The Design of a Rugged, Low-Cost, Man-Packable Urban Search and Rescue Robotic System

**چکیده:**

الزامات سیستم های رباتیک برای جستجو و امداد و نجات با توجه به اتفاقات متفاوت است و تعدادی سیستم برای رفع این نیازها توسعه یافته است و با این حال مشخص شده است که نیاز به یک ربات امدادگر با اهداف کلی وجود دارد. روباتی که کوچک، مجهز به حسگر های متنوع و به راحتی قابل حمل باشد. این مقاله طراحی یک سیستم رباتیک امداد و نجات کوچک و کم هزینه و قابل بسته بندی توسط انسان را نشان می دهد که برای رفع این نیاز طراحی شده است. این مقاله الزامات و پیاده سازی سیستمی را که در حال حاضر توسط آزمایشگاه تحقیقاتی رباتیک و عوامل در دانشگاه کیپ تاون در حال توسعه است، مورد بحث قرار می دهد.

**مقدمه:**

ربات های امدادگر به دلیل توانمندی در امداد و نجات به درون آوار یا مناطق دارای مواد خطرناک برای اینگونه عملیات در حوادث، جذابیت زیادی دارند. همچنین، از آنجا که استفاده از آن ها به نسبت سگ ها یا کارگران انسانی، قابلیت جایگزینی بیشتری دارد، به خصوص برای شناسایی اولیه مناطق خطرناک بسیار ایده آل هستند. اولین مورد مستند از استفاده از سیستم های رباتیک در عملیات نجات، پس از حمله تروریستی سال ۲۰۰۱ به مرکز تجارت جهانی بود. اگرچه در این عملیات نجات، بازمانده ای پیدا نشد، اما فرصتی برای نشان دادن قابلیت های سیستم های رباتیک در عملیات جستجو و نجات شهری (USAR) فراهم شد. تجربه های حاصل از این عملیات و عملیات های نجات دیگری که با کمک ربات ها انجام شدند، برخی از چالش ها و کاستی های سیستم های موجود را برجسته کردند.

چالش اصلی در عملیات های جستجو و نجات شهری، ماهیت چالش برانگیز و بسیار متغیر محیط های فاجعه است. اگرچه در گذشته راه حل های متعددی برای این مسئله پیشنهاد و توسعه داده شده است، اما هیچ کدام از این راه حل ها به اندازه کافی ارزان و قابل اعتماد نبوده اند تا در تمام حوزه های عملیات جستجو و نجات نفوذ کنند. در این مقاله، بررسی حوادثی که در آن ها از ربات های نجات استفاده شده، صورت گرفته است. این بررسی چالش هایی را که امدادگران در همکاری با ربات ها مواجه شده اند را نشان می دهد و به ویژه نگرانی هایی درباره سیستم های پیچیده و بزرگ موجود مطرح می کند. پس از این بررسی، سیستم های رباتیک موجود در بازار، مانند Recon Scout و IRobot FirstLook نیز مورد بررسی قرار گرفتند که در حالی که ربات ها می توانند نیازهایی از قبیل قابل حمل و پرتاب شونده را برآورده کنند، اما از نظر هزینه راه حل های کم هزینه ای نیستند. این تحقیق نشان داد که نیاز به یک ربات نجات عمومی کوچک و مقرون به صرفه برای پاسخ های اولیه وجود دارد.

در نتیجه برای پاسخ به این نیاز، یک پلتفرم رباتیک مقاوم، کم هزینه و قابل حمل در حال توسعه است که می تواند به عنوان ابزار اصلی تحقیقاتی در هر سناریوی فاجعه ای مورد استفاده قرار گیرد. این طراحی بر اساس توصیه jacoff است که کل سیستم رباتیک و ابزار مورد نیاز می توانند توسط یک اپراتور حمل شوند. این ربات می تواند با پرتاب یا رها کردن تا ارتفاع ۳ متر مستقر شود و به اندازه ای ارزان است که می توان آن را به عنوان یک ربات یک بار مصرف یا قابل جایگزینی در نظر گرفت.

براساس تحقیقات فعلی، هزینه ی این ربات به ۵۰۰ دلار آمریکا می رسد. این قیمت به حدی پایین است که می تواند به یک یا چند ربات در هر تیم نجات و اداره آتش نشانی اجازه دهد و این ربات ها بدون نگرانی قابل توجهی از بابت گم شدن، مورد استفاده قرار گیرند. این امر تضمین می کند که عملیات نجات می تواند بدون نیاز به انتظار برای رسیدن ربات های پیچیده تر و تخصصی تر آغاز شود.

**مروری بر سیستم و استراتژی پیاده سازی شده:**

سیستمی که در این مقاله توصیف شده، با هدف برآورده کردن نیازهای یک سیستم رباتیک امدادگر قابل حمل و پرتاب شونده شده است. این سیستم شامل دو زیر مجموعه اصلی است.

زیر مجموعه اول، ایستگاه اپراتور قابل پوشش است که شامل یک دستگاه حمل و یک رابط کاربری می باشد. زیر مجموعه دوم، پلتفرم رباتیک است که در شکل ۱ دیده می شود و قابلیت حرکت و پرتاب را دارد و برای کاوش در محیط فاجعه استفاده می شود. تعامل بی سیم بین این دو زیر مجموعه در شکل ۲ نشان داده شده است.

|  |
| --- |
|  |

حمل یک ربات توسط چندین امدادگر در مناطق فاجعه زده بسیار دشوار است. نسبت بهینه بین امدادگران و ربات ها، هم برای حمل و هم برای عملیات، ۱ به ۱ است. این سیستم حمل درنظر گرفته شده به یک جلیقه تاکتیکی متصل شده و یک سیستم قابل حمل با نسبت مطلوب ایجاد می کند. علاوه بر حمل پلتفرم رباتیک، حمل ماژول های ارتباطی و کنترل برای رابط کاربری را در خود جای داده است. سیستم شارژ میدانی با شارژ کردن ربات پس از هر استقرار، دامنه عملیاتی و کارایی آن را افزایش می دهد.

پیاده سازی ربات به گونه ای طراحی شده که تا حد ممکن آسان باشد؛ اپراتور ربات را از جلیقه خارج کرده و آن را به داخل محیط مورد بررسی پرتاب یا رها می کند. دمی که در زاویه بیرونی ربات متصل است، به عنوان دسته ای برای حمل راحت تر و کمک به پرتاب استفاده می شود. هنگام برخورد، چرخ های بزرگ (که در شکل ۱ دیده می شوند) بخش عمده ای از انرژی ضربه را جذب کرده و از قطعات داخلی محافظت می کنند. طراحی پلتفرم امکان نصب انواع حسگرهای تخصصی را فراهم می کند. در اولین نسخه از این ربات، دو نوع حسگر در نظر گرفته شده است: اولین آن شامل حداقل نیازهای سنجشی است که توسط مورفی تعریف شده و به طور کامل با هدف کاهش هزینه ها سازگار است. حسگر دوم پیشرفته تر و گران تر خواهد بود و به عنوان پایه ای برای طراحی های با عملکرد بالا در آینده مورد استفاده قرار می گیرد.

به دلیل خطرات موجود در محیط های نجات، احتمال برگشت ناپذیری ربات امدادگر به سمت اپراتور وجود دارد. برای جلوگیری از ریسک مالی بالا و کاهش استرس اپراتور در صورت از دست دادن ربات، این سیستم به گونه ای طراحی شده که قابل جایگزینی باشد. اما از آنجایی که اپراتور در مکانی نسبتاً ایمن قرار دارد، ایستگاه اپراتور به عنوان بخش قابل جایگزینی در نظر گرفته نشده است. هر ایستگاه اپراتور می تواند با چندین ربات مختلف کار کند، چه در صورت از دست دادن یا آسیب دیدن ربات و چه برای نیاز به استفاده از ربات های مختلف با محموله های حسگر گوناگون و با وجود اینکه ایستگاه اپراتور قابل جایگزینی نیست، کل این سیستم به طور قابل توجهی مقرون به صرفه تر از گزینه های تجاری موجود است. مشخصات این سیستم پیشنهادی در جدول I گردآوری شده است. از آنجا که ایستگاه اپراتور نقطه ی تعامل انسان و ربات است، توضیحات خود را با معرفی این زیر مجموعه آغاز می کنیم.

|  |
| --- |
|  |

**ایستگاه اپراتور:**

* **رابط کاربری و ترکیب داده ها:**

در مراحل اولیه و راه اندازی یک عملیات نجات، ممکن است اپراتورها تا ۴۸ ساعت بدون خواب و در شیفت های ۱۲ ساعته کار کنند. خستگی اپراتور به یک مسئله مهم تبدیل می شود و باید در طراحی ایستگاه اپراتور در نظر گرفته شود. همچنین، اپراتور ممکن است دستکش به دست داشته باشد و رابط کاربری در معرض خطرات و شرایط سخت یک عملیات جستجو و نجات شهری قرار گیرد. این موضوع نیاز به یک رابط کاربری ساده و مقاوم را نشان می دهد. سادگی رابط کاربری اپراتور باید به گونه ای باشد که زمان آموزش را به حداقل برساند؛ زیرا دوره های آموزشی طولانی کارآیی سیستم نجات اولیه را به طور قابل توجهی کاهش می دهد. برای حفظ نسبت ۱ به ۱ انسان و ربات، رابط کاربری باید دستی باشد. با توجه به تمام این موارد، کنترلر مقاوم و دستی که در شکل ۳ نشان داده شده، طراحی شده است.

|  |
| --- |
|  |

مدار کنترلر در یک محفظه HDPE با طراحی ارگونومیک قرار گرفته و شامل یک جوی استیک برای هدایت پایه ای ربات، چهار دکمه برای ارائه عملکردهای کمکی و یک صفحه نمایش LCD ۳.۵ اینچی برای نمایش داده های حسگرها است. داده های حسگری انتخاب شده بر روی تصویر دریافتی از دوربین ربات، برای نمایش در صفحه ی LCD قرار می گیرند. به علاوه، اگر به دلیل عوامل محیطی مانند بازتاب نور یا گرد و غبار، مشاهده صفحه ی LCD امکان پذیر نباشد، ویدیو و داده های حسگر از طریق یک مجموعه عینک FatShark Dominator FPV که همراه سیستم ارائه می شود، قابل مشاهده هستند.

برای کاهش وزن و کاهش خطر آسیب به رابط کاربری دستی، تمام مدارهای پردازش داده داخل بند حمل و نقل قرار داده شده اند. ورودی های کاربر و داده هایی که باید در صفحه ی LCD نمایش داده شوند، از طریق یک اتصال سیمی بین رابط کاربری و بند حمل ونقل، به آن منتقل می شوند؛ جایی که داده ها با استفاده از یک میکروکنترلر ARM Cortex-M4 STM32F407 پردازش می شوند. این اتصال سیمی همچنین مانع از افتادن یا گم شدن کنترلر می شود.

موقعیت جوی استیک به فرمان های حرکتی تبدیل می شود که به پلتفرم رباتیک ارسال می شوند. چهار دکمه روی کنترلر امکان تغییر داده های حسگری نمایش داده شده روی صفحه را فراهم می کنند. این رابط کاربری ساده با ورودی های حداقلی، پیچیدگی دستورات عملیاتی را کاهش داده و زمان آموزش را کمتر می کند. یک تراشه ی نمایشگر Maxim MAX7456 داده های دریافتی از حسگرها را روی صفحه نمایش قرار می دهد و کنترلر با استفاده از ماژول uBlox Neo-7M، موقعیت GPS اپراتور را به او نشان می دهد. علاوه بر این، واحد کنترلر در طول حمل و نقل، سیستم های تأمین برق ایستگاه اپراتور و فرآیند شارژ ربات را نیز پایش می کند.

* **طراحی بند جهت حمل و نقل:**

بند حمل و نقل چندین عملکرد دارد؛ این بند ربات و کنترلر دستی را حمل کرده و مدارهای محاسباتی سیستم ارتباطات و کنترلر را در خود جای می دهد. طراحی ماژولار هر چهار ماژول عملکردی را به بخش های مخصوص به خود تقسیم می کند. این ماژول ها شامل سیستم شارژ درون برد، واحد پردازش اصلی، مدیریت انرژی و انتقال بی سیم هستند. همچنین این سیستم به گونه ای طراحی شده که در برابر آب و هوا مقاوم باشد و در عین حال دسترسی آسان اپراتور به کنترل ها و ثبت داده ها را فراهم کند. موتورهای ربات در شیارهای موجود در بند نگه داشته می شوند که امکان استقرار سریع را فراهم می کند؛ این شیارها در شکل ۴ نشان داده شده است. بند حمل و نقل عمدتاً از HDPE ماشین کاری شده است به دلیل نسبت بالای مقاومت به چگالی آن، که باعث می شود مقاوم و در عین حال سبک باشد. این بند به یک جلیقه تاکتیکی Crossdraw (که در شکل ۵ نشان داده شده) متصل شده است که به اپراتور اجازه می دهد سیستم را بپوشد. موقعیت بالای سیستم به توزیع بیشتر وزن بین تیغه های شانه اپراتور کمک کرده و اجازه می دهد که بار به طور مستقیم روی لگن تقسیم شود.

|  |
| --- |
|  |

**پلتفرم ربات:**

* **طراحی پلتفرم ربات:**

به منظور تسهیل در تولید و کاهش هزینه های مرتبط با پیچیدگی های مکانیکی، بدنه به گونه ای طراحی شده که شاسی ساختاری، برای اتصال اجزای داخلی و یک پوسته خارجی در اجزای یکپارچه ترکیب شده اند. به این ترتیب، عمده طراحی مکانیکی شامل قطعات بالایی، پایینی و جلویی این پوسته است (که در شکل ۶ به صورت یک مجموعه منفجره نشان داده شده است).

پنل جلویی به گونه ای طراحی شده که حسگرها، دوربین ها و سایر قطعات الکترونیکی که می توانند توسط این ربات حمل شوند را پشتیبانی کند و به همین دلیل قابل جداسازی و سفارشی سازی برای نیازهای خاص است. دو هیت سینک آلومینیومی کوچک در پوسته ها قرار داده شده اند تا حرارت تولید شده توسط قطعات الکترونیک داخلی (انتقال دهنده های RF و مدار کنترل موتور) به محیط انتقال یابد. تمام سطوح نصب دارای فضایی برای یک گسکت لاستیکی هستند که کارکردهای داخلی ربات را از آب، گرد و غبار و سایر آلاینده ها محافظت می کند. دو موتور DC با گیربکس های کاهش دهنده به طور مستقیم به چرخ ها متصل هستند. برای جذب هر نیرویی که توسط خود چرخ ها جذب نمی شود، موتورها به طور کامل در فوم پلی اتیلن انبساطی با چگالی بالا محصور شده اند که امکان حرکت کمی در هر جهت را فراهم می کند.

|  |
| --- |
|  |

باتری، ماژول های ارتباطی و کنترلر موتور در قسمت پشتی پلتفرم قرار دارند. به منظور کاهش هزینه ی حسگرهای قابل تعویض و اطمینان از قابلیت های پلتفرم، این ماژول ها به عنوان اجزای ثابت در نظر گرفته شده و برای تمامی پیکربندی ها استفاده می شوند.

|  |
| --- |
|  |

این پلتفرم رباتیک به اندازه کافی به مدار کنترل برای خودکفایی مجهز است. تنها چیزی که نیاز دارد، تأمین برق از باتری و یک جریان داده از دستورات که به فرمت بسته داده تعریف شده است. در عوض، بازخوردی درباره دما و مصرف برق سیستم ارائه می دهد. این امر با استفاده از دو درایور H-bridge Freescale MC33926 و یک میکروکنترلر کم هزینه MSP430 که ارتباطات بین کنترلرها و سایر زیر مجموعه ها را مدیریت می کند، محقق می شود. اگرچه پیش بینی شده که محصول نهایی می تواند از طریق قالب گیری تزریقی به صورت انبوه تولید شود، اولین نمونه از این قطعات با استفاده از فرایند CNC در کارگاه مهندسی مکانیک UCT تولید شده است.

طراحی مکانیکی همچنین شامل یک دم است که سه هدف را ارائه می کند: اولاً، برای فراهم کردن گشتاور واکنشی به بدنه ربات هنگامی که سعی در عبور از موانع دارد؛ ثانیاً، برای کنترل آیرودینامیکی سقوط ربات به گونه ای که به صورت کنترل شده و به حالت رو به پایین، روی هر دو چرخ فرود بیاید؛ و ثالثاً به عنوان یک دسته برای پرتاب ربات به سبک پرتاب چکش که فاصله استقرار آن را افزایش می دهد. پروتوتایپ سازی نشان داده است که حتی یک دم کوچک به شکل پیکان می تواند تأثیر چشمگیری بر روی وضعیت سقوط ربات های کوچک در حالت سقوط آزاد داشته باشد. این دم به گونه ای طراحی شده که با در نظر گرفتن اندازه چرخ ها، ربات را در موقعیتی قرار دهد که میدان دید دوربین اصلی، بهترین دید ممکن از اطرافش را فراهم سازد.

* **چرخ ها و جذب ضربه:**

طراحی چرخ های جذب کننده ضربه، به طور کلی، زمینه ای است که مستندات کمی در مورد آن وجود دارد. بیشتر طراحی های قبلی به منظور جذب انحرافات بسیار کوچک که معمولاً توسط سیستم های تعلیق خودرویی تجربه می شود، ساخته شده اند و بنابراین تنها به صورت حاشیه ای با چالش پیش رو مرتبط هستند. بسیاری از طراحی های دیگر به دلیل ماهیت تجاری یا نظامی خاص خود، در دسترس عموم نیستند. به همین دلیل، این جنبه از طراحی به طور قابل توجهی به روش های آزمایش تجربی متکی است. به منظور استفاده از موادی که هم کم هزینه و هم به راحتی قابل کار بر روی آن ها برای اهداف آزمایش هستند، چرخ ها به صورت سازه های دو بعدی از ورق های فوم پلی اتیلن انبساطی برش لیزری و لمینت شده ساخته شده اند. یک دستگاه آزمایش سقوط موجود به منظور رها کردن وزنی که نمایانگر ربات نهایی است، بازطراحی شده و به یک شتاب سنج پیزو با پهنای باند بالا و شتاب بالای G مجهز شده است. علاوه بر این، یک دوربین با سرعت بالا ویدیوهایی با نرخ ۱۰,۰۰۰ فریم در ثانیه ضبط می کند که تکنیک های پردازش تصویر را قادر می سازد تا داده های شتاب سنج را تأیید کنند. تصاویر حاصل از این آزمایش را می توان در شکل ۸ مشاهده کرد.

|  |
| --- |
|  |

چرخ ها با چگالی و هندسه های متفاوت به بدنه متصل شده و از ارتفاع های مختلف رها شدند تا توانایی های جذب ضربه هر چرخ تعیین شود. سهولت تولید این چرخ ها اجازه می دهد که پروتوتایپ سازی سریع و طراحی تکراری مقرون به صرفه انجام شود، به طوری که هر چرخ با بهبود نتایج به دست آمده از دور قبلی، توسعه یابد. این تحقیق در حال حاضر ادامه دارد؛ شکل ۹ برخی از طراحی های چرخ مورد بررسی را نشان می دهد. در حال حاضر، بهترین چرخ ها شتاب تأثیر را به حدود ۹۰G کاهش می دهند که به خوبی در محدوده هدف ۲۵۰G قرار دارد، اما یک طراحی بهینه تر، برخی از این جذب ضربه را با کاهش انحراف معامله خواهد کرد تا از خطر قعر رفتن سیستم تعلیق جلوگیری شود.

|  |
| --- |
|  |

* **جایگیری حسگرها:**

یکی از نقاط ضعف عمده بسیاری از سیستم های موجود این است که حسگرهای اضافی به صورت خارجی متصل می شوند. این موضوع حجم ربات را افزایش می دهد و گزینه های استقرار آن را کاهش می دهد، زیرا حسگرها دیگر محافظت نمی شوند. به منظور دور زدن این مشکل، سیستم به گونه ای طراحی شده است که بارگذاری حسگرهای قابل تعویض را به صورت داخلی در خود جای دهد. نمونه اولیه نسل اول دارای دو بارگذاری حسگر است؛ یکی از آن ها دارای طراحی بسیار مینیمالیستی است تا هزینه و زمان آموزش اپراتور را کاهش دهد. بارگذاری حسگر دوم دارای قابلیت های بیشتری است که امکان افزودن پردازش داده های سطح بالا و حسگرهای اضافی در آینده را فراهم می کند. حداقل الزامات حسگری برای یک سیستم رباتیک از نوع بازرسی شامل یک دوربین اپتیکال رنگی، نورپردازی، حسگر دمای محیط و یک میکروفن است. این حسگرها به اپراتور این امکان را می دهند که محیط را با استفاده از دید و صدا بررسی کند. علاوه بر این، از آنجا که این ربات می تواند در هر دو حالت کار کند، لازم است که جهت گیری آن مشخص شود تا ویدیو و کنترل موتور به درستی معکوس شود که از یک حسگر IMU استفاده شده است.

یک میکروکنترلر MSP430 از Texas Instruments ارتباط حسگرها و ارتباطات با اپراتور و خود پلتفرم را مدیریت می کند که هم از نظر هزینه و هم از نظر مصرف انرژی کم است، اما در صورت نیاز به حسگرهای بیشتر یا ادغام داده ها، محدودیت هایی در گسترش و قدرت پردازش دارد. بارگذاری حسگر دوم این امکان را فراهم می کند که فرآیندهای سطح بالاتری مانند پردازش تصویر را انجام دهد که به عنوان کار آینده پیشنهاد شده است. این سیستم توسط میکروکنترلر ARM Cortex-M4 STM32F407 کنترل می شود و قابلیت های بارگذاری حسگر حداقلی را با گسترش پذیری افزوده ترکیب می کند. همچنین پورت های اضافی برای انرژی و ارتباطات برای حسگرهای اضافی وجود دارد - به عنوان مثال، دوربین حرارتی FLIR Quark و یک IMU با ۹ درجه آزادی در حال حاضر در حال استفاده هستند.

**انتقال داده:**

به منظور کاهش نیاز به پهنای باند، ارتباطات بین ایستگاه کنترل اپراتور و ربات بر اساس دو فرکانس مختلف تقسیم شده است. دستورات و داده های حسگر با استفاده از CC110L شرکت Texas Instruments که یک فرستنده و گیرنده کم هزینه در باند فرکانسی ۴۳۳ مگاهرتز است، ارسال می شوند، در حالی که ویدیو و صدا با استفاده از یک جفت فرستنده و گیرنده ۱.۳ گیگاهرتزی که در اصل برای پهپادهای سرگرمی طراحی شده است، منتقل می شود. از آنجایی که انتظار می رود در یک محیط جستجوی شهری و نجات (USAR) به دلیل وجود بتن و فولاد که مانع RF هستند، از دست دادن داده های زیادی رخ دهد، چک های CRC بر روی بسته های داده اعمال می شود تا امکان شناسایی بسته های معیوب فراهم شود. این کار منجر به عدم از دست دادن بسته ها در آزمایش های کنونی شده است. دستورات موتوری توسط میکروکنترلر جدا شده و سپس اطلاعات به طور مستقیم از طریق لینک سیمی به کنترلر اختصاصی ربات منتقل می شود.

**مدیریت تغذیه:**

تحقیقات در مورد عملیات های قبلی جستجوی شهری و نجات (USAR) نشان داده است که میانگین زمان عملیات یک ربات قبل از بازگشت به اپراتور ۶.۴۴ دقیقه بوده است. با این حال، در نقطه ای که یک قربانی شناسایی می شود، ربات به عنوان وسیله ارتباطی با قربانی عمل می کند، که به طور میانگین ۴ ساعت برای حفاری زمان نیاز دارد. بنابراین، نیاز است تا هر دو حالت عملیاتی کامل و یا آماده به کار در نظر گرفته شوند که به صورت زیر تعریف می شوند:

**حالت عملیاتی کامل**

* موتورها با ۷۵٪ ظرفیت حداکثر کار می کنند،
* روشنایی LED با ۸۰٪ حداکثر قدرت،
* و تمام سیستم های حسگری و ارتباطی به طور کامل عملیاتی هستند.

**حالت آماده به کار فعال**

* روشنایی LED با ۱۰٪ حداکثر قدرت،
* ارتباط کامل، دوربین نوری و میکروفن در حالت عملیاتی.

|  |
| --- |
|  |

اطلاعات موجود در جدول بالا از آزمایشات پروتوتایپ ما به دست آمده است. با فرض ۴ دقیقه کارکرد کامل قبل از شناسایی یک قربانی و زمان حفاری ۵ ساعته، یک باتری لیتیم پلیمری 4 سل 2200میلی آمپر می تواند انتخاب شود. با این حال، برای تأمین نیازهای آینده حسگرها و ایجاد حاشیه ایمنی، باتری ۳۰۰۰mAh انتخاب شد.

ایستگاه اپراتور نیاز دارد که باتری دار باشد تا امکان استقرار پلتفرم رباتیک از هر نقطه ای در محیط حادثه وجود داشته باشد. همان طور که بارنز پیشنهاد کرده است، شارژ در میدان در سیستم گنجانده شده است. قدرت این شارژ در میدان توسط یک باتری لیتیم-یونی بزرگ ۸۰۰۰mAh موجود در بند حمل و نقل تأمین می شود. باتری ایستگاه کنترل همچنین می تواند در حین ذخیره سازی، با استفاده از یک منبع تغذیه جداگانه شارژ شود. این امکان باعث می شود که هر دو باتری همیشه در زمان لازم برای عملیات کاملاً شارژ شده باشند. با توجه به خطرات مرتبط با باتری های لیتیم، تلاش های قابل توجهی برای محافظت از اپراتور در صورت بروز نقص در باتری انجام شده است. یک برد محافظت باتری در بند حمل و نقل گنجانده شده است که باتری ۸۰۰۰mAh را از سایر سیستم ها جدا می کند که در صورت بروز هرگونه نقص در باتری، مانند ولتاژ بیش از حد، ولتاژ کمتر از حد یا دمای بالا ممکن است ایجاد شود. در این ربات، یک سیستم محافظت باتری دو سطحی پیاده سازی شده است. حفاظت اولیه باتری توسط یک IC سطح شارژ انجام می شود. وقتی یک رویداد ولتاژ یا جریان بیش از حد تشخیص داده می شود، باتری از سیستم با استفاده از دو MOSFET جدا می شود. سیستم می تواند پس از عبور رویداد دوباره تنظیم نرم افزاری شود. اگر حفاظت اولیه باتری شکست بخورد، IC حفاظت ثانویه یک مسیر جریان بالا را باز می کند که محدود به ۶۰ آمپر است و برای قطع اتصال باتری و سیستم به طور دائم از یک فیوز ۱۰ آمپر استفاده می شود. این یک مکانیزم آخرین چاره تخریبی است؛ پس از فعال شدن، هم سیستم محافظت باتری و هم فیوز باید تعویض شوند. باتری ها همچنین از نظر مکانیکی در برابر آسیب یا نفوذ با قرارگیری استراتژیک در داخل بدنه های پلتفرم و ایستگاه کنترل محافظت می شوند.

**نتیجه گیری:**

توسعه ما تا کنون نشان داده است که امکان ساخت یک سیستم رباتیک نجات مناسب با هدف عمومی و پاسخ سریع، در چارچوب محدودیت های مالی برای ارزان نگه داشتن آن وجود دارد. با اینکه برخی زیر مجموعه ها هنوز در حال توسعه هستند، کار انجام شده تا کنون نشان دهنده یک نمونه اثباتی قابل اعتماد است. این پلتفرم به اندازه کافی ساده است که به راحتی قابل تعویض باشد و به اندازه کافی مقاوم است تا از طریق پرتاب به کار گرفته شود. ایستگاه کنترل اپراتور روشی ایمن و آسان برای حمل و نقل، شارژ و کنترل ربات در حین عملیات نجات فراهم می آورد و فقط به یک اپراتور برای هر ربات نیاز دارد. حسگرهای بارگذاری شده ساده اما مؤثر هستند و ظرفیت توسعه در کارهای آینده را دارند.

**کارهای آینده:**

یکپارچه سازی و آزمایش کامل سیستم کنونی هنوز به اتمام نرسیده و بنابراین تمرکز کارهای آینده خواهد بود. آزمایش سیستم در یک محیط واقعی - چه در یک فاجعه واقعی و چه در یک محیط شبیه سازی شده - اطلاعات ارزشمندی را فراهم خواهد کرد. این اطلاعات مراحل آینده توسعه را راهنمایی کرده و نواحی خاصی برای بهبود را برجسته خواهد کرد. به عنوان مثال، شبیه سازی های FEM دقیق می تواند در بهینه سازی هندسه طراحی شده چرخ ها و اجزای پوسته از نظر افزایش استحکام یا کاهش جرم و هزینه ارزشمند باشد. با توجه به توصیه های مرفی و کاسپر، پردازش تصویر در زمان واقعی می تواند پیاده سازی شود تا امکان شناسایی اشیاء مرتبط با قربانیان مانند اعضای بدن، ساعت و عینک فراهم گردد. همچنین اگرچه این ربات در حال حاضر به صورت بی سیم پیکربندی شده است، اما برخی از سناریوهای نجات ممکن است از استفاده از یک کابل بهره مند شوند.