجات واقعی را محدود می‌کند. برای غلبه بر این چالش‌ها، تلاش‌های زیادی در جهت هوشمندسازی صورت گرفته است. هوشمندسازی ربات‌های امدادگر شامل تجهیز آن‌ها به حسگرهای پیشرفته، سیستم‌های پردازش داده، و الگوریتم‌های هوش مصنوعی است. این فناوری‌ها به ربات‌ها این امکان را می‌دهند تا به طور خودکار مسیرهای پیچیده را شناسایی کرده و با موانع مختلف سازگار شوند. علاوه بر این، توانایی پردازش داده‌های محیطی در لحظه، به ربات‌ها اجازه می‌دهد تا تصمیم‌گیری‌های بهتری در شرایط اضطراری داشته باشند. یکی از جنبه‌های کلیدی هوشمندسازی، استفاده از فناوری‌های ارتباطی پیشرفته است. با تجهیز ربات‌ها به ماژول‌های ارتباطی بی‌سیم همانند وای فای و غیره، امکان تبادل سریع اطلاعات بین ربات و تیم نجات فراهم می‌گردد. این ارتباطات نه تنها به بهبود هماهنگی و کارایی عملیات نجات کمک می‌کند، بلکه امکان کنترل از راه دور و دریافت بازخورد لحظه‌ای از وضعیت محیط را نیز فراهم می‌سازد. در نهایت، با توجه

به اهمیت استحکام و انعطاف‌پذیری بدنه ربات‌ها، طراحی و مواد استفاده شده در ساخت بدنه نیز باید به گونه‌ای باشد که بتواند در برابر ضربه‌ها و شرایط سخت محیطی مقاومت داشته باشد. استفاده از مواد مقاوم و سبک، همراه با طراحی‌های نوآورانه، به افزایش کارایی و طول عمر ربات‌ها کمک می‌کند.

۴-۲- دستاوردهای حاصل شده:

طراحی و توسعه ربات امدادگر دوچرخ دست‌پرتاب، دستاوردهای علمی و فنی متعددی به همراه داشته است که می‌توان آن‌ها را در حوزه‌های مختلفی بررسی کرد. یکی از مهمترین دستاوردهای این پروژه، کسب مقام اول در مسابقات ملی ربات‌های دست‌پرتاب است که نشان دهنده برتری عملکرد و کارایی این ربات نسبت به سایر نمونه‌های مشابه در کشور می‌باشد. این موفقیت به دلیل طراحی بهینه، استفاده از الگوریتم‌های هوشمند و پیاده‌سازی فناوری‌های پیشرفته در این ربات حاصل شده است. یکی دیگر از دستاوردهای مهم این پروژه، ارائه مقاله علمی در یکی از کنفرانس‌های بین‌المللی است که بیانگر نوآوری‌های به کار رفته در این ربات و تأیید علمی آن در سطح جهانی است. این مقاله به بررسی معماری سیستم، الگوریتم‌های مورد استفاده برای تشخیص موانع، روش‌های پردازش تصویر، و راهکارهای کنترلی برای حفظ تعادل ربات پرداخته و مورد توجه پژوهشگران و متخصصان حوزه رباتیک قرار گرفته است.

از منظر فنی، این ربات موفق شده است یکپارچه‌سازی سامانه‌های سخت‌افزاری و نرم‌افزاری پیشرفته را به شکلی بهینه انجام دهد. ترکیب پردازش تصویر، ارتباطات بی‌سیم، و سیستم کنترلی مبتنی بر فری آرتاس، به این ربات امکان داده تا در محیط‌های بحرانی عملکردی دقیق و قابل اعتماد داشته باشد. در بخش عملیاتی، این ربات توانسته است در آزمایش‌های میدانی، عملکرد موفق‌تری را در محیط‌های دشوار و پرچالش از خود نشان دهد. این آزمایش‌ها شامل حرکت در مسیرهای سنگلاخی، عبور از سطوح شیب‌دار تا ۴۰ درجه، و ارسال تصاویر و داده‌های محیطی به صورت بلادرنگ بوده‌اند. قابلیت تشخیص دقیق موانع، جلوگیری از برخورد، و ارسال اطلاعات محیطی از دیگر نقاط قوت این ربات محسوب می‌شود که می‌تواند نقش مهمی در عملیات‌های امداد و نجات داشته باشد.

در مجموع، ربات امدادگر دوچرخ دست‌پرتاب توانسته است با ترکیب فناوری‌های پیشرفته، طراحی بهینه، و الگوریتم‌های هوشمند، گامی مؤثر در بهبود سیستم‌های امداد و نجات رباتیک بردارد. این پروژه نه تنها از نظر علمی و تحقیقاتی ارزشمند است، بلکه می‌تواند به عنوان یک مدل عملیاتی در توسعه نسل جدیدی از ربات‌های امدادگر مورد استفاده قرار گیرد.

۴-۳- پیشنهادات ارائه شده جهت ارتقاء:

یکی از مهم‌ترین راهکارهای پیشنهادی برای بهینه‌سازی و ارتقای ربات‌های امدادگر دوچرخ دست‌پرتاب، استفاده از سیستم عامل رباتیک و یا راس^{۷۴} به جای سایر سیستم‌های کنترلی سنتی است. راس یک پلتفرم متن باز و قدرتمند برای توسعه نرم‌افزاری ربات‌ها محسوب می‌شود که امکان مدیریت و هماهنگ‌سازی بهتر بین اجزای مختلف ربات را فراهم می‌کند. بهره‌گیری از این سیستم عامل باعث می‌شود تا پردازش داده حسگرها، کنترل حرکتی و ارتباطات بی‌سیم به شکلی بهینه‌تر و انعطاف‌پذیرتر انجام گردند. همچنین، با توجه به پشتیبانی گسترده راس از الگوریتم‌های پیشرفته پردازش تصویر و بینایی کامپیوتری، امکان استفاده از شبکه‌های عصبی و مدل‌های یادگیری عمیق در تحلیل داده‌های محیطی و اتخاذ تصمیمات هوشمندانه برای ربات فراهم خواهد شد. علاوه بر این، از آنجا که در این پژوهش از میکروکنترلر اس تی ام استفاده شده است، پیشنهاد می‌شود تا از میکروراس^{۷۵} به عنوان یک نسخه سبک‌تر راس برای سیستم‌های نهفته مورد استفاده قرار گیرد. میکروراس امکان اجرای پردازش‌های ضروری مانند خواندن داده سنسورها، کنترل بلادرنگ موتورها و ارتباط با واحد پردازشی اصلی مانند رزبری پای را به صورت بهینه‌تری فراهم می‌کند. این بهینه‌سازی به کاهش تأخیر در پردازش داده‌ها، کاهش مصرف توان، و افزایش پایداری عملکرد سیستم منجر خواهد شد.

در حال حاضر، روند ارتقای ربات به راس و میکروراس آغاز شده است و انتظار می‌رود که با پیاده‌سازی این تغییرات و شبیه‌سازی عملکرد آن در محیط‌های گرافیکی همچون گزبو^{۷۶}، سیستم بهینه‌تر و کارآمدتری ایجاد شود. شبیه‌سازی‌های دقیق در محیط گزبو امکان آزمایش و بهینه‌سازی الگوریتم‌های ناوبری، تحلیل عملکرد حسگرها، و بهبود استراتژی‌های کنترلی را پیش از اجرای واقعی روی سخت‌افزار فراهم خواهد کرد.

همچنین، برای افزایش دقت پردازش داده‌های تصویری و درک محیط پیرامون ربات، پیشنهاد می‌شود که از الگوریتم یولو^{۷۷} به عنوان یک روش قدرتمند برای تشخیص و شناسایی اشیاء در تصاویر ورودی استفاده شود. این الگوریتم به دلیل سرعت بالا و دقت قابل توجه در تشخیص بلادرنگ اشیاء، می‌تواند در تحلیل تصاویر دریافت شده از دوربین ربات و شناسایی موانع، مسیرهای قابل حرکت و نشانه‌های امدادی نقش

^{۷۴} Robot Operating System (ROS)

^{۷۵} Micro-ROS

^{۷۶} Gazebo

^{۷۷} YOLO (You Only Look Once)

کلیدی ایفا کند. از این رو، پیشنهاد می‌شود که در به روزرسانی‌های آینده، این رویکردها به صورت گسترده‌تر مورد استفاده قرار گیرند تا عملکرد ربات در محیط‌های عملیاتی واقعی به حداکثر برسد. به کارگیری ترکیبی از راس، میکروراس و الگوریتم یولو، مسیر ارتقای این ربات را هموار کرده و آن را به سیستمی هوشمندتر، پایدارتر و کارآمدتر تبدیل خواهد کرد.

- Al Khatib, E. I., Jaradat, M. A. K., & Abdel-Hafez, M. F. (2020). Low-Cost Reduced Navigation System for Mobile Robot in Indoor/Outdoor Environments. *IEEE Access*, 8, 25014–25026. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2971169>
- Allen, P. (2013). CS W4733 NOTES-Differential Drive Robots. *Columbia University: Department of Computer Science*. Evidó váno, 9, 16.
- Allgeuer, P., & Behnke, S. (2014). Robust sensor fusion for robot attitude estimation. *2014 IEEE-RAS International Conference on Humanoid Robots*, 218–224.
- Booyesen, T., & Mathew, T. J. (2014). The Case for a General Purpose, First Response Rescue Robot. *Proceedings of the 2014 PRASA, RobMech and AfLaT International Joint Symposium*, 6. https://www.researchgate.net/profile/Tracy-Booyesen/publication/270507253_The_Case_for_a_General_Purpose_First_Response_Rescue_Robot/links/54abe83e0cf25c4c472fb93f/The-Case-for-a-General-Purpose-First-Response-Rescue-Robot.pdf
- Coman, D., & Ionescu, A. (2014). Mobile Robot Trajectory Analysis Using Computational Methods. *Advanced Materials Research*, 837, 549–554.
- Goswami, A., & Vadakkepat, P. (2018). *Humanoid robotics: a reference*. Springer Publishing Company, Incorporated.
- Gutierrez, A., & Barber, R. (2005, فوریه). *Mobile robots history*.
- Mathew, T. J., Knox, G., Fong, W. K., Booyesen, T., & Marais, S. (2014). The Design of a Rugged, Low-Cost, Man-Packable Urban Search and Rescue Robotic System. *Proceedings of the 2014 PRASA, RobMech and AfLaT International Joint Symposium*, 6. https://www.researchgate.net/profile/Tracy-Booyesen/publication/270507252_The_Design_of_a_Rugged_Low-Cost_Man-Packable_Urban_Search_and_Rescue_Robotic_System/links/54abe8940cf25c4c472fb97b/The-Design-of-a-Rugged-Low-Cost-Man-Packable-Urban-Search-and-Rescue
- Messina, E. R., & Jacoff, A. S. (2007). Measuring the performance of urban search and rescue robots. *2007 IEEE Conference on Technologies for Homeland Security: Enhancing Critical Infrastructure Dependability*, 28–33. <https://doi.org/10.1109/THS.2007.370015>
- Mojtaba Karimi, A. A. P. K. S. S. G. (2016). WeeMiK_A low-cost omnidirectional swarm platform for outreach, research and education. *The 4th International Conference on Robotics and Mechatronics*. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1109/ICRoM.2016.7886789>
- Nakano, W., Shinohara, Y., & Ishiura, N. (2021). Full hardware implementation of FreeRTOS-based real-time systems. *TENCON 2021-2021 IEEE Region 10 Conference (TENCON)*, 435–440.
- Reiner, B., & Svensson, M. (2016). *Mimer-Developing a low-cost, heavy-duty reconnaissance robot for use in Urban Search and Rescue operations*. 103. <https://lup.lub.lu.se/luur/download?func=downloadFile&recordId=8892257&fileId=8892258>

- Yao, Z. B., Douglas, W., O’Keeffe, S., & Villing, R. (2022). Faster YOLO-LITE: Faster Object Detection on Robot and Edge Devices. *Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*, 13132 LNAI, 226–237. https://doi.org/10.1007/978-3-030-98682-7_19
- Zuiev, A., Krylova, V., Hapon, A., & Honcharov, S. (2024). Research of microprocessor device and software for remote control of a robotic system. *Technology audit and production reserves*, 1(2/75), 31–37.

Abstract The development of cost-effective rescue robots is crucial for enhancing safety and efficiency in hazardous environments where human access is limited. Although various designs and implementations of rescue robots have been proposed, integrating all mobility, dexterity, and perception capabilities into a single robot remains a challenging problem. This thesis aims to address this demand by designing and implementing a compact and cost-effective throwable rescue robot equipped with diverse sensors for easy transportation and rapid deployment. The proposed platform supports rescue missions, research, and educational applications, offering semi-autonomous assistance through its advanced capabilities. One of the notable features of this design is its ability to record and transmit real-time camera footage and environmental audio from the robot to an external laptop. This functionality is facilitated by a Raspberry Pi Zero 2W, which encrypts and transmits the robot's audio-visual data and motion commands using RSA-2048 and CRC within a graphical user interface (GUI) framework. This approach enhances processing speed while preserving battery life by efficiently handling computationally intensive tasks.

Focusing on performance, accessibility, cost-effectiveness, and open-source design, this platform includes a comprehensive SDK. Additionally, the robot's electronic system is centered around a 32-bit ARM microcontroller, which manages scheduled task execution using FreeRTOS. Furthermore, a precise simulation of the robot's future actions will be conducted in the Gazebo software environment, which is currently under development by the Mechatronics Research Laboratory (MRL).

Keywords: Rescue Robots, Mobile Robot Platform, Human-Robot Interaction, FreeRTOS, ARM Microcontroller.



**Islamic Azad University
Qazvin Branch**

Faculty of Electronic, Mechatronics and Biomedical Engineering
M.Sc. Thesis on Electrical Engineering
Digital Electronic Systems

Subject:

Design and Implementation of the HSL Hand-
Launchable Two-Wheeled Rescue Robot

By:

Saeed Bazargan

Supervisor:

Mohammad Norouzi

Spring 2025