



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، نادانشجویان و اعضاء هیأت علمی و انشگاه 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 هیات مدیران (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 مقرون‌به‌صرفه برای بهبود ایمنی و کارایی در محیط‌های خطرناک که دسترسی انسان‌ها محدود است، امری حیاتی است. اگر چه طرح‌ها و پیاده‌سازی‌های مختلفی در زمینه ربات‌های امداد و نجات ارائه شده است، اما تعبیه همه قابلیت‌های تحرک، مهارت و شناسایی در یک ربات واحد، همچنان یک مشکل چالش برانگیز است. هدف این پایان‌نامه پاسخ به این تقاضا است، که به طراحی و اجرای ربات دست پرتاب امدادگر با قابلیت‌هایی همچون فشرده بودن و مقرون‌به‌صرفه بودن می‌پردازد و مجهز به حسگرهای متنوع برای حمل و نقل آسان و استقرار سریع است. این پلتفرم طراحی شده از ماموریت‌های نجات، تحقیقات و برنامه‌های آموزشی پشتیبانی می‌کند و از طریق قابلیت‌های پیشرفته تشخیص اشیاء، کمک‌های نیمه‌خودمختار را ارائه می‌دهد. یکی از ویژگی‌های قابل توجه این طراحی، امکان ضبط و پخش تصاویر دوربین و صدای محیط خارجی از ربات به یک لپ‌تاپ خارجی است که توسط یک برد Raspberry Pi Zero 2W انجام می‌گیرد، جایی که تشخیص اشیاء با استفاده از چارچوب YOLOdotnet با یک رابط کاربری گرافیکی انجام می‌شود. این رویکرد سرعت پردازش را افزایش داده و با به کارگیری وظایف محاسباتی فشرده، عمر باتری را حفظ می‌کند. با تمرکز بر عملکرد، دسترسی، مقرون‌به‌صرفه بودن، و طراحی منبع باز، این پلتفرم شامل یک SDK جامع است. از طرفی، سیستم الکترونیکی این ربات حول یک میکروکنترلر ۳۲ بیتی ARM متمرکز شده است که توانایی تخصیص وظایف زمان‌بندی شده را به وسیله FreeRTOS انجام می‌دهد و شبیه‌سازی دقیق این ربات نیز در محیط نرم‌افزاری Gazebo صورت گرفته و در حال حاضر توسط آزمایشگاه تحقیقات مکاترونیک MRL در دست توسعه است.

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

فهرست مطالب

فصل ۱: مقدمه	۱
۱-۱- مقدمه‌ای بر ربات‌های متحرک:	۲
۱-۱-۱- انواع ربات‌های متحرک:	۲
۱-۲- کاربرد ربات‌های متحرک:	۳
۲-۱- چالش‌های پیش روی ربات‌های متحرک:	۳
۳-۱- مطالعه انجام شده درباره ربات‌های چرخ‌دار متحرک:	۴
۱-۳-۱- تاریخچه ساخت ربات‌های چرخ‌دار متحرک:	۵
۴-۱- مطالعه انجام شده درباره ربات‌های پادار متحرک:	۶
۱-۴-۱- تاریخچه ساخت ربات‌های پادار متحرک:	۷
۵-۱- ربات‌های متحرک در امداد و نجات:	۸
۶-۱- موضوع پژوهش:	۹
۱-۶-۱- شرح کلی صورت مسئله:	۹
۲-۶-۱- اهداف پژوهش:	۱۱
۳-۶-۱- ساختار پایان‌نامه:	۱۲
فصل ۲: پیشرفت‌های پیشین در زمینه ربات‌های امدادگر دست‌پرتاب	۱۳
۱-۲- مقدمه:	۱۴
۱-۱-۲- تحقیقات اولیه و طراحی‌های اولیه:	۱۴
۲-۱-۲- پروژه‌های برجسته و نوآوری‌های اخیر:	۱۵
فصل ۳: ربات دوچرخ امدادگر دست‌پرتاب HSL	۱۸
۱-۳- شبکه‌های عصبی	۱۹
۲-۳- سیستم‌های نهفته:	۲۲
۳-۳- سخت‌افزار و نرم‌افزار مورد نیاز جهت ساخت ربات امدادگر دست‌پرتاب:	۲۴
۳-۳-۱- سینماتیک ربات:	۲۵
۳-۳-۲- بدنه و اجزای تشکیل دهنده ربات:	۲۷
۳-۳-۳- نرم‌افزار ربات:	۲۸

فصل ۴: نتایج، دستاوردها و پیشنهادات	۳۳
۴-۱- نتیجه‌گیری:	۳۴
۴-۲- دستاوردهای حاصل شده توسط این ربات:	۳۴
۴-۳- پیشنهادات ارائه شده جهت ارتقاء ربات:	۳۵
مراجع:	۳۷

فهرست اشکال

- شکل (۱-۱) نمونه‌ای از توصیف رفتار حرکتی در ربات ۲ چرخ (کومان و لونسکو، ۲۰۱۴)..... ۴
- شکل (۲-۱) راست-ربات شی کی چپ-ربات متحرک هیلاری ۵
- شکل (۳-۱) نمایی از اولین ربات‌های ساخته شده در اروپا ۶
- شکل (۴-۱) صفحات سه گانه طولی، روبرویی و عرضی مورد بررسی در ربات‌های انسان‌نما و دوپا ۷
- شکل (۵-۱) راست-ربات طراحی شده توسط لئوناردو داوینچی چپ- انسان الکاریکی ساخته شده توسط فرانک رید ۸
- شکل (۱-۲) نمونه‌ای از یک ربات امدادگر دست‌پرتاب که توسط تیم‌های دانشگاهی ساخته شده است. ۱۵
- شکل (۲-۲) نمونه‌ای از ربات امداد و نجات دست‌پرتاب ساخته شده در سال‌های اخیر ۱۶
- شکل (۳-۲) نمونه‌ای از ربات‌های ساخته شده در سال‌های اخیر ۱۶
- شکل (۴-۲) نمونه‌ای از ربات‌های ساخته شده در سال‌های اخیر ۱۷
- شکل (۱-۳) یک شبکه عصبی پرسپترون ۱۹
- شکل (۲-۳) یک نمونه از شبکه‌های عصبی موجود ۲۰
- شکل (۳-۳) یک نمونه از شبکه عصبی کانولوشنی ۲۱
- شکل (۴-۳) ساختار کلی سیستم عامل بلادرنگ ۲۴
- شکل (۵-۳) نمونه اولیه طراحی شده از بدنه ربات دست پرتاب امدادگر ۲۵
- شکل (۶-۳) نمونه طراحی شده از چرخ ربات دست‌پرتاب امدادگر ۲۷
- شکل (۷-۳) نمایی از برنامه نوشته شده که در اختیار کاربر قرار می‌گیرد ۲۹

فصل ۱: مقدمه

۱-۱- مقدمه‌ای بر ربات‌های متحرک:

ربات‌های متحرک^۱ یکی از شاخه‌های جذاب و پرکاربرد در حوزه رباتیک هستند که به توانایی حرکت در محیط‌های مختلف مجهز شده‌اند. این ربات‌ها می‌توانند به صورت مستقل یا با هدایت از راه دور عمل کنند و در کاربردهای متنوعی از جمله صنعت، حمل و نقل، پزشکی، کاوش‌های فضایی و حتی خدمات روزمره مورد استفاده قرار گیرند. یکی از ویژگی‌های کلیدی ربات‌های متحرک، توانایی درک محیط اطراف و واکنش به آن است. این ربات‌ها با استفاده از حسگرهای گوناگون مانند دوربین‌ها، لیدار^۲ و حسگرهای اولتراسونیک^۳ اطلاعات لازم را از محیط دریافت کرده و از طریق الگوریتم‌های هوشمند تصمیم‌گیری می‌کنند. کنترل حرکت آن‌ها نیز بر اساس مدل‌های دینامیکی و الگوریتم‌های مسیریابی^۴ انجام می‌شود تا بتوانند به‌طور مؤثر در محیط حرکت کنند.

۱-۱-۱- انواع ربات‌های متحرک:

ربات‌های متحرک بسته به نوع حرکت و مکانیزم جابجایی که دارند به دسته‌های مختلفی تقسیم می‌شوند. برخی از مهم‌ترین آن‌ها ربات‌های چرخ‌دار و پادار هستند و دارای ویژگی‌ها، مزایا و محدودیت‌های خاص خود هستند که در جدول زیر به تعدادی از آن‌ها پرداخته شده است.

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	
	حرکت چند وجهی	طراحی پیچیده
پادار	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 Mobile-Robots

^۲ Lidar

^۳ Ultrasonic

^۴ Path-Planning

۱-۱-۲- 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^۵: 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.

همچنین در آینده نیز، پیشرفت‌های بیشتری در زمینه طراحی، الگوریتم‌های هوش مصنوعی و بهینه‌سازی مصرف انرژی باعث خواهد شد که ربات‌های متحرک به شکل گسترده‌تری در زندگی روزمره و صنایع مختلف مورد استفاده قرار گیرند. علاوه بر این، توسعه شبکه‌های ارتباطی پیشرفته مانند ۵G-جی^۶ می‌تواند امکان کنترل بهتر و دقیق‌تر این ربات‌ها را فراهم سازد. از سویی دیگر، ربات‌های متحرک با بهره‌گیری از یادگیری عمیق و سیستم‌های تصمیم‌گیری پیشرفته، توانایی‌های بیشتری در تطبیق با محیط‌های پویا و ناشناخته پیدا خواهند کرد.

۱-۲- چالش‌های پیش روی ربات‌های متحرک:

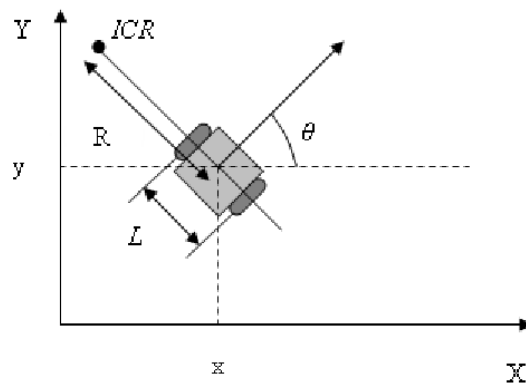
با پیشرفت فناوری و ترکیب رباتیک با هوش مصنوعی، ربات‌های متحرک روزبه‌روز هوشمندتر شده و قابلیت‌های بیشتری پیدا می‌کنند. از خودروهای خودران گرفته تا پهپادهای هوشمند و ربات‌های امدادگر، که این فناوری‌ها نقش مهمی در آینده خواهند داشت. با این حال، چالش‌هایی نیز در مسیر توسعه این فناوری‌ها وجود دارد و برخی از آن‌ها عبارت‌اند از:

- پردازش داده حسگرها: تحلیل داده‌های حجیم و استخراج اطلاعات مفید از آن‌ها همچنان یک چالش مهم محسوب می‌شود.
- مسیریابی و ناوبری: ربات‌های متحرک باید بتوانند مسیرهای بهینه را پیدا کرده و با کمترین میزان خطا حرکت کنند.
- پایداری و تعادل: حفظ تعادل به ویژه در ربات‌های پادار یکی از چالش‌های مهم در طراحی این ربات‌ها است.

- مدیریت انرژی: تأمین انرژی برای عملکرد طولانی مدت یکی از مشکلات اساسی در ربات‌های متحرک است.
- تعامل با محیط: ربات‌ها باید توانایی تشخیص و تعامل مناسب با انسان‌ها و سایر موجودات را داشته باشند.

۱-۳- 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^۷ برای توصیف رفتار حرکتی اینگونه ربات‌ها به کار گرفته‌اند (الن، ۲۰۱۳)^۸. در مطالعات اخیر، روش‌های مبتنی بر هوش مصنوعی و یادگیری عمیق برای پیش‌بینی و کنترل حرکت ربات‌های چرخ‌دار مورد استفاده قرار گرفته است.



شکل (۱-۱) نمونه‌ای از توصیف رفتار حرکتی در ربات ۲ چرخ (کومان و لونسکو، ۲۰۱۴)^۹

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^{۱۰} 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

^۷ Differential Drive Kinematics

^۸ Allen P

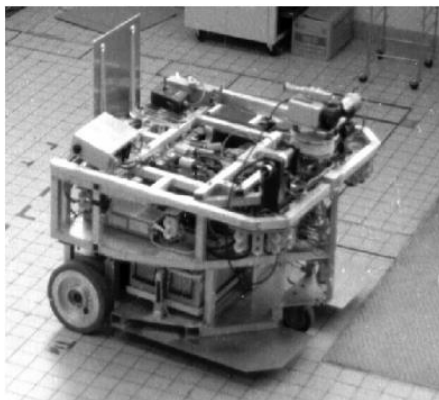
^۹ Coman D, Lonescu A

^{۱۰} Inertial Measurement Unit (IMU)

ربات‌های چرخ‌دار در محیط‌های انسانی است. در نتیجه، الگوریتم‌های یادگیری تقویتی^{۱۱} 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.

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^{۱۲} به پایان رسید. این اولین و تنها رباتی بود که با استفاده از یک برنامه کنترل می‌شد. سپس هیلاری^{۱۳} 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^{۱۴} 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 سیستم‌های بر پایه سنسور^{۱۵} امری ضروری است که در این جهت

^{۱۱} Reinforcement learning

^{۱۲} Shakey

^{۱۳} Hilare

^{۱۴} Outdoor

^{۱۵} Sensor

طراحی های مختلف مکانیکی با توجه به کاربردهایی که برای آن توسعه داده شده، صورت گرفته است و این کاربردها می توانند متناسب با محیط متفاوت باشند.

در اروپا نیز، اولین ربات متحرک در محیط های باز در سال ۱۹۸۷ با پروژه یوریکا^{۱۶} آغاز شد. در این پروژه ربات آدام^{۱۷} توسط فراماتوم و ماترا مارکنی^{۱۸} ساخته شد. این پروژه در نهایت در سال ۱۹۹۲ به لاس^{۱۹} اهدا شد و یک پروژه داخلی به نام ادن^{۲۰} آغاز شد. هدف این پروژه ادغام ظرفیت های ناوبری^{۲۱} در محیط های باز و طبیعی بود. در سال ۲۰۰۰ نیز گروه تحقیقاتی لاس ربات لاما^{۲۲} 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 دوپا 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 دوپا 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 دوپا در سه محور و یا سه صفحه صورت می گیرد. صفحه طولی، صفحه روبرویی

^{۱۶} Eureka AMR

^{۱۷} ADAM (Advanced Demonstrator for Autonomy and Mobility)

^{۱۸} Framatome and Matra Marconi

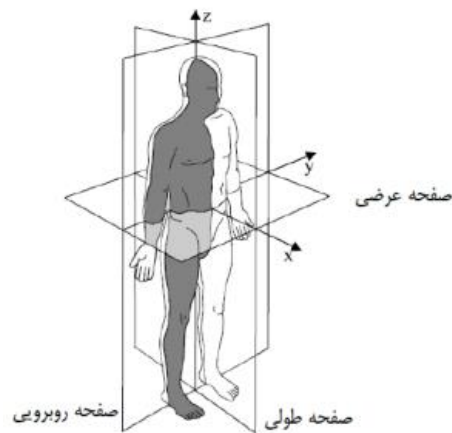
^{۱۹} LAAS

^{۲۰} EDEN (Expérimentation de Déplacement en Environnement Naturel)

^{۲۱} Navigation

^{۲۲} LAMA

و صفحه عرضی. حرکت عموماً در صفحه طولی صورت می گیرد و بیشتر مفاصل مهم در یک ربات دوپا 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.



شکل (۱-۴) صفحات سه گانه طولی، روبرویی و عرضی مورد بررسی در ربات های انسان نما و دوپا

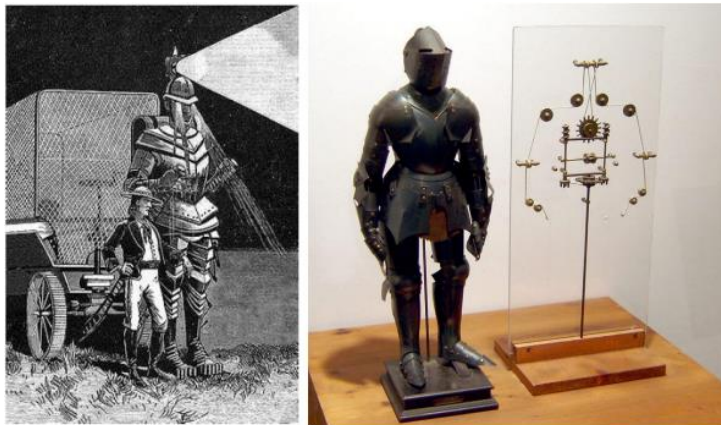
۱-۴-۱- تاریخچه ساخت ربات های پادار متحرک:

انسان در طول تاریخ همواره به ساخت موجودی شبیه به خود علاقه مند بوده است. شاید لئوناردو داوینچی اولین فردی بوده است که یک مکانیزم ربات انسان نما را طراحی و احتمالاً ساخته است. در نتیجه، قرن هفده را شاید بتوان به عنوان دوره ای پر بار در زمینه ربات های انسان نما به شمار آورد. در این قرن ربات های بسیاری با قابلیت انجام کارهای شبیه به انسان مانند نواختن موسیقی یا نوشتن ساخته شد. در قرن نوزده با ساخت ربات های انسان بخاری (که با استفاده از نیروی بخار حرکت می کرد) توسط جان برینارد^{۲۳} و انسان الکتریکی توسط فرانک رید جونیور^{۲۴} گام مهمی در پیشرفت ربات های انسان نما انجام گرفت. با وجود تمامی موارد ذکر شده، ربات های راه رونده به طور جدی در دهه های ۱۹۶۰ و ۱۹۷۰ شروع به گسترش نمودند. عمده این ربات ها در کشور ژاپن ساخته شدند (گوسوامی و واداکپات، ۲۰۱۸)^{۲۵}.

^{۲۳} John Brainerd

^{۲۴} Frank Reade Junior

^{۲۵} Goswami A, Vadakkepat P



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

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 مقرون‌به‌صرفه و قابل اعتماد برای استفاده گسترده در تمام سناریوهای نجات نیستند (مسینا و جکاف، ۲۰۰۷)^{۲۶}.

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^{۲۷} و الگوریتم‌های یادگیری عمیق^{۲۸} منجر به افزایش دقت در شناسایی و مکان‌یابی افراد گرفتار در میان آوار شده‌اند. یکی از فناوری‌های برجسته در این زمینه، چارچوب یولو^{۲۹} است که به دلیل توانایی پردازش بلادرنگ^{۳۰} و تشخیص سریع اشیا، برای عملیات نجات بسیار مناسب است (یاو و همکاران،

^{۲۶} Messina E, Jacoff A

^{۲۷} Convolutional Neural Network (CNN)

^{۲۸} Deep-Learning

^{۲۹} YOLO (You Only Look Once)

^{۳۰} Real-Time

۲۰۲۲)۳۱. علاوه بر بینایی ماشین^{۳۲}، استفاده از فناوری‌های دیگری مانند لیدار برای نقشه‌برداری سه‌بعدی، حسگرهای حرارتی^{۳۳} 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.

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، عنوان یک دسته خاص از ربات‌های امدادگر معرفی شده‌اند که توجه زیادی را به خود جلب کرده‌اند. این ربات‌ها برای مواجهه 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 فضاها تنگ و محدود بپردازند. از طرفی لازم به ذکر است که تنها کاربرد این ربات‌ها در عملیات امداد و نجات نبوده، بلکه می‌توان از قابلیت‌هایی همچون کوچک بودن، سبک و قابل حمل بودن آن‌ها نیز در بخش‌های مختلفی همچون نظامی، آموزشی و سرگرمی نیز استفاده نمود (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 بسیاری 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

^{۳۱} Yao et al.

^{۳۲} Image Processing

^{۳۳} Thermal Infrared Images

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 سنسور 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^{۳۴} استفاده نموده‌ایم. هدف اصلی این است تا بتوانیم با استفاده از یک تکنیک مناسب که برگرفته از پردازش تصویر، شبکه‌های عصبی و سیستم‌های نهفته 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 دنبال روشی هستیم که دقت قابل قبولی را در اختیار ما گذاشته و در عین حال از نظر اقتصادی نیز به صرفه بوده و انتظارات اقتصادی ما را نیز برآورده سازد. به طور مثال بجای استفاده از روش‌های پرهزینه و گاهی مخاطره 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 بی‌سیم، 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^{۳۵} (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 تجمیع 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)^{۳۶}.

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.

^{۳۵} IMU (inertial measurement unit)

^{۳۶} Al Khatib, et al.

- بهبود سیستم تشخیص موانع با استفاده از پردازش تصویر و شبکه‌های عصبی کانولوشنی به منظور افزایش دقت در تشخیص موانع و مسیرهای مناسب.
- افزایش پایداری و تعادل ربات با توسعه الگوریتم‌های کنترلی مبتنی بر داده‌های سنسوری.
- ایجاد یک ارتباط پایدار و بلادرنگ بین ربات و مرکز کنترل از طریق اینترنت اشیا^{۳۷} برای ارسال داده‌های صوتی و تصویری از محیط.
- بهینه‌سازی مصرف انرژی و طراحی ماژولار^{۳۸} 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^{۳۹}، استفاده از الگوریتم‌های شبکه عصبی 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.

^{۳۷} IoT (Internet of Things)

^{۳۸} Modular

^{۳۹} 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 و طراحی‌های اولیه:

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)^{۴۰}. 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 دست‌پرتاب 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، قطب‌نما، شتابسنج و ژيروسکوپ، این امکان را فراهم کرد که ربات‌ها بتوانند داده‌های دقیق‌تری را از محیط جمع‌آوری کنند. به عنوان مثال، یکی از پروژه‌های مهم در این دوره، توسعه ربات‌هایی بود که می‌توانستند با استفاده از تکنیک‌های پردازش تصویر و شبکه‌های عصبی، اختلالات محیطی را کاهش داده و داده‌های به دست آمده را با دقت بیشتری تحلیل 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

^{۴۰} Reiner B, Svensson M

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)^{۴۱} 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. و 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.



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

^{۴۱} Mathew T, et al.

مقاله دیگری در سال ۲۰۱۴ ارائه شده است (بویسن و متیو، ۲۰۱۴)^{۴۲} 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 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 نجات ممکن است کافی نباشد. بنابراین همانگونه که مطالعه گردید، اکثر ربات‌های دست‌پرتاب ساخته شده تاکنون قابلیت هوشمندی را دارا نبوده و از نظر سخت‌افزاری نیز دارای معایب متفاوتی هستند که در این پژوهش سعی بر این بوده است تا معایب ربات‌های دیگر را تا حدودی برطرف نموده و همچنین قابلیت هوشمندسازی را نیز تا حد قابل قبولی در این ربات‌ها جای دهد.

Booyesen T, Mathew T^{۴۲}

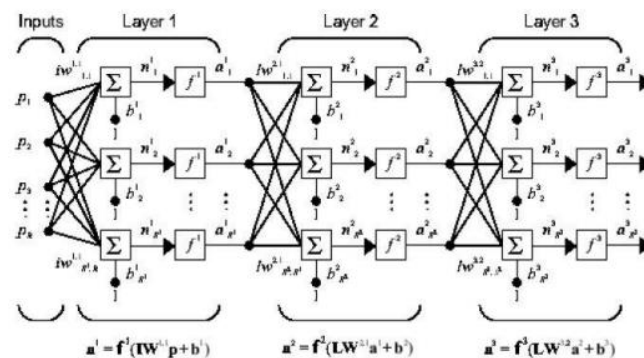
فصل ۳: ربات دوچرخ امدادگر دست پرتاب HSL

در این فصل قصد داریم طراحی و نحوه شکل گیری ربات دست پرتاب اچ اس ال^{۴۳} را با توجه به ویژگی‌ها و مولفه‌های یک فضای آسیب دیده مورد بررسی قرار دهیم و پارامترهای سخت افزاری و نرم افزاری ربات را بر اساس آن‌ها تعیین کنیم که به صورت کلی عبارتند از سیستم‌های نهفته و استفاده از الگوریتم‌های شبکه عصبی می‌باشد.

۱-۳- شبکه‌های عصبی

این ربات برای کاربردهای امدادی، پژوهشی و همچنین آموزشی طراحی شده است. بنابراین برای بهبود عملکرد اینگونه ربات‌ها، باید از الگوریتم‌های شبکه عصبی بهره‌مند شد. در زیر به برخی از انواع شبکه‌های عصبی که برای بهبود عملکرد ربات‌ها استفاده می‌شوند، اشاره شده است:

۱- شبکه‌های عصبی پرسپترون^{۴۴}: این شبکه‌ها به عنوان یکی از اولین و ساده‌ترین شبکه‌های عصبی معرفی شدند. آن‌ها به منظور تشخیص الگوهای ساده و تصمیم‌گیری در موارد دودویی استفاده می‌شوند. همچنین شامل یک یا چند ورودی، یک یا چند وزن، یک تابع فعال‌ساز و یک خروجی هستند. ورودی‌ها به همراه وزن‌ها در یک تابع خطی جمع می‌شوند و سپس از تابع فعال‌سازی عبور می‌کنند تا خروجی تولید شود. فرآیند آموزش شبکه پرسپترون مبتنی بر تعیین و تنظیم وزن‌ها است.



شکل (۱-۳) یک شبکه عصبی پرسپترون

الگوریتم این نوع از شبکه‌های عصبی از فرمول زیر پیروی می‌کند.

$$y = f\left(\sum_{i=1}^n (w_i x_i + b)\right) \quad (1-3)$$

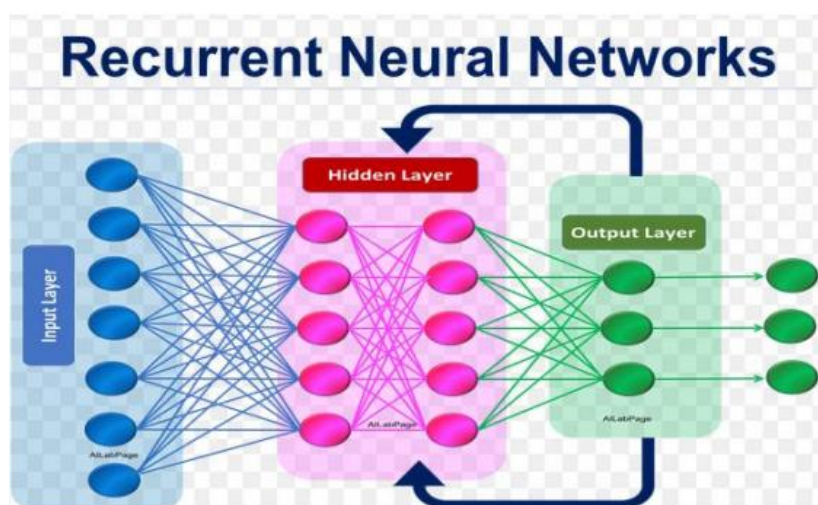
که در این فرمول به ترتیب پارامترهای خروجی، تابع فعال‌ساز، وزن‌ها و ورودی‌ها قابل مشاهده است.

^{۴۳} HSL

^{۴۴} Perceptron

۲- شبکه‌های عصبی پیچیده‌تر: همانند شبکه‌های عصبی ژرف^{۴۵} و شبکه‌های عصبی بازگشتی^{۴۶} می‌توانند در حل مسائل پیچیده‌تر مورد استفاده قرار گیرند. این شبکه‌ها قادر به یادگیری توالی‌ها و الگوهای طولانی مدت هستند و برای تشخیص و پیش‌بینی مسائل مرتبط با حالت‌ها و تغییرات زمانی مناسب هستند.

۳- شبکه‌های عصبی بازگشتی تصادفی: این شبکه‌ها برای مدل‌سازی توالی‌ها و داده‌های دارای وابستگی زمانی استفاده می‌شوند. آن‌ها قادر به یادگیری و تشخیص الگوهای زمانی هستند و در کنترل حرکت و برنامه‌ریزی حرکت ربات‌ها بسیار مفید هستند.

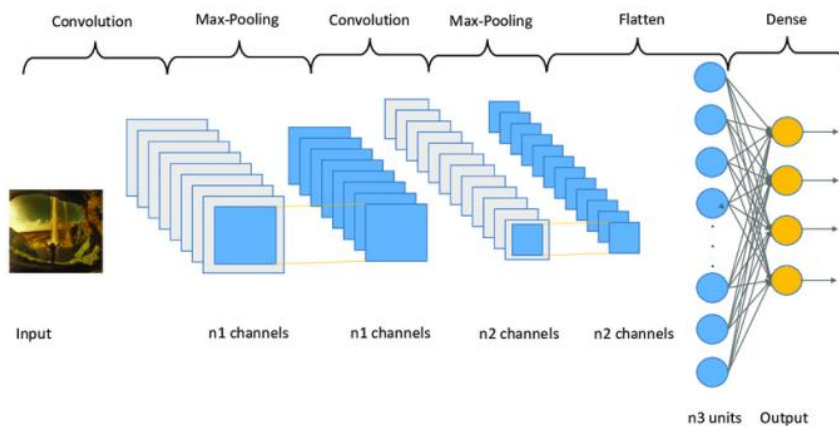


شکل (۲-۳) یک نمونه از شبکه‌های عصبی موجود

۴- شبکه‌های عصبی کانولوشنی: این شبکه‌ها عمدتاً برای پردازش تصاویر و تشخیص الگوها در تصاویر استفاده می‌شوند. آن‌ها از لایه‌های کانولوشنی برای استخراج ویژگی‌های تصویری بهره می‌برند و به عنوان ابزاری قوی در تشخیص و شناخت تصاویر محیط برای ربات‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند که در ربات دست‌پرتاب امدادگر اچ اس ال نیز از اینگونه شبکه‌های عصبی استفاده شده است که در ادامه توضیح بیشتری داده خواهد شد.

^{۴۵} DNN (Deep Neural Network)

^{۴۶} RNN (Recurrent Neural Network)



شکل (۳-۳) یک نمونه از شبکه عصبی کانولوشنی

در مورد شبکه‌های عصبی کانولوشنی می‌توان گفت که یک نوع از شبکه‌های عصبی هستند که برای پردازش داده‌های تصویری و داده‌های دو بعدی بسیار مورد استفاده قرار می‌گیرند. این شبکه‌ها قابلیت تشخیص الگوها و ویژگی‌های مرتبط در داده‌های تصویری را دارا هستند. شبکه‌های عصبی کانولوشنی بر مبنای دو عملکرد اصلی، یعنی عمل کانولوشن و عمل پولینگ^{۴۷} عمل می‌کنند. عمل کانولوشن به شبکه این امکان را می‌دهد تا الگوها و ویژگی‌های مختلف در داده‌های ورودی را شناسایی کنند. به طور خاص، با استفاده از یک یا چند فیلتر کانولوشن، اطلاعات ویژه را از تصویر استخراج می‌کند. در این عمل، فیلتر کانولوشن روی تصویر حرکت کرده و محاسباتی را انجام می‌دهد تا ویژگی‌های مهم را شناسایی کند.

عمل پولینگ برای کاهش ابعاد فضایی و استخراج ویژگی‌های مهم استفاده می‌شود. این عمل با کاهش اندازه تصویر و ادغام ویژگی‌های برجسته، از یک تصویر بزرگتر به یک تصویر کوچکتر با ویژگی‌های مهم تبدیل می‌شود. این کاهش ابعاد کمک می‌کند تا تعداد پارامترها کاهش یابند و محاسبات شبکه سریعتر انجام شود. لذا شبکه‌های عصبی کانولوشنی به صورت سلسله مراتبی از لایه‌ها عمل می‌کنند. لایه ورودی به عنوان تصویر ورودی را دریافت می‌کند. سپس لایه‌های کانولوشنی و پولینگ به ترتیب عمل می‌کنند تا ویژگی‌های مهم استخراج شوند. سپس لایه‌های کاملاً متصل^{۴۸} که شامل نورون‌هایی است که با تمام ویژگی‌ها ارتباط برقرار می‌کنند، برای تصمیم‌گیری و طبقه‌بندی استفاده می‌شوند. این الگوریتم نیز از فرمول زیر پیروی کرده و در صورت پیاده‌سازی درست، می‌تواند در مسائل مختلف مورد استفاده قرار گیرد.

$$y_{ij}^l = \sum_{a=0}^{m-1} * \sum_{b=0}^{m-1} (w_{ab} x_{(i+a)(j+b)}^{l-1} + b) \quad (2-3)$$

^{۴۷} Pooling
^{۴۸} Fully Connected

$$\text{OutputSize} = \frac{n_x + 2P - n_h}{S} + 1 \quad (3-3)$$

که شرح پارامترهای موجود در این فرمول‌ها زیر آمده است.

y_{ij}^l : خروجی کانولوشن در لایه L

w_{ab} : وزن‌های فیلتر کانولوشن

$x_{(i+a)(j+b)}^{l-1}$: ورودی‌های کانولوشن

b : پارامتر بایاس

m : سایز فیلتر کانولوشن

در نتیجه می‌توان از این روابط در الگوریتم‌های مختلفی استفاده کرد که یکی از آن‌ها نیز الگوریتم یولو می‌باشد. این الگوریتم و نسخه‌های تکامل یافته‌تر آن به طور مختصر توضیح داده خواهد شد. بازنمایی شی تعمیم یافته را به طور دقیق نسبت به سایر مدل‌های تشخیص اشیا انجام می‌دهد و مدل کانولوشنی نیز می‌تواند نقاط برجسته را حذف کرده و اشیاء را در هر تصویر شناسایی کند. زمانی که این مدل به درستی پیاده‌سازی شود، می‌تواند به مسائلی همچون تشخیص بد شکلی، ایجاد برنامه‌های آموزشی و غیره بپردازد (آسمارا و همکاران، ۲۰۲۰)^{۴۹}. بنابراین با قابلیت شناسایی الگوها و ویژگی‌های مرتبط در داده‌های تصویری، در حوزه بینایی ماشین، تشخیص الگو، تشخیص وسایل نقلیه خودکار، تشخیص چهره، تشخیص اشیاء و تصویربرداری پزشکی مورد استفاده قرار می‌گیرند.

این فقط چند مثال از انواع شبکه‌های عصبی و الگوریتمی است که می‌توان در بهبود عملکرد ربات‌ها استفاده شود. همچنین، ترکیب مختلف این شبکه‌ها و استفاده از شبکه‌های عصبی پیشرفته‌تر نیز در بهبود عملکرد ربات‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند. البته، لازم به ذکر است که انتخاب نوع شبکه عصبی مناسب، بستگی به وظایف و نیازهای خاص ربات دارد.

۳-۲- سیستم‌های نهفته:

سیستم‌های تعبیه شده یا توسعه یافته به عنوان یکی از ارکان اصلی در طراحی و توسعه دستگاه‌ها و تجهیزات مدرن شناخته می‌شوند. این سیستم‌ها ترکیبی از سخت‌افزار و نرم‌افزار هستند که برای انجام وظایف خاص و مشخص طراحی می‌شوند و در بسیاری از کاربردهای صنعتی، پزشکی، خودرویی و نظامی نقش کلیدی دارند. در ربات‌های امدادگر، این سیستم‌ها برای کنترل دقیق و مدیریت عملیات‌های

^{۴۹} Asmara R, et al.

مختلف ربات استفاده می‌شوند. بر خلاف 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^{۵۰} هستند که به عنوان مغز متفکر این سیستم‌ها عمل می‌کنند. به طور مثال، میکروکنترلرهای سری اس تی ام ۳۲^{۵۱}، به دلیل قابلیت‌های گسترده و انعطاف‌پذیری بالا، در بسیاری از پروژه‌های رباتیک و امبدد^{۵۲} استفاده می‌شوند. این میکروکنترلرها با توجه به معماری که دارند، 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. اس تی ام ۳۲ در حوزه‌های مختلفی از جمله پردازش سیگنال دیجیتال^{۵۳}، کنترل موتور، مدیریت باتری و ارتباطات بی‌سیم استفاده می‌شود. یکی از ویژگی‌های برجسته این میکروکنترلرها، توانایی اجرای سیستم عامل‌های بلادرنگ مانند فری آرتاس^{۵۴} است که امکان مدیریت همزمان وظایف مختلف را با دقت و کارایی بالا فراهم می‌سازد (ناکانو و همکاران، ۲۰۲۱)^{۵۵}.

فری آرتاس یک سیستم عامل بلادرنگ سبک و انعطاف‌پذیر 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 دیگر وظایف اجرا شود. همچنین به دلیل پشتیبانی از چندین میکروکنترلر مختلف از جمله اس تی ام ۳۲، محبوبیت زیادی پیدا کرده است. لذا با ارائه امکاناتی همچون مدیریت وظایف^{۵۶}، هماهنگ‌سازی^{۵۷}، صف‌های پیام، و تایمرها^{۵۸} به توسعه دهندگان کمک می‌کند تا برنامه‌هایی قابل اعتماد و با کارایی بالا ایجاد کنند.

^{۵۰} Microcontroller

^{۵۱} STM32

^{۵۲} Embedded

^{۵۳} DSP (Digital Signal Processing)

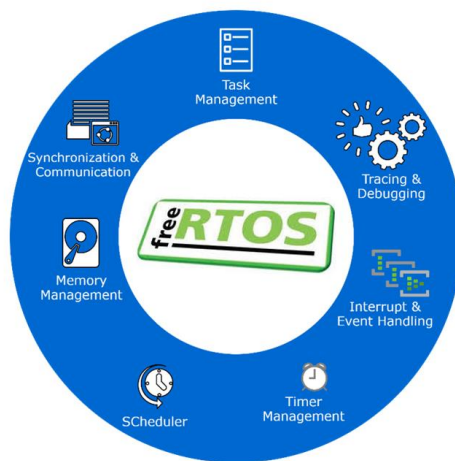
^{۵۴} FreeRTOS

^{۵۵} Nakano W, et al.

^{۵۶} Task Management

^{۵۷} Synchronization

^{۵۸} Timer



شکل (۳-۴) ساختار کلی سیستم عامل بلادرنگ

در ربات‌های امدادگر، سیستم‌های تعبیه شده نقش محوری در کنترل و مدیریت عملیات‌های مختلف ایفا می‌کنند. این سیستم‌ها به ربات‌ها اجازه می‌دهند تا در محیط‌های پیچیده و غیرقابل پیش‌بینی به طور مؤثر عمل کنند. به عنوان مثال، از طریق میکروکنترلرهای اس تی ام ۳۲، ربات‌ها می‌توانند داده‌های دریافتی از سنسورها را پردازش کنند، تصمیمات بلادرنگ بگیرند و به شرایط محیطی پاسخ دهند. علاوه بر این، استفاده از فری آرتاس در این ربات‌ها امکان مدیریت بهتر منابع سیستم و اجرای همزمان چندین وظیفه مانند کنترل حرکت، و ارتباط با مرکز کنترل را فراهم می‌سازد. این قابلیت‌ها باعث می‌شود که ربات‌های امدادگر بتوانند به طور مؤثر و کارآمد در عملیات نجات و جستجو شرکت کنند و در شرایط بحرانی عملکرد بهتری داشته باشند. در نهایت، سیستم‌های تعبیه شده به عنوان یک جزء حیاتی در ربات‌های امدادگر، به توسعه دهندگان این امکان را می‌دهند که ربات‌هایی با کارایی بالا، مصرف انرژی بهینه و قابلیت‌های پیشرفته طراحی و تولید کنند. انتخاب صحیح سخت‌افزار و نرم‌افزار برای این سیستم‌ها می‌تواند تفاوت بزرگی در موفقیت یا ناکامی یک پروژه رباتیک ایجاد کند (زونو و همکاران، ۲۰۲۴)^{۵۹}.

۳-۳- سخت‌افزار و نرم‌افزار مورد نیاز جهت ساخت ربات امدادگر دست‌پرتاب:

با توجه به مطالب گفته شده، نیاز است تا قطعات سخت‌افزاری تهیه شوند که بتوانند سیستم کلی ربات اچ اس ال را به درستی معرفی کنند. در طراحی این ربات امدادگر دست‌پرتاب، به سخت‌افزارهایی با قابلیت‌های خاص برای تأمین توان پردازشی و حرکتی ربات نیاز است. این بخش به بررسی اجزای سخت‌افزاری ضروری و ویژگی‌های مهم آن‌ها می‌پردازد.

^{۵۹} Zuinev A, et al.



شکل (۳-۵) نمونه اولیه طراحی شده از بدنه ربات دست پرتاب امدادگر

انتخاب محرک و یا موتور مناسب یکی از بخش‌های کلیدی در طراحی ربات‌ها است. بنابراین برای انتخاب آن، مولفه‌هایی نظیر حداکثر سرعت با توجه به گشتاور در نظر گرفته می‌شود که از رابطه زیر پیروی خواهد کرد.

$$\omega_{\max} = \frac{V_{\max} - I_{NoLoad} * R}{e_k} \quad (۳-۴)$$

با استفاده از فرمول فوق، در این مرحله مطابق با پارامترهایی همچون حداکثر سرعت زاویه‌ای، ولتاژ تغذیه، جریان در حالت بی باری و غیره به نظر می‌رسد سروو موتورهای داینامیکسل^{۶۰} که توسط شرکت رباتیس^{۶۱} ساخته شده‌اند به دلیل بالا بودن گشتاور آن‌ها گزینه مناسبی هستند.

۱-۳-۳- سینماتیک ربات:

از سویی دیگر سینماتیک یک ربات دو چرخ، یک موضوع پیچیده و جذاب در زمینه رباتیک است. این نوع ربات‌ها دارای قیود 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^{۶۲} برای نشان دادن زاویه چرخش ربات حول محور عمودی. معادلات سینماتیکی پایه برای این نوع ربات‌ها به صورت زیر بیان می‌شوند:

$$\begin{aligned} x &= v \cos \theta \\ y &= v \sin \theta \\ \theta &= \omega \end{aligned} \quad (۳-۵)$$

^{۶۰} Dynamixel
^{۶۱} Robotis
^{۶۲} x, y, Theta

v : سرعت خطی ربات

w : سرعت زاویه‌ای ربات

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

$$x = \cos \theta (L_w + R_w) \frac{r}{2} \quad (6-3)$$

$$y = \sin \theta (L_w + R_w) \frac{r}{2} \quad (7-3)$$

$$\theta = (L_w - R_w) \frac{r}{2d} \quad (8-3)$$

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

$$R = \frac{2d(V_R + V_L)}{V_R - V_L} \quad (9-3)$$

$$\theta(t) = \theta_0 + \int_0^t \omega(\tau) d\tau \quad (10-3)$$

$$x(t) = x_0 + \int_0^t v(\tau) \cos(\theta(\tau)) d\tau \quad (11-3)$$

$$y(t) = y_0 + \int_0^t v(\tau) \sin(\theta(\tau)) d\tau \quad (12-3)$$

در معادلات فوق:

r : شعاع چرخ‌ها

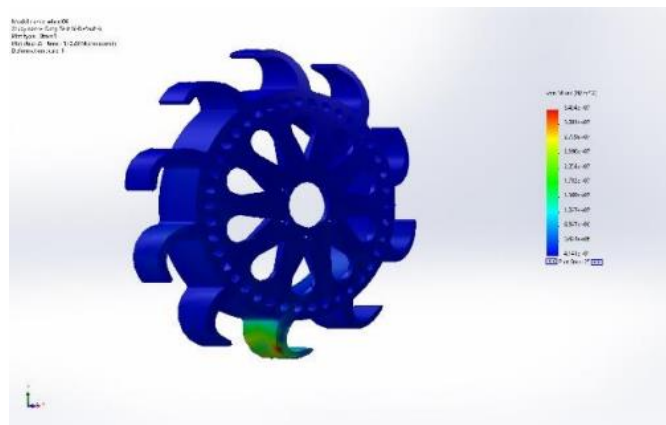
d : فاصله بین دو چرخ ربات

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 نرم افزارهایی همچون انسیس^{۶۳} مورد تحلیل‌هایی همچون تحلیل تنش قرار گرفته است.



شکل (۳-۶) نمونه طراحی شده از چرخ ربات دست پرتاب امدادگر

۲-۳-۳- بدنه و اجزای تشکیل دهنده ربات:

در راستای تکمیل این پروژه، 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^{۶۴} 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 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.

در نهایت، لازم است تا یک واحد کنترل مرکزی برای این ربات در نظر گرفته شود که تمامی پردازش‌های مورد نیاز بر روی آن انجام گیرد. کامپیوترهای کوچک رزبری پای، با توجه به قابلیت‌های سخت‌افزاری خود، می‌توانند عملکرد بسیار مطلوبی را ارائه دهند. در این پژوهش، 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 به واحد کنترل مرکزی منتقل کند. برای اجرای وظایف همزمان و مدیریت سنسورها و موتورها،

^{۶۴} Damping

از سیستم عامل فری آرتاس استفاده شده است. این سیستم عامل به ربات این امکان را می‌دهد تا وظایفی همانند خواندن داده‌های سنسورها، کنترل حرکت، و برقراری ارتباط با رزبری پای را به صورت مؤثر مدیریت کند. فری آرتاس با قابلیت ایجاد وظایف مختلف و تخصیص اولویت‌های متفاوت به هر وظیفه، امکان می‌دهد تا داده‌های حسگرها به صورت بلادرنگ خوانده شوند و موتورهای ربات با دقت کنترل شوند. برای اطمینان از کارایی و سازگاری تمامی قطعات، مشخصات فنی هر یک از اجزا در جدول زیر آورده شده است. این مشخصات شامل اطلاعات دقیقی درباره دوربین، ماژول وای فای، و سایر قطعات سخت‌افزاری مورد استفاده در این پروژه می‌باشد. این ترکیب از اجزا و قابلیت‌ها، نه تنها امکان پردازش و تبادل داده‌های حیاتی را فراهم می‌آورد، بلکه به ربات اجازه می‌دهد تا به طور مستقل و کارآمد به وظایف خود عمل کند. مشخصات فنی تمامی قطعات در نظر گرفته شده نیز در جدول زیر قابل مشاهده است.

جدول (۳-۱) مشخصات فنی قطعات انتخاب شده جهت ساخت ربات دست‌پرتاب امدادگر

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

۳-۳-۳- نرم‌افزار ربات:

همانگونه که در بخش‌های قبلی اشاره شد، در این پژوهش از شبکه عصبی کانولوشنی و الگوریتم یولو برای تشخیص موانع در مسیر ربات استفاده شده است. این روش به دلیل قابلیت بالای خود در استخراج ویژگی‌ها از تصاویر، به طور گسترده در کاربردهای مرتبط با پردازش تصویر، از جمله تشخیص موانع، مورد استفاده قرار می‌گیرند. در این روش، دوربین موجود بر روی ربات تصاویر محیطی را دریافت کرده و به شبکه عصبی ارسال می‌کند. این شبکه با تحلیل تصاویر، قادر است موانع را شناسایی کرده و به ربات فرمان‌های لازم برای جلوگیری از برخورد را ارسال کند (هان و همکاران، ۲۰۲۱)^{۶۵}.

^{۶۵} Han X, et al.

مدل کانولوشنی استفاده شده در این پروژه به گونه‌ای آموزش داده شده که بتواند اشیاء و موانع مختلف را با دقت بالایی تشخیص دهد. داده‌های آموزشی شامل تصاویری از محیط‌های مختلف با موانع گوناگون بوده است تا شبکه بتواند در شرایط واقعی عملکرد مطلوبی داشته باشد. به صورت کلی این مدل و این الگوریتم از معادلات زیر پیروی می‌کند.

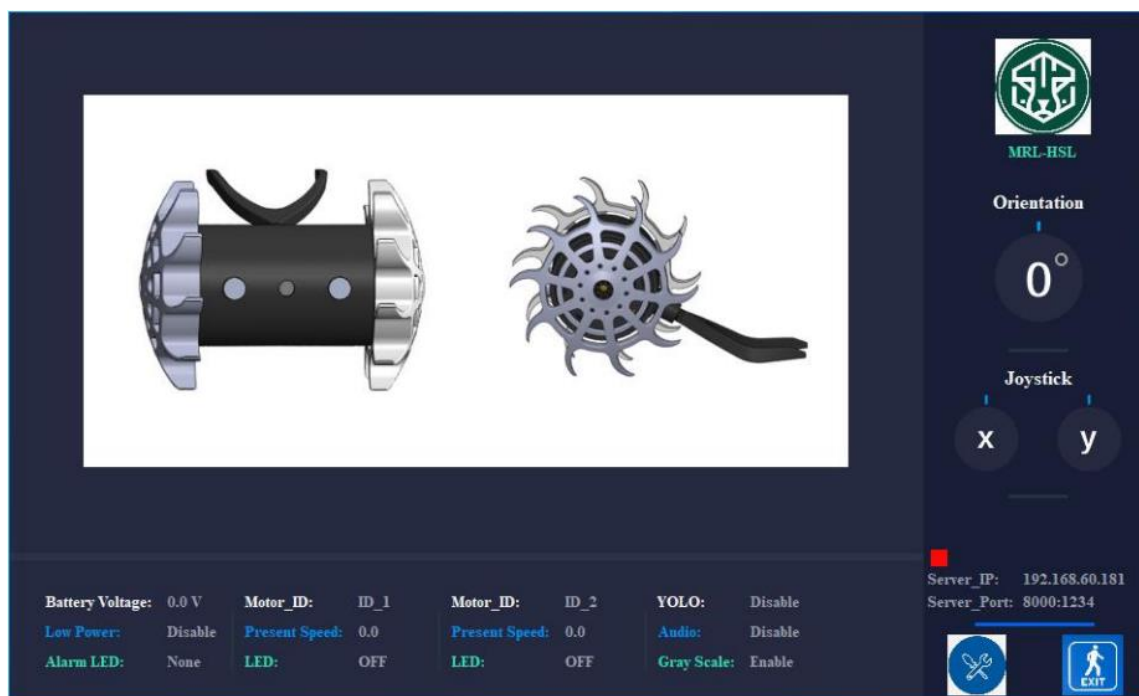
$$L_{\text{coord}} = \gamma_{\text{coord}} \sum_{i=0}^{S^2} \sum_{j=0}^B 1_{ij}^{\text{obj}} [(x_i - \hat{x}_i)^2 + (y_i - \hat{y}_i)^2] + \quad (13-3)$$

$$\gamma_{\text{coord}} \sum_{i=0}^{S^2} \sum_{j=0}^B 1_{ij}^{\text{obj}} \left[(\sqrt{w_i} - \sqrt{\hat{w}_i})^2 + (\sqrt{h_i} - \sqrt{\hat{h}_i})^2 \right]$$

$$L_{\text{conf}} = \sum_{i=0}^{S^2} \sum_{j=0}^B 1_{ij}^{\text{obj}} (C_i - \hat{C}_i)^2 + \gamma_{\text{noobj}} \sum_{i=0}^{S^2} \sum_{j=0}^B 1_{ij}^{\text{noobj}} (C_i - \hat{C}_i)^2 \quad (14-3)$$

$$L_{\text{class}} = \sum_{i=0}^{S^2} 1_i^{\text{obj}} \sum_{C \in \text{classes}} (P_i(C) - \hat{P}_i(C))^2 \quad (15-3)$$

در نتیجه پس از تحلیل تصاویر، در نرم‌افزار طراحی شده توسط زبان سی شارپ نمایش داده می‌شود. لازم به ذکر است که این مدل به عنوان یک ویژگی به کاربر ارائه می‌شود و قابلیت فعال و یا غیرفعال سازی آن را دارد.



شکل (۷-۳) نمایی از برنامه نوشته شده که در اختیار کاربر قرار می‌گیرد

در ادامه بخش‌های مختلفی از برنامه نوشته شده قابل مشاهده است.

```
using System;
```

```

using System.Windows.Forms;
using ThrowBot_GUI.Controller;
using System.Threading;

namespace ThrowBot_GUI
{
    public partial class MainForm : Form
    {
        private readonly CancellationTokenSource cancellationTokenSource;

        private string serverIP;
        private readonly int cameraPort = 8000;
        private readonly int messagePort = 1234;
        private readonly ServerConfig server_Configs;

        private readonly JoystickConfig joystick_Configs;

        private readonly CameraConfig camera_Configs;

        public MainForm()
        {
            InitializeComponent();

            cancellationTokenSource = new CancellationTokenSource();

            server_Configs = new ServerConfig(messagePort, cameraPort, ServerIP_label,
            ServerPort_label, ServerStatus_panel, cancellationTokenSource);
            serverIP = server_Configs.DisplayServerIP_Port();
            server_Configs.Start();

            joystick_Configs = new JoystickConfig(cancellationTokenSource, SendMessage,
            PresentSpeed1_label, PresentSpeed2_label, GrayEn_label, LED1_label, LED2_label,
            LowPower_label);
            joystick_Configs.Initialize();

            camera_Configs = new CameraConfig(Main_pictureBox, cameraPort, serverIP,
            cancellationTokenSource);
            camera_Configs.Start();
        }

        private void Exit_pictureBox_Click(object sender, EventArgs e)
        {
            this.Close();
        }

        private void Config_pictureBox_Click(object sender, EventArgs e)
        {
            ConfigForm configForm = new ConfigForm();
            configForm.ShowDialog(this);
        }

        public string SendMessage(string message)
        {
            return server_Configs.SendMessage(message);
        }
    }
}

```

همانطور که در برنامه فوق مشاهده می‌کنید، این نرم‌افزار از چندین کلاس تشکیل شده است و برنامه آن‌ها نیز بر اساس مولتی ترد (چند ریسمان)^{۶۶} نوشته شده است که قابلیت اجرای همزمان تمامی کلاس‌ها را

^{۶۶} Multi-Thread

داراست. این ویژگی از وقفه‌های به وجود آمده از طریق دریافت و ارسال اطلاعات جلوگیری می‌کند و سرعت عملکرد کاربر نسبت به واکنش‌های احتمالی بهبود بخشیده و ربات نیز در کمترین زمان ممکن به آن واکنش‌ها عمل خواهد کرد.

بخش دیگر نرم‌افزار مربوط به میکروکنترلر استفاده شده جهت ارسال فرامین به محرک‌ها و یا دریافت اطلاعات حسگرها است که در زیر بخشی از برنامه نوشته شده قابل مشاهده است. همچنین با توجه به اینکه برنامه و تمامی مستندات مربوط به این ربات به صورت متن باز قرار گرفته است، لذا با مراجعه به سایت گیت‌هاب^{۶۷} تمامی اطلاعات را در اختیار خواهید داشت.

```
void setup()
{
    Serial2.begin(57600);
    Dxl.begin(3);
    pinMode(LED_PIN, OUTPUT);
    pinMode(PWR_PIN, OUTPUT);

    Queue_1 = xQueueCreate(msg_queue_length, lengthOfRecData);

    xTaskCreate(startTask1, (signed char *)"RECORD_TASK", configMINIMAL_STACK_SIZE, NULL, 1,
    &recordTask_Handle);
    xTaskCreate(startTask2, (signed char *)"DXL_TASK", configMINIMAL_STACK_SIZE, NULL, 1,
    &echoTask_Handle);
    vTaskStartScheduler();
}

void loop()
{}

void startTask1(void* parameters)
{
    char recData[lengthOfRecData] = {0};
    uint8_t counterOfRecData = 0;

    while (1)
    {
        if (Serial2.available())
        {
            recData[counterOfRecData++] = Serial2.read();

            if (counterOfRecData >= (recData[3] + 4))
            {
                if(recData[4] == Write_Instruction)
                {
                    if (xQueueSend(Queue_1, (void*)recData, 0) != pdTRUE)
                    {
                        Serial2.println("Queue Full!");
                    }
                    memset(recData, 0, lengthOfRecData);
                    counterOfRecData = 0;
                }
            }
        }
        vTaskDelay(1); // Yield to allow other tasks to execute
    }
}
```

^{۶۷} <https://github.com/SaeedBazargan/Throw-HSL/tree/main>


```

void startTask2(void* parameters)
{
    char recData[lengthOfRecData] = {0};

    while (1)
    {
        if (xQueueReceive(Queue_1, (void*)recData, portMAX_DELAY) == pdTRUE)
        {
            if(recData[5] == 0x19)
            {
                if(recData[6] == 0x01)
                    digitalWrite(LED_PIN, HIGH);
                else
                    digitalWrite(LED_PIN, LOW);
            }
            else if(recData[5] == 0x18)
            {
                if(recData[6] == 0x01)
                    digitalWrite(PWR_PIN, HIGH);
                else
                    digitalWrite(PWR_PIN, LOW);
            }
            else
                Dx1.writeWord(recData[2], recData[5], ((recData[6] << 8) | recData[7]));

            memset(recData, 0, lengthOfRecData);
        }
        vTaskDelay(1); // Yield to allow other tasks to execute
    }
}

```

فصل ۴: نتایج، دستاوردها و پیشنهادات

۴-۱- نتیجه گیری:

روش های متعددی برای طراحی و پیاده سازی ربات های امدادگر، به ویژه ربات های دست پرتاب امداد و نجات وجود دارد. اگرچه برخی ربات های توانمند و بزرگ تر نیز در دسترس هستند، اما برای کارهای تخصصی مناسب تر بوده و معمولاً هزینه های 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 محیط های چالش برانگیز با فضا های محدود می شود. در مقابل، ربات های کوچک و متوسطی که بررسی شد، به طور بالقوه می توانند نیازهای امداد و نجات را برآورده کنند. با این حال، هزینه هر یک از این ربات ها معمولاً به چند هزار دلار می رسد که این امر استفاده گسترده از آنها در سناریوهای نجات واقعی را محدود می کند. برای غلبه بر این چالش ها، تلاش های زیادی در جهت هوشمندسازی صورت گرفته است. هوشمندسازی ربات های امدادگر شامل تجهیز آنها به حسگرهای پیشرفته، سیستم های پردازش داده، و الگوریتم های هوش مصنوعی است. این فناوری ها به ربات ها این امکان را می دهند تا به طور خودکار مسیرهای پیچیده را شناسایی کرده و با موانع مختلف سازگار شوند. علاوه بر این، توانایی پردازش داده های محیطی در لحظه، به ربات ها اجازه می دهد تا تصمیم گیری های بهتری در شرایط اضطراری داشته باشند. یکی از جنبه های کلیدی هوشمندسازی، استفاده از فناوری های ارتباطی پیشرفته است. با تجهیز ربات ها به ماژول های ارتباطی بی سیم همانند وای فای و غیره، امکان تبادل سریع اطلاعات بین ربات و تیم نجات فراهم می گردد. این ارتباطات نه تنها به بهبود هماهنگی و کارایی عملیات نجات کمک می کند، بلکه امکان کنترل از راه دور و دریافت بازخورد لحظه ای از وضعیت محیط را نیز فراهم می سازد. در نهایت، با توجه به اهمیت استحکام و انعطاف پذیری بدنه ربات ها، طراحی و مواد استفاده شده در ساخت بدنه نیز باید به گونه ای باشد که بتواند در برابر ضربه ها و شرایط سخت محیطی مقاومت داشته باشد. استفاده از مواد مقاوم و سبک، همراه با طراحی های نوآورانه، به افزایش کارایی و طول عمر ربات ها کمک می کند.

۴-۲- دستاوردهای حاصل شده توسط این ربات:

طراحی و توسعه ربات امدادگر دوچرخ دست پرتاب، دستاوردهای علمی و فنی متعددی به همراه داشته است که می توان آنها را در حوزه های مختلفی بررسی کرد. یکی از مهمترین دستاوردهای این پروژه، کسب مقام اول در مسابقات ملی ربات های دست پرتاب است که نشان دهنده برتری عملکرد و کارایی این ربات نسبت به سایر نمونه های مشابه در کشور می باشد. این موفقیت به دلیل طراحی بهینه، استفاده از الگوریتم های هوشمند و پیاده سازی فناوری های 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 موفقی 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 ربات:

یکی از راهکارهای بهینه‌سازی و ارتقای ربات‌ها و به خصوص ربات‌های امدادگر دوچرخ دست‌پرتاب، استفاده از سیستم عامل رباتیک و یا راس^{۶۸} به جای سایر سیستم‌های کنترلی سنتی است. این سیستم عامل یک پلتفرم متن باز و قدرتمند برای توسعه نرم‌افزاری ربات‌ها است که امکان مدیریت و هماهنگ‌سازی بهتر بین اجزای مختلف ربات را فراهم می‌سازد. با استفاده از راس باعث می‌شود که پردازش داده‌های حسگرها، کنترل حرکت، و ارتباطات بی‌سیم بهینه‌تر و ساختار یافته‌تر انجام شود.

علاوه بر این، با توجه به اینکه از میکروکنترلر اس تی ام ۳۲ در این پروژه استفاده شده است، پیشنهاد می‌شود تا از میکروراس^{۶۹} که نسخه سبکتر راس برای سیستم‌های نهفته است، بهره گرفته شود. میکروراس

^{۶۸} Robot Operating System (ROS)
^{۶۹} Micro-ROS

این امکان را فراهم می‌سازد تا پردازش‌های ضروری مانند خواندن داده‌های سنسورها، کنترل بلادرنگ موتورها، و ارتباط با واحد پردازشی اصلی مانند رزبری پای به شکل بهینه‌تری مدیریت شوند.

در حال حاضر، روند ارتقای این 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^{۷۰}، سیستم بهینه‌تر و کارآمدتری ایجاد شود. استفاده از راس همچنین امکان پیاده‌سازی قابلیت‌هایی نظیر ناوبری خودکار، پردازش داده‌های سنسوری پیچیده‌تر، و ارتباطات پایدارتر را فراهم خواهد کرد. از این رو، پیشنهاد می‌شود که در به‌روزرسانی‌های آینده، این رویکرد به صورت گسترده‌تری مورد استفاده قرار گیرد تا عملکرد ربات در محیط‌های عملیاتی به حداکثر برسد.

^{۷۰} Gazebo

1. 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>
2. Allen, P. (2013). CS W4733 NOTES-Differential Drive Robots. *Columbia University: Department of Computer Science*. Evido váno, 9, 16.
3. Asmara, R. A., Syahputro, B., Supriyanto, D., & Handayani, A. N. (2020). Prediction of traffic density using yolo object detection and implemented in raspberry pi 3b + and intel ncs 2. *4th International Conference on Vocational Education and Training, ICOVET 2020*, 391–395. <https://doi.org/10.1109/ICOVET50258.2020.9230145>
4. Booysen, 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
5. Coman, D., & Ionescu, A. (2014). Mobile Robot Trajectory Analysis Using Computational Methods. *Advanced Materials Research*, 837, 549–554.
6. Goswami, A., & Vadakkepat, P. (2018). *Humanoid robotics: a reference*. Springer Publishing Company, Incorporated.
7. Gutierrez, A., & Barber, R. (2005, فوریه). *Mobile robots history*.
8. Han, X., Chang, J., & Wang, K. (2021). Real-time object detection based on YOLO-v2 for tiny vehicle object. *Procedia Computer Science*, 183, 61–72. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2021.02.031>
9. Mathew, T. J., Knox, G., Fong, W. K., Booysen, 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
10. 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>
11. 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>

12. 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.
13. 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>
14. 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
15. 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 Developing versatile and cost-effective rescue robots is crucial for improving safety and efficiency in hazardous environments where human access is restricted. In response to this demand, we have designed a compact and affordable mobile robot platform, equipped with diverse sensors for easy transport and rapid deployment. This platform supports rescue missions, research, and educational applications, providing semi-autonomous assistance through advanced object detection capabilities. A notable feature of this design is the ability to stream the camera feed from the robot to an external laptop, where object detection is performed using the YOLOdotnet framework integrated with a custom GUI. This approach enhances processing speed and conserves battery life by offloading computationally intensive tasks. With a focus on functionality, accessibility, cost-effectiveness, and open-source design, the platform includes a comprehensive SDK. The electronic system is centered around a 32-bit ARM microcontroller operating FreeRTOS with task scheduling, while a Raspberry Pi Zero 2W board is responsible for wireless communication and environmental sound detection. This paper also explores the ongoing integration of artificial intelligence, currently under development by the MRL Mechatronics Research Lab, enhancing the robot's capabilities.

Keywords: Rescue Robots, Mobile Robot Platform, Human-Robot Interaction, YOLODotNet, 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