بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه صنعتی اصفهان

دانشکده مهندسی مکانیک

تحلیل دینامیکی و طراحی سیستم کنترل ربات زیر آبی شش پا

پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک

مجتبی غفاری

اساتید راهنما

دکتر مهدی کشمیری

دکتر محمد دانش

۱۳۹۲

دانشگاه صنعتی اصفهان

دانشکده مهندسی مکانیک

پایان نامه کارشناسی ارشد رشته‌ی مهندسی مکانیک آقای مجتبی غفاری تحت عنوان

تحلیل دینامیکی و طراحی سیستم کنترل ربات زیر آبی شش پا

در تاریخ ۱۳۹۲/۵/۱۵ توسط کمیته تخصصی زیر مورد بررسی و تصویب نهایی قرار گرفت.

۱-اساتید راهنمای پایان‌نامه	دکتر مهدی کشمیری
	دکتر محمد دانش
۲-استاد مشاور پایان‌نامه	دکتر محمد جعفر صدیق دامغانی
۳-استاد داور	دکتر مرضیه کمالی
۴-استاد داور	دکتر ایمان ایزدی

تشکر و قدردانی

در آغاز بر خود لازم میدانم از زحمات پدر و مادر گرامی‌ام و کلیه کسانیکه در دوران تحصیل، همواره مشوق و پشتیبان اینجانب بوده‌اند کمال تشکر را بنمایم. همچنین از زحمات اساتید محترم و دانشجویان صمیمی و مهربان دانشگاه صنعتی اصفهان و به خصوص استادان گرامی جناب آقای دکتر مهدی کشمیری، دکتر محمد دانش و همچنین دکتر محمد جعفر صدیق دامغانی که با راهنمایی‌های خود راهگشای اینجانب بوده‌اند کمال تشکر و سپاسگزاری را دارم.

کلیه حقـوق مـادی مترتـب بـر نتـایج مطالعـات، ابتکـاری و نوآوری‌های ناشی از تحقیق موضوع این پایان نامـه (رسـاله) متعلق به دانشگاه صنعتی اصفهان است.

تقدیم به:

پدر و مادر عزیزم،

به پاس تعبیر عظیم و انسانی شان از کلمه ایثار و از خودگذشتگی شان،

به پاس عاطفه سرشار و گرمای امیدبخش وجودشان که در سردترین روزگاران بهترین پشتیبان است،

به پاس قلب های بزرگشان که فریادرس است و سرگردانی و ترس در پناهشان به شجاعت می گراید،

و به پاس محبت های بی دریغشان که هرگز فروکش نمی کند.

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فهرست

مطالب.....هشت

چکیده.....پانزده

فصل اول: مقدمه ۱

۱-۱ مقدمه.....۱

۱-۱-۱ ربات RHex.....۴

۱-۱-۲ ربات AQUA.....۶

۱-۲ تاریخچه کارهای انجام گرفته قبلی.....۷

۱-۳ اهداف این پژوهش.....۹

۱-۴ روند تدوین پایان نامه.....۱۰

فصل دوم : تحلیل دینامیکی و هیدرودینامیکی بدنه صلب ربات زیرآبی ۱۱

۲-۱ مقدمه.....۱۱

۲-۲ فرضیات اساسی برای تحلیل دینامیک ربات زیرآبی.....۱۲

۲-۳ چارچوب‌های مختصات مرجع.....۱۲

۲-۴ سینماتیک بدنه صلب.....۱۴

۲-۴-۱ انتقال سرعت‌های خطی.....۱۴

۲-۴-۲ انتقال سرعت‌های زاویه‌ای.....۱۷

۲-۵ دینامیک بدنه صلب.....۱۸

۲-۶ نیروها و گشتاورهای هیدرودینامیکی.....۲۱

۲-۶-۱ جرم افزوده‌شده.....۲۱

۲-۶-۲ میرایی هیدرودینامیکی.....۲۳

۲-۶-۳ نیروی هیدرودینامیکی.....۲۴

۲-۶-۴ گشتاور حاصل از نیروی هیدرودینامیکی.....۲۶

۲-۷ نیرو و گشتاور هیدرواستاتیکی ۳۳
۲-۷-۱ نیروها و گشتاورهای گرانشی ۳۴
۲-۷-۲ نیرو و گشتاور شناوری ۳۴
۲-۸ محاسبه جرم، ممان اینرسی و مشتقات هیدرودینامیکی ۳۶
۲-۸-۱ محاسبه جرم ربات زیرآبی ۳۶
۲-۸-۲ محاسبه ممان اینرسی ربات زیرآبی ۳۶
۲-۸-۳ محاسبه ضرایب جرم افزوده‌شده با استفاده از تئوری نوارها ۳۷
۲-۹ خلاصه فصل ۴۰
فصل سوم: تحلیل دینامیکی و هیدرودینامیکی باله‌های ربات زیرآبی ۴۱
۳-۱ مقدمه ۴۱
۳-۲ سرعت‌ها و دیاگرام آزاد باله‌ها ۴۲
۳-۳ نیروها و گشتاورهای رانشی ۴۴
۳-۳-۱ نیروی رانشی ۴۴
۳-۳-۲ گشتاور رانشی ۴۶
۳-۴ استخراج کامل معادلات حرکت ۴۹
۳-۵ طراحی مسیر برای حرکت باله‌ها ۵۲
۳-۵-۱ زاویه انحراف ۵۴
۳-۵-۲ نسبت نوسان ۵۶
۲-۶ خلاصه فصل ۵۷
فصل چهارم: شبیه سازی دینامیکی ربات زیرآبی ۵۸
۴-۱ مقدمه ۵۸
۴-۲ شبیه سازی دینامیکی ربات زبرآبی ۵۸
۴-۳ خلاصه فصل ۶۵
فصل پنجم: کنترل ربات زیرآبی ۶۶
۵-۱ مقدمه ۶۶

۵-۲ کنترل‌کننده تاخیر زمانی (TDC) ۶۸
۵-۲-۱ طراحی قانون کنترل تاخیر زمانی ۶۹
۵-۲-۲ تحلیل پایداری ۷۱
۵-۲-۳ سیستم توزیع نیرو ۷۴
۵-۳ نتایج شبیه‌سازی‌های کنترل‌کننده تاخیر زمانی ۷۵
۵-۴ طراحی کنترل کننده مقاوم H_∞ ۷۹
۵-۴-۱ خطی‌سازی معادلات حرکت ۸۰
۵-۴-۲ مسئله استاندارد H_∞ ۸۳
۵-۴-۳ عدم قطعیت‌ها ۸۵
۵-۴-۴ طراحی با رویکرد حساسیت مخلوط ۸۶
۵-۴-۵ انتخاب توابع وزنی ۹۲
۵-۴-۶ اهداف طراحی کنترل‌کننده H_∞ ۹۲
۵-۵ نتایج شبیه‌سازی‌های غیرخطی کنترل‌کننده مقاوم H_∞ ۹۴
۵-۶ خلاصه فصل ۱۰۴
فصل ششم: نتیجه گیری و پیشنهادات ۱۰۵
۶-۱ نتیجه گیری ۱۰۵
۶-۲ پیشنهادات ۱۰۷
پیوست الف: ماتریس پاد متقارن ۱۰۸
پیوست ب: قضیه-شرط کافی برای پایداری [۳۴] ۱۰۹
پیوست پ: نرم‌ها و مقادیر تکین ۱۱۰
مراجع ۱۱۱

فهرست اشکال

عنوان **صفحه**

شکل ۱-۱- وسیله از دور کنترل‌شونده (ROV) [۱] ۲

شکل ۱-۲- وسیله خودگردان زیرآبی (AUV) [۱] ۳

شکل ۱-۳- ربات RHex [۲] ۴

شکل ۱-۴- بالا رفتن ربات RHex [۴] ۴

شکل ۱-۵- حرکت ربات RHex با چهارپا [۶] ۵

شکل ۱-۶- حرکت ربات RHex با دوپا اصلاح شده به شکل 'S' [۷] ۶

شکل ۱-۷- ربات RHex با کیسه پلاستیکی پوشیده شده [۸] ۶

شکل ۱-۸- AQUA با باله‌های انعطاف پذیر در زیر آب [۹]. ۷

شکل ۱-۹- AQUA با پاهای آبی و خاکی در حال خروج از آب [۹]. ۷

شکل ۲-۱- دستگاه‌های مختصات و حرکت‌های ربات زیرآبی ۷

شکل ۲-۲- دوران‌های اویلر ۱۶

شکل ۲-۳- ضرایب پسا، سطوح و اجزاء سرعت نسبی جریان ۲۶

شکل ۲-۴- سرعت‌های زاویه‌ای (p,q,r) در جهت محورهای (x,y,z) ۲۸

شکل ۲-۵- سرعت خطی (py) در جهت بالای وسیله ۲۹

شکل ۲-۶- سرعت خطی $(-pz)$ در جهت راست وسیله ۲۹

شکل ۲-۷- سرعت خطی (qz) در جهت جلو وسیله ۳۰

شکل ۲-۸- سرعت خطی $(-qx)$ در جهت بالای وسیله. ۳۱

شکل ۲-۹- سرعت خطی (rx) در جهت راست وسیله ۳۲

شکل ۲-۱۰- سرعت خطی $(-ry)$ در جهت راست وسیله ۳۳

شکل ۲-۱۱- تقریبی از ربات زیرآبی به شکل مکعب مستطیل. ۳۸

شکل ۲-۱۲- سطح مقطع مستطیل با عرض $2a$، ارتفاع $2b$ و جهت حرکت به موازات $2b$ ۴۰

شکل ۳-۱- نمایش سرعت‌های باله و درجات آزادی ربات زیرآبی ۴۵

شکل ۳-۲- دیاگرام آزاد باله صلب. ۴۵

شکل ۳-۳- دیاگرام آزاد بدنه ربات از نمای جانبی (سمت راست) ۵۰

شکل ۳-۴- دیاگرام آزاد بدنه ربات از نمای بالا ۵۱

شکل ۳-۵- نمایش بلوک دیاگرامی از معادلات غیرخطی حرکت. ۵۳

شکل ۳-۶- دامنه نوسان باله بدون وجود زاویه انحراف. ۵۸

شکل ۳-۷- دامنه نوسان باله با وجود زاویه انحراف. ۵۸

شکل ۳-۸- مسیر چند جمله‌ای درجه سوم به همراه مشخصات مسیر باله. ۵۹
شکل ۳-۹- مسیر چند جمله‌ای درجه سوم با نسبت نوسان‌های مختلف. ۶۰
شکل ۴-۱- ربات زیرآبی شش پا ۶۰
شکل ۴-۲- (الف) مسیر متقارن چند جمله‌ای درجه سوم (ب) نمودار سرعت زاویه‌ای ۶۰
شکل ۴-۳- نیروهای رانشی تولید شده توسط هر یک از شش باله ربات زیرآبی ۶۱
شکل ۴-۴- موقعیت های ربات زیرآبی برای ورودی اول ۶۲
شکل ۴-۵- جهت‌گیری‌های ربات زیرآبی برای ورودی اول ۶۳
شکل ۴-۶- موقعیت‌های ربات زیرآبی برای ورودی دوم ۶۴
شکل ۴-۷- جهت‌گیری‌های ربات زیرآبی برای ورودی دوم ۶۵
شکل ۵-۱- بلوک دیاگرام سیستم کنترل‌کننده تاخیر زمانی ۷۱
شکل ۵-۲- نتایج شبیه سازی موقعیت‌های کنترل‌کننده TDC با ورودی LSPB ۷۹
شکل ۵-۳- نتایج شبیه سازی جهت گیری‌های کنترل‌کننده TDC با ورودی LSPB ۸۰
شکل ۵-۴- نتایج شبیه سازی موقعیت‌های کنترل‌کننده TDC با ورودی پله ۸۱
شکل ۵-۵- نتایج شبیه سازی جهت‌گیری‌های کنترل‌کننده TDC با ورودی پله ۸۲
شکل ۵-۶- پیکربندی استاندارد H_∞ ۸۷
شکل ۵-۷- پیکربندی عدم قطعیت جمعی سیستم. ۸۹
شکل ۵-۸- پیکربندی عدم قطعیت ضربی در خروجی سیستم. ۹۰
شکل ۵-۹- ساختار اساسی سیستم کنترل فیدبک چندمتغیره. ۹۱
شکل ۵-۱۰- نمودار عملکردهای خروجی سیستم و ورودی کنترل. ۹۲
شکل ۵-۱۱- نمودار سیستم کنترل فیدبک به همراه عدم قطعیت‌های جمعی و ضربی. ۹۳
شکل ۵-۱۲- طراحی حساسیت مخلوط ۹۵
شکل ۵-۱۳- آرایش قطب‌ها و صفرهای سیستم کنترل‌کننده ۹۹
شکل ۵-۱۴- پاسخ فرکانسی معکوس تابع حساسیت و تابع وزنی حساسیت ۱۰۰
شکل ۵-۱۵- پاسخ فرکانسی تابع مکمل حساسیت و معکوس تابع وزنی مکمل حساسیت ۱۰۱
شکل ۵-۱۶- نتایج شبیه‌سازی جهت‌گیری‌های کنترل‌کننده H_∞ با ورودی موج سینوسی ۱۰۲
شکل ۵-۱۷- کل فرمان نیرو در جهت محور x هر یک از باله‌های ربات زیرآبی که با استفاده از کنترل‌کننده H_∞ برای مسیر سینوسی بدست می‌آید ۱۰۲
شکل ۵-۱۸- کل فرمان نیرو در جهت محور z هر یک از باله‌های ربات زیرآبی که با استفاده از کنترل‌کننده H_∞ برای مسیر سینوسی بدست می‌آید ۱۰۲
شکل ۵-۱۹- نتایج شبیه‌سازی جهت‌گیری‌های کنترل‌کننده H_∞ با ورودی موج مثلثی ۱۰۴

شکل ۵-۲۰- کل فرمان نیرو در جهت محور x هر یک از باله‌های ربات زیرآبی که با استفاده از کنترل‌کننده H_∞ برای مسیر مثلثی بدست می‌آید. ۱۰۲
شکل ۵-۲۱- کل فرمان نیرو در جهت محور z هر یک از باله‌های ربات زیرآبی که با استفاده از کنترل‌کننده H_∞ برای مسیر مثلثی بدست می‌آید. ۱۰۴

فهرست جداول

عنوان **صفحه**

جدول ۱-۱- ضریب پسا C_{Di}، مساحت سطح A_i و اجزاء سرعت نسبی جریان V_i که عمود بر هر سه جهت مکعب مستطیل شکل می‌باشد. ۲۶
جدول ۲-۲- ضرایب استفاده شده برای محاسبه مشتقات دو بعدی جرم افزوده شده هیدرودینامیکی یک مکعب مستطیلی به عرض $2a$، ارتفاع $2b$ و طول c ۴۱
جدول ۲-۳- مشتقات سه بعدی جرم افزوده‌شده هیدرودینامیکی برای مکعب مستطیلی با طول L، عرض B و ارتفاع H ۴۱
جدول ۳-۱- تعیین پارامترهای γ_i ، γ_f و t_f موجود در روابط (۳-۴۷، ۳-۴۸ و ۳-۴۹) برای مراحل حرکت و برگشت ۵۷
جدول ۴-۱- ضرایب هیدرودینامیکی و ابعاد ربات زیرآبی [۹] ۵۹
جدول ۵-۱- بهره‌های کنترل و پارامترهای عددی ۷۶

چکیده

منابع و صنایع زیر دریایی نقش مهم و بسزایی در زندگی جوامع بشری دارند. از این رو، تحقیق و پژوهش در مورد بسیاری از مسائل مهندسی، زیست محیطی، اقتصادی و نظامی مربوط به دریا، همواره مورد توجه محققین بوده است. در سال‌های اخیر استفاده از وسایل نقلیه رباتی زیرآبی (URVs) در سطح وسیعی و در کاربردهای مختلف از قبیل جستجو و گشت‌زنی، اقیانوس‌شناسی، جمع‌آوری اطلاعات، مین‌یابی، جوشکاری خطوط لوله در زیردریا و تحقیقات علمی مورد توجه مراکز مختلف پژوهشی، نظامی و صنعتی قرار گرفته است. به همین علت، در این پژوهش مسئله ربات شش پا زیرآبی به لحاظ تحلیل دینامیکی و کنترلی مورد بررسی دقیق قرار گرفته شده است. بدین منظور ابتدا با شناخت از مختصات‌های مرجع به مدل سینماتیک و استخراج معادلات حرکت بدنه صلب و محاسبه نیروها و گشتاورهای گرانشی، شناوری، هیدرودینامیکی و رانشی پرداخته‌ایم. نهایتا با بدست آمدن کامل معادلات غیرخطی حرکت در مختصات مرجع زمین ثابت، با شبیه‌سازی آن‌ها قسمت دینامیک مسئله را به سرانجام رسانده‌ایم. طراحی کنترل‌کننده برای ربات‌های زیرآبی و مخصوصا ربات زیرآبی مورد بررسی از ظرافت و پیچیدگی زیادی برخوردار است. عواملی که موجب دشواری در طراحی کنترل‌کننده برای ربات‌های زیرآبی شده است عبارتند از: غیر خطی و پیچیده بودن معادلات حاکم بر حرکت، درجه بالایی از عدم قطعیت به علت شناخت ضعیف از ضرایب هیدرودینامیکی، اختلالات غیر قابل اندازه‌گیری (مانند جریان‌های زیرآبی)، تفاوت بین مراکز شناوری و گرانش، نیروهای هیدرولیکی مختلف از جمله شناوری و میرائی هیدرودینامیکی می‌باشد. با توجه به تحقیقات انجام گرفته پیرامون روش‌های کنترلی گوناگون بر روی وسایل نقلیه زیرآبی و نیز با توجه به معادلات غیرخطی حرکت برای ربات شش پا زیرآبی، در این پژوهش از دو رویکرد مختلف برای کنترل حالت‌های ربات زیرآبی استفاده کرده‌ایم. در رویکرد اول به ارائه یک روش جدید کنترل غیرخطی مقاوم مبتنی بر تاخیر زمانی برای ربات‌های زیرآبی پرداخته می‌شود. کنترل مقاوم با استفاده از قانون کنترل تاخیر زمانی (TDC) دارای ساختاری بسیار ساده و کارامد است که نیازی به دینامیک غیرخطی مدل نامی در این قانون کنترلی نیست. این قانون کنترل باعث تضعیف اثر دینامیک ناشناخته و اختلالات غیرمنتظره می‌شود که این کار به وسیله تخمین مستقیم از یک تابع (شامل نامعینی‌ها و نیز بخش‌هایی از مدل ربات) با استفاده از اطلاعات بهنگام از شتاب و ورودی کنترل‌کننده در مرحله قبلی و سپس اعمال آن در قانون کنترل صورت می‌گیرد. به جز عبارت‌های اینرسی، این قانون کنترل نیازی به شناخت و یا ساختار عدم قطعیت و یا کران‌های عدم قطعیت ندارد. در رویکرد دوم ارائه شده پس از خطی‌سازی معادلات حرکت، برای مقابله با عدم قطعیت‌های موجود و دینامیک ناشناخته ربات شش پا زیرآبی از روش بهینه چند منظوره مبتنی بر نرم بی‌نهایت H_∞ استفاده کرده‌ایم. در روش بهینه H_∞ کنترل‌کننده آن چنان طراحی می‌شود که یک کران بالا بر روی نرم بردار خروجی‌های (وزن‌دهی شده) سیستم چند متغیره ارضا شود. در این رویکرد طراحی کنترل‌کننده در قالب یک مسئله در آمده که در آن کمینه‌کردن تابع هزینه حساسیت مخلوط، فرموله می‌شود و این مسئله به صورت عددی توسط روش LMI در H_∞ قابل حل است. برای ارزیابی رفتار کنترل‌کننده خطی H_∞، آن را به مدل غیرخطی ربات زیرآبی به صورت حلقه بسته، متصل می‌کنیم. در نهایت از نتایج شبیه‌سازی‌ها مشاهده می‌شود که هر دو روش کنترلی به طور مؤثر می‌توانند ردیابی مسیر مرجع داده شده را در حضور عدم قطعیت پارامترهای هیدرودینامیکی وسیله به خوبی انجام دهند.

کلمات کلیدی: ربات زیرآبی شش پا، باله صلب، کنترل مقاوم، کنترل تاخیر زمانی، کنترل‌کننده H_∞.

فصل اول
مقدمه

۱-۱ مقدمه

در سال‌های اخیر توجه به تحقیق در مورد مسائل زیر آب به طور چشمگیری افزایش یافته است، این نوع تحقیق‌ها معمولا دارای هزینه‌های زیاد هستند. به همین دلیل در زیرآب از وسایل نقلیه رباتی زیرآبی[1] (URVs) به طور گسترده‌ای، برای کارهای تحقیقاتی و صنعتی استفاده می‌شود. اغلب این گونه کارها برای غواصان بسیار خطرناک و یا خسته‌کننده است. وسایل نقلیه رباتی زیرآبی بدون سرنشین دارای خصوصیاتی هستند که عبارتند از: حرکت کردن در آب‌های عمیق، مانور در محیط‌هایی که دارای موانع خطرناک هستند و نیز ماندن در زیر آب برای مدت بسیار طولانی. وسایل نقلیه رباتی زیرآبی بدون سرنشین را می‌توان به دو گروه عمده تقسیم‌بندی نمود:

۱- وسایل نقلیه‌ای که از دور کنترل می‌شوند[2] (ROVs)،

۲- وسایل نقلیه خودگردان زیرآبی[3] (AUVs).

- وسایل نقلیه‌ای که از دور کنترل می‌شوند (ROVs): وسایل نقلیه زیرآبی بدون سرنشینی هستند که از دور کنترل می شوند و به طور معمول به شکل مکعب مستطیل هستند. نمونه‌ای از این وسایل در شکل ۱-۱ نشان داده شده است. این نوع وسایل معمولا در عمق ۳۰۰۰ تا ۵۰۰۰ متر از سطح آب کار می‌کنند. برخی از این وسیله‌ها بسیار کوچک هستند (با وزنی کمتر از ۵ کیلوگرم) و حامل دوربینی برای نظارت ساده از زیرآب استفاده می‌شوند. آن‌ها همچنین می‌توانند بسیار بزرگ و پیچیده باشند و نیز دارای دوربین و سنسورهای مختلف (سنسور دمای آب، سنسور عمق، سونار و ...) باشند.

[1] Underwater Robotic Vehicles (URVs)
[2] Remotely Operated Vehicles (ROVs)
[3] Autonomous Underwater Vehicles (AUVs)

شکل ۱-۱- وسیله از دور کنترل‌شونده ROV [۱].

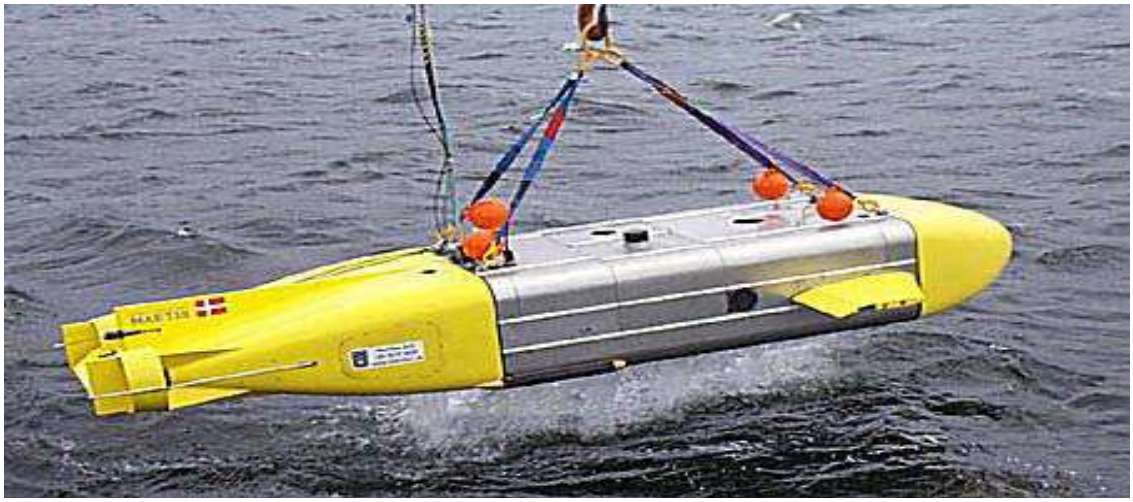
این وسیله‌ها برای هر وظیفه تعریف شده‌ی و نیاز به قدرت مانور، دارای پلت‌فرم مقرون به صرفه‌ای هستند. اجزای این نوع ربات زیرآبی که توسط کابل ارتباطی به اپراتور واقع در سطح دریا متصل است، عبارت‌اند از: سیستم هدایتی جهت کنترل ربات، سیستم رانش، سیستم به آب اندازی و تنظیم کابل ، منابع تامین قدرت و کابل ارتباطی که توان لازم جهت عملکرد پروانه‌ها و نیز دستورات و سیگنال‌های کنترلی را به ربات و داده‌های تولید شده توسط حسگرها را به اپراتور به سطح دریا منتقل می‌کنند. در اغلب موارد این کابل شامل غلاف مقاومی است که آن را در برابر بارهای وارده و نیز برخوردهای احتمالی با موانع واقع در زیرآب و پارگی و خرابی ناشی از آن، محافظت می‌کند. وجود کابل ارتباط دهنده اپراتور واقع در سطح و ROV ، گرچه مشکلات انتقال سیگنال کنترل، انتقال توان و تخلیه به هنگام[1] اطلاعات جمع آوری شده توسط حسگرها را حل می کند. اما خود مشکلاتی نظیر تاثیر منفی کابل در کنترل وسیله و یا افزایش احتمال به تله افتادن وسیله را موجب می شود. ربات‌های زیرآبی (ROV) می‌توانند دارای تجهیزات مختلفی باشند که از دوربین تلویزیونی کوچک، که جهت مشاهدات ساده به کار می‌روند تا مجموعه‌های پیچیده‌ای از ابزارآلات مانند بازوهای مکانیکی ماهر متنوع و قدرتمند، دوربین‌های تلویزیونی و ویدئویی و دیگر ابزار و وسایل پیشرفته را در بر می‌گیرد.

- وسایل نقلیه خودگردان زیرآبی (AUVs): وسایل نقلیه خودگردان زیرآبی که معمولا شبیه اژدر هستند (در شکل ۱-۲ نشان داده شده است) و نیز این وسایل رباتیکی دارای طول‌های مختلفی (۱ تا ۱۰ متر) می‌باشند. AUVها شامل یک سیستم محرکه که متشکل از یک یا دو پیشران[2]، سطوح کنترل برای کنترل حالت وسیله، بدنه ضد فشار[3] حاوی

[1] Online
[2] Thrusters
[3] Pressure Hull

الکترونیک و قدرت، تشخیص موانع و جلوگیری از برخورد به آنها، سیستم شناوری و تعادل استاتیکی و سیستم ناوبری و موقعیت یابی هستند.

عدم وجود کابل ارتباط دهنده اپراتور واقع در سطح و AUV باعث می‌گردد تا این گونه وسایل قدرت مانور بیشتری نسبت به ROV داشته باشد. هر چند عدم وجود کابل ارتباطی و خودگردانی این گونه وسایل، پیچیدگی‌های علمی و فناوری زیادی را در مسائلی از قبیل مدیریت بهینه انرژی، پردازش تصویر[۱] و مخابرات زیرآبی[۲] سبب می‌گردد.



شکل ۱-۲- وسیله خودگردان زیرآبی (AUV) [۱].

این نوع وسایل از نظر حمل منبع انرژی مصرفی و نیز داشتن برنامه‌ریزی برای انجام ماموریت در زیر آب بدون کمک اپراتور واقع در سطح خودکفا[۳] هستند. این برنامه‌ریزی به وسیله اجازه می‌دهد که هدایت و ناوبری بین موقعیت جغرافیایی از پیش تعیین شده و اجتناب از مانع را به خوبی انجام دهد. یکی از عیوب AUVها حمل انرژی مصرفی خود که باعث محدود شدن کارآیی آن می‌شود. عیب دیگر آن‌ها مشکل ارتباط با این گونه وسایل است. مشکل ارتباط از آنجا ناشی می‌شود که آب به عنوان یک رسانه نسبت به سایر رسانه‌های رایج از قبیل جو، چگال‌تر بوده و به همین دلیل انتشار امواج رادیویی در آن به دلیل بالا بودن اتلاف انرژی بسیار سخت است. به طور کلی می توان کاربرد را در سه بخش فراساحلی، نظامی و تحقیقاتی دسته بندی نمود. در حال حاضر این ربات‌ها بخش بسیار مهم و قابل اعتمادی از صنایع ساحلی و فراساحلی می باشد که توسط نهادهای تجاری، دولتی، نظامی و دانشگاهی مورد استفاده قرار می گیرند. ربات‌های زیرآبی مدرن از این قبیل، امروزه طیف متنوعی از وظایف محوله را، از

[1] Image Processing
[2] Underwater Commnuication
[3] Self-Sufficient

بازرسی محیط‌های خطرناک درون راکتورهای هسته‌ای گرفته تا تعمیر تاسیسات پیچیده زیر دریایی صنایع نفت و گاز به انجام می‌رسانند.

در سالهای اخیر با توجه به گسترش چشمگیر فعالیت‌های بشر در حوزه زیردریا، استفاده از AUVها گسترش قابل توجهی داشته است. به گونه‌ای که طراحی، کنترل و شبیه‌سازی این وسایل یکی از دغدغه‌های مهم طراحان زیر سطحی قرار گرفته شده است.

۱-۱-۱ ربات RHex

ربات RHex که مبتنی بر حرکت شش پا است. با همکاری بین آزمایشگاه رباتیک سیار در دانشگاه مک گیل، دانشگاه میشیگان، دانشگاه کالیفرنیا در برکلی و دانشگاه کارنگی ملون، طراحی و ساخته شده است [۱ و ۲]. RHex ربات خودگردانی است که حرکت آن توسط پاهای نیم دایره‌ای شکل که هر کدام تنها یک محرک دارد صورت می‌گیرد (شکل ۱-۳). حرکت معمولی این ربات به این صورت است که در هر لحظه به طور متناوب سه پا از این ربات با سطح زمین در تماس است.

شکل ۱-۳- ربات RHex [۲].

این ربات قادر است در زمین‌هایی که دارای ناهمواری و مانع باشد نیز حرکت کند. RHex در زمین مسطح با سرعت ۲.۷ متر بر ثانیه حرکت می‌کند [۳]. همچنین این ربات قادر به انجام کارهای زیر است: ۱- عبور کردن از ارتفاعات با شیب بیش از ۴۰ درجه و پله که در شکل ۱-۴ نشان داده شده است [۴]، ۲- با بهره‌گیری از پاهای فنری قادر به جهش کردن است [۵]، ۳- حرکت بر روی چهار پا (دو پای جلو و دو پای عقب) با سرعت متوسط ۱.۵ متر بر ثانیه (شکل ۱-۵) [۶]، ۴- راه رفتن بر روی دو پای عقب به وسیله پاهای اصلاح شده به شکل ’S‘ (شکل ۱-۶) [۷].

به علت اینکه RHex به طور معمول با موانعی مانند باران، گل، چوب، شن، ماسه و اتفاع بیشتر از ۳۰ سانتی متر مواجه می‌شود به همین دلیل از قاب آلومینیومی اصلی و پوشش کافی برای تست سختی استفاده شده است.

شکل ۱-۴- بالا رفتن ربات RHex از پله [۴].

شکل ۱-۵- حرکت ربات RHex با چهارپا [۶].

برای اولین بار تمام بدن RHex با کیسه پلاستیکی پوشانده شد و از ساحل شنی به داخل دریاچه راه رفت و این کار در حالی صورت گرفت که پاهای آن اصلاح نشده بود و به وسیله پاهای نیم دایره ای شکل خود در سطح آب شنا کرد (شکل ۱-۷). این آزمایش در آب و خشکی برای پروژه RHex برای نشان دادن افزایش استحکام در تمام محیط‌های بیرون صورت گرفته است و پس از آن طراحی سه نوع از این ربات‌ها به صورت پی در پی آغاز شد که عبارتند از: RHex– Shelly، Rugged-RHex و AQUA [۸].

شکل ۱-۶- حرکت ربات RHex با دوپا اصلاح شده به شکل 'S' [۷].

شکل ۱-۷- ربات RHex با کیسه پلاستیکی پوشیده شده [۸].

Shelly-RHex: رباتی است دارای بدنه‌ای ضد آب که از فیبر کربن ساخته شده است. این ربات قادر است بر روی زمین راه برود و نیز در سطح آب شنا کند.

Rugged-RHex: این ربات به دو صورت عمل می‌کند: ۱- بر روی زمین به وسیله پاهای نیم دایره‌ای شکل خود راه برود. ۲- در سطح آب به وسیله باله‌ها شنا کند. وظیفه این باله‌ها این است که با نوسان کردن موجب حرکت ربات شده و نیز حالت کنترل ربات را بر عهده دارند.

۱-۱-۲ ربات AQUA

AQUA: هدف از پروژه AQUA، توسعه پلت‌فرمی بود که قادر به راه رفتن بر روی زمین، خزیدن در کف دریا، شنا در سطح و زیر آب و غواصی در عمق ۱۰ متر باشد. در شکل ۱-۸ این ربات که بر اساس پلت فرم Rugged-RHex و با کمک مالی از موسسه (کانادایی) سیستم‌های هوشمند و رباتیک[1] (IRIS) ساخته شده، نشان داده می‌شود [۹ و ۱۰].

این ربات دارای پاهای آبی و خاکی[2] می‌باشد که به عنوان باله در هنگام شنا و پا در هنگام راه رفتن عمل می‌کند. AQUA قادر به راه رفتن از ساحل به درون آب و یا از آب به ساحل است. شکل ۱-۹، AQUA را در حال خروج از آب نشان می‌دهد. این ربات از پلت فرمی برای فعال کردن تغییر شناوری، برای سه حالت راه رفتن در کف دریا، شنا در زیر آب و شناور بودن در سطح آب، بهره می‌برد.

[1] Institute for Robotics and Intelligent Systems
[2] Amphibious Legs