دانشکده مکانیک

گروه آموزشی مهندسی مکانیک

پایان‌نامه

برای دریافت درجه کارشناسی ارشد در مهندسی مکانیک-گرایش طراحی کاربردی

عنوان

طراحی و بهینه سازی ربات مار جهت مانور دهی و عیب یابی در داخل لوله ها

استاد راهنما

دکتر احمد قنبری

استاد مشاور

دکتر محمد اتفاق

پژوهشگر

عبدالکریم سهیلی

بسم الله الرحمن الرحیم

مقدمه..... 1

فصل اول..... 7

1-1 انواع کاربردهای ربات مار..... 7

1-1-1 ربات مار..... 7

1-1-2 مار آتش‌نشان..... 7

1-1-3 ربات جاسوسی 9

1-2 تحولات در مدل سازی و حرکت ربات مار 9

1-2-1 نحوه زیستن مارها 10

1-2-1-1 اسکلت بندی مارها 10

1-2-1-2 پوست مارها 10

1-3 حرکت مارها منبع الهام بخش برای حرکت رباتهای مار..... 11

1-3-1 حرکت موجی جانبی 11

1-3-2 حرکت موجی محدود..... 12

1-3-3 حرکت موجی عرضی 13

1-4 طراحی و مدل سازی ریاضی 14

1-4-1 سینما تیک ربات مار 16

1-4-1-1 استفاده از پارامترهای : DenavitHarteng (D – H)..... 16

1-4-1-2 منحنی ستون فقرات..... 18

2-4-1 قیدهای Non_ holonomic و ربات مار با چرخک های ثابت 20

1-5 دینامیک حرکت 21

1-5-1 ربات مار بدون چرخ 21

2-5-1 مدل‌های اصطکاکی 22

1-6 مدل سازی ریاضی و کنترل ربات مار 23

فصل دوم..... 38

1-2 اهداف این پایان نامه به شرح زیر می‌باشد 38

2-2 سینما تیک ربات مار..... 38

1-2-2 استفاده از مختصات قطبی 38

2-2-2 سینما تیک ربات در دستگاه x-y..... 41

1-2-2-2 قیدهای non – holonomic و سینما تیک کلی حرکت 43

3-2 دینامیک حرکت 48

1-3-2 نیروهای خارجی اعمال شده به سیستم 48

2-3-2 معادلات حرکت 51

4-2 منحنی حرکت مارها 61

1-4-2 بررسی پارامترهای منحنی سرپنوئید 62

2-4-2 طرح اصلاحی منحنی سرپنوئیدی..... 65

3-4-2 بهینه سازی مسیر حرکت به وسیله الگوریتم ژنتیک 69

فصل سوم 73

3-1 بحث و نتایج 73

منابع 78

فهرست شکل ها

شکل 1-1 : طراحی خودروی بیو ممتیک با الهام از شکل ماهی جعبه‌ای 4

شکل 1-1 ربات طراحی شده پژوهشگران دانشگاه میشیگان 7

شکل 1-2 طراحی مار آتش‌نشان 8

شکل 1-3 پرزهای موجود بر پوست مار 11

شکل 1-4 حرکت موجی جانبی 12

شکل 1-5 حرکت موجی محدود 13

شکل 1-6 حرکت موجی عرضی 14

شکل 1-7 استفاده از پارامترهای (D – H) 17

شکل 1-8 استفاده از دستگاه Frenet-serret 18

شکل 1-9 منحنی ستون فقرات 19

شکل 1-10 اولین ربات 3 لینکی استفاده شده به وسیله ostrowski and burdick 21

شکل 1-11 ربات مار با 4 لینک که مرکز جرم لینک مشخص شده است 24

1-2 ربات مار در دستگاه مرجع R - θ 39

شکل 2-2 : ربات مار 5 لینکی در دستگاه مختصات X-Y 42

شکل 2-3 : نشان دادن شرایط بدون لغزش در لینک iام 45

۲-٤ دیاگرام نیروهای وارد بر لینک iام 49

شکل 2-5 تجزیه نیروی اصطکاک به اجزای ان 57

شکل 2-7 نمودار اصطکاک خشک مدل شده به وسیله (جی مودلینگ) 60

شکل 2-8 منحنی سرپنوئیدی و پارامترهای ان 61

شکل 2-9 تأثیر زاویه‌ی پیچش اولیه بر روی منحنی 63

شکل 2-10تاثیر k_n بر منحنی 63

شکل 2-11تاثیر پارامتر c بر منحنی 64

شکل 2-12 منحنی سرپنوئیدی دنبال کننده خط زاویه دار 66
شکل 2-13 : حرکت اصلاح شده مار بر روی یک مسیر منحنی شکل 67
شکل 2-14 حرکت بر روی مسیر سهمی شکل با استفاده از منحنی سر پنوئیدی 69
شکل 2-15 : بهینه سازی مسیر حرکت به وسیله الگوریتم ژنتیک 70
شکل 3-1مسیر حرکت یک ربات و لینک‌های ان بر روی منحنی..... 74
شکل 3-2 نیروی اصطکاک جانی وارد شده به لینک‌ها در حین حرکت 75
شکل 3-3 گشتاورهای اعمال شده به مفصل‌ها در حین حرکت 75

مقدمه

بیوممتیک[1]

انسان برای ابداعات و اختراعات خود همواره از محیط پیرامونش الهام گرفته است. در این مبحث به معرفی علم بیوممتیک می‌پردازیم که بر اساس الهام و اقتباس از سیستم‌های زنده بنا گردیده است . اگر مسیر فناوری‌های موجود را به دقت بررسی کنیم ، پی می‌بریم که ریشه غالب این فناوری‌ها ، یک الگوی کاملاً طبیعی است که از سیستم‌های زنده و طبیعی الهام گرفته است . در این علم به منظور طراحی سیستم‌های جدید ،مدل‌هایی کاملاً زنده و طبیعی بررسی می‌گردند.بنابراین می‌توان گفت بیوممتیک هنر به کار گیری دانش خدادادی در سیستم‌های زنده و طبیعی به منظور یافتن راه‌های جدید در ابداعات و حل مشکلات علمی و فنی است به عبارتی موضوع اصلی این علم ، اقتباس و الگو برداری از ارتباطات گوناگون و دانش به کار رفته در عالم جانداران و سیستم‌های زنده و طبیعی است . در علم بیوممتیک ، با تحقیق و مطالعه در سیستم‌های زیستی و طبیعی موجود در طبیعت ، برای طراحی سیستم‌های مصنوعی بهره برداری و اقتباس می‌گردد .به خاطر مشکلات روز افزون ناشی از تکنولوژی‌های پر خطر ، و به علت ویژگی‌های ممتاز علم بیوممتیک در فناوری‌های جدید ، این علم بیش از پیش در حال توسعه است.

تا پیش از این در علم بیو ممتیک ، ماشین‌هایی که بر اساس مدل‌های زنده طراحی گردیده بودند بررسی می‌گردید . اما امروزه با توسعه در مفهوم علم بیوممتیک ، هر گونه اقتباس از سیستم‌های زنده و به کار گیری دانش به کار رفته در این سیستم‌ها در حل مسایل فنی ، در حوزه این علم تلقی می‌گردد .

[1] Biomimetic

به عنوان مثال می‌توان از نسل جدید رایانه‌ها بر اساس فکر انسان و ساخت هواپیماهای مدرن و سریع با اقتباس از بال پرستو نام برد که نمونه‌های بارزی از کاربرد علم بیوممتیک در فناوری‌های جدید می‌باشد . زمینه‌های جدید مطالعاتی در سلول‌ها و شبکه‌های عصبی مصنوعی ، هوش محاسباتی و جمعی ، همگی در حوزه مطالعات بیوممتیک در علم کامپیوتر قرار دارند . مثال‌هایی از کاربرد علم بیوممتیک در فناوری‌های جدید بسیار زیاد است که در ادامه به نمونه‌هایی ازآن در حوزه‌های مختلف علمی اشاره خواهد گردید .

مثال‌هایی از علم بیوممتیک در علوم مختلف

- طراحی هواپیما و کشتی با الهام از ساختارهای زیستی پرندگان و ماهی ها:

از دیر باز پرواز پرندگان الهام بخش طرح‌های بی شماری از ماشین پرنده بوده است . لئوناردو داوینچی در سال 1505 بر اساس ساختمان خفاش‌ها طرحی از یک ماشین پرنده ترسیم کرد . 300 سال بعد از این طرح ، ماشین پرنده با الهام از بال خفاش ساخته شد و در سال 1890 تا ارتفاع 15 متری پرواز کرد .در سال 2004 نیز دانشمندان دانشگاه پن استیل موفق به ساخت بال‌هایی در هوا پیما شدند که می‌توانند بر طبق سرعت و زمان پرواز تغییر جهت دهند . در طراحی این بال ها که بر اساس سرعت پرواز شکل‌های مختلفی به خود می‌گیرند ، از گونه‌های مختلفی از پرندگان الهام گرفته شده است . طرح پوشش بال‌های هواپیما از پولک‌های ماهی اقتباس گردیده بود که می‌توانستند کنار هم بلغزند.

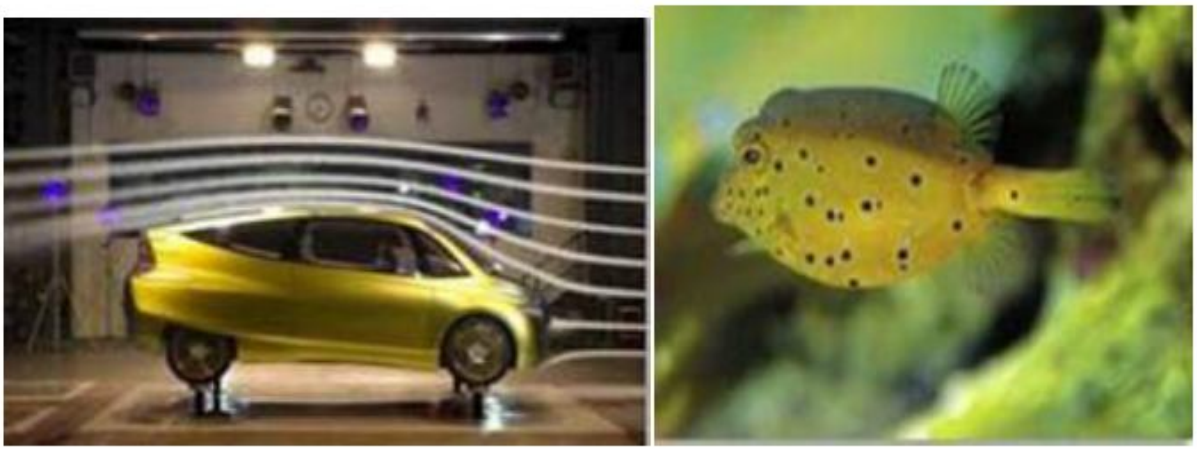
- طراحی زیر دریایی‌ها با الهام از بدن دلفین‌ها

از آنجا که دلفین‌ها با نیروی عضلانی کم می‌توانند به سرعت در آب حرکت کنند ، در ساخت زیر دریایی‌ها از ساختار دو لایه‌ای بدن انها کمک گرفته شده است . پوست بیرونی قابل ارتجاع بوده و درونی مانند یک ماده اسفنجی است . فشار جریان پر تلاطم بیرونی از طریق پوست قابل ارتجاع بیرونی به لایه اسفنجی و تراکم پذیر درونی منتقل می‌گردد . در نتیجه اثر جریان متراکم کم رنگ می‌گردد. با الهام از این مکانیسم در پوست دو لایه دلفین‌ها ، زیر دریایی‌هایی طراحی گردیدند که با یک موتور حرکت سریعی دارند . همچنین لباسی برای غواصان طراحی گردیده است که اصطکاک بدن غواص و آب را به حداقل می‌رساند.

- طراحی خودروی بیوممتیک با الهام از شکل ماهی جعبه‌ای :

با الهام از شکل ماهی جعبه‌ای ، شرکت مرسدس بنز نیز اقدام به طراحی خودرویی نموده است.این ماهی نا گزیر است با مصرف کمترین مقدار انرژی حرکت کند که مستلزم داشتن عضلات قوی و ظاهری خطی است . ظاهر خطی طراحی در این ماهی کمترین میزان مقاومت در برابر جریان هوا یا مایع سیال را ایجاد می‌کند . بدنه خارجی سخت و محکم در این ماهی ، باعث می‌گردد که ماهی فشار زیادی را تحمل کند و از بدنش در مقابل ضربات و تصادفات محافظت نماید . بدن ماهی جعبه‌ای از تعداد زیادی صفحات استخوانی چند وجهی تشکیل شده است که در نتیجه هم پوشانی آن‌ها ، زره انعطاف ناپذیری تشکیل گردیده است . در نتیجه ، این ساختار استخوانی به پیکر ماهی استحکام زیادی می‌بخشد که باعث حفاظت از ضربات و افزایش سرعت ماهی حتی در جریان‌های متلاطم است ماهی با این ساختار نیاز

کمی به حرکت باله‌ها پیدا می‌کند و در انرژی خود صرفه جویی می‌نماید این خودرو به دلیل سبکی و مصرف سوخت 4.3 لیتر در 100 کیلو متر دارای کاربری بالا و دوستدار طبیعت است .



شکل 1-1 : طراحی خودروی بیو ممتیک با الهام از شکل ماهی جعبه‌ای

- تولید برق از زنبور :

بدن زنبورهای سرخ آسیایی مانند نیرو گاه‌ها تولید برق خورشیدی عمل می‌کنند . پوست زنبورهای سرخ آسیایی ، رنگدانه های تولید کننده برق دارد . زنبورهای سرخ نوعی سلول‌های خورشیدی داخلی دارند که از نور آفتاب ، الکتریسیته استخراج می‌کند. رنگدانه های موجود در پوست این حشرات به دلیل قابلیت ویژه‌ای که دارد نور خورشید را به انرژی تبدیل می‌کند .این کشف علمی به دنبال مشاهده فعالیت زنبورها در زمان تابش شدید نور آفتاب روی داد ، چرا که زنبورها در این زمان بیشترین فعالیت را انجام

می‌دهند . محققان در حال حاضر در بر روی اسکلت خارجی زنبورها مطالعه می‌کنند تا در یابند این الکتریسیته به چه شکلی تولید می‌شود.

بررسی منابع

1 فصل اول

1-1 انواع کاربردهای ربات مار

1-1-1 ربات مار

ربات مار مانند Omni Tread طراحی شده توسط سانگ[1] و همکارانش در سال (2007) از رو زیر و حتی داخل موانع مختلف عبور کند . قابلیت‌های حرکتی ربات در مقایسه با ربات های هم نوع خود بی نظیر است.نوارهایی شبیه شنی تانک در چهار طرف هر قسمت از این ربات حرکت سریع ان را در زمین‌های مختلف آسان می‌کند. موتورهای استفاده شده بادی هستند که با نیروی این موتورها ربات قادر به بلند کردن دو تکه جلویی خود است .

شکل 1-1 ربات طراحی شده پژوهشگران دانشگاه میشیگان

1-1-2 مار آتش‌نشان

یکی از محققان کمپانی SINTEF به دنبال ساخت رباتی بود که به درون آتش بخزد و بدون ان که جان انسانی به خطر بیفتد به تنهایی آتش را خاموش کند . این پروژه که در سال 2003 شروع شد مار

1- Sang

آتش نشان نام گرفت . ایده‌ای اصلی به این صورت بود که یک لوله آب آتش نشانی را به دریچه‌های هیدرولیکی آب و محرک‌هایی مجهز کنند تا مانند یک مار واقعی قادر به حرکت به جلو باشد.

شکل 1-2 طراحی مار آتش‌نشان

در واقع مبتکر این ربات معتقد بود نیروی مورد نیاز این سیستم برای حرکت به جلو در اثر فشار بالای 100 بار آب در همان لوله آب آتش‌نشانی وجود دارد. استفاده از حرکت مار گونه به جای استفاده از چرخ یا پا این ربات را بسیار منعطف‌تر ساخته ، به ویژه در عملیات مهار آتش بسیار آسان‌تر خود را به نقاط مختلف می‌رساند. از این ربات می‌توان در کاربردهای زیر دریا همچون نگهداری و کنترل تأسیسات گاز و نفت و جلوگیری از انفجار استفاده کرد .

3-1-1 ربات جاسوسی

محققان انگلیسی ربات مار شکل جدیدی طراحی کرده‌اند که می‌تواند با خزیدن به مواضع دشمن به جاسوسی پرداخته و حتی پس از آسیب دیدن نیز به فعالیت خود ادامه دهد . این ربات نظامی که " اسنیک بات " نام دارد قادر است در صورت آسیب دیدن هر کدام از ماهیچه‌های مصنوعی خود ، روش جدیدی را برای خزیدن خود به جلو در پیش بگیرد. این ربات بدون استفاده از هیچ چرخی می‌تواند حرکت کند و در میدان نبرد جاسوسی مناسب برای انجام عملیات شناسایی و جمع آوری اطلاعات از دشمن محسوب می‌شود .

2-1 1حولات در مدل سازی و حرکت ربات مار

در طی ده تا پانزده سال اخیر مقالات منتشر شده در مورد ربات مار به طور گسترده افزایش یافته است و هدف از این بخش بررسی دقیق و جامع مدل‌های مختلف و نحوه تولید مسیر حرکت مار می‌باشد، که در این دوره انتشار یافته است. هر دو نوع مدل سازی دینامیکی و سینما تیکی ربات تشریح خواهد شد. علاوه بر این انواع حرکت‌های بیولوژیکی الهام گرفته از ربات مار، مخصوصاً تولید الگوی حرکتی برای ربات های مار مورد بحث قرار می‌گیرد. در این بخش از همان نمادهای مقالات منتشر شده استفاده می‌کنیم. ساختار کلی بخش بدین صورت است که ابتدا معرفی کوتاهی از مارها و نحوه حرکت آن‌ها صورت می‌گیرد ، سپس مدل‌های ریاضی مختلف ربات های مار ارائه می‌گردد و نهایتاً الگوهای اجرایی این مدل‌های بر روی ربات مار بررسی می‌کنیم.

1-2-1 نحوه زیستن مارها

نوع حرکت بیولوژیکی مارها منبع الهام بخش برای اکثر ربات های مار می‌باشد. لذا به بررسی کوتاهی در مورد آناتومی حرکت مار می‌پردازیم (1994 باچوت [1] و 2002 توسط ماتیسون[2] داولینگ (1997[3]).

1-1-2-1 اسکلت بندی مارها

اسکلت مارها معمولاً از 130 مهره شکل گرفته و تا 400 مهره نیز در طبیعت دیده شده است، دامنه چرخش هر مفصل محدود می‌باشد بین 10 تا 20 درجه چرخش در روی سطح و به سمت کناره‌ها می‌باشد و در حرکت به سمت بالا یا پایین تا چند درجه آزادی دارد. البته انحنای کلی بدن مار به دلیل تعداد زیاد مهره‌ها هنوز مشخص نمی‌باشد. همچنین مارها می توانند یک چرخش کوتاه بر روی زمین در حین حرکت مستقیم الخط داشته باشند که از این خاصیت می‌توانند برای چرخیدن به پشت استفاده کنند.

2-1-2-1پوست مارها

از آنجا که مارها بدون پا هستند ، سطح پوستشان نقش مهمی را در حرکت مارها ایفا می‌کند. (باچوت1994). اصطکاک کم بین بدن مار و سطح زمین باعث حرکت مار به سمت جلو اما اصطکاک‌های بالا حرکت مار به سمت عقب را مهیا می‌کند. پوست مارها معمولاً دارای دندانه‌های بسیار

---

[1] Baouchot

[2] Mattison

[3] Dowling

ریزی می‌باشند که حرکت رو به جلوی مار را تسهیل می‌کند. پرزهای بر روی شکم مار اصطکاک لازم بین بخش زیرین مار و سطح زمین را فراهم می‌کند.(هیروز1993)

شکل 1-3 پرزهای موجود بر پوست مار

1-3 حرکت مارها منبع الهام بخش برای حرکت رباتهای مار

1-3-1 حرکت موجی جانبی[1]

حرکت مارپیچی خزنده که یک حرکت مستمر و پیوسته مار نسبت به زمین است این حرکت توسط انتشار امواج از جلو به عقب مار و در تماس با زمین صورت می‌گیرد. هر قسمت از بدن مار زمین را به صورت یک موج سینوسی ترک می‌کند. مار برای جلوگیری از خزیدن رو به عقب در حین حرکت از لبه‌ها یا سنگریزه‌ها به عنوان تکیه گاه استفاده می‌کند. مارها در حین حرکت سینوسی باید حداقل سه نقطه

[1] Lateral undulation

از بدنشان باید با زمین در تماس باشد. دو نقطه مورد نیاز برای حرکت رو به جلو و تولید نیرو و نقطه سوم به تعادل این نیروها کمک می‌کند. حرکت موجی جانبی عمدتاً بر دو عامل استوار است

1- تعداد نقاط در تماس با زمین

2- نسبت بین طول مار و دور آن

سریع‌ترین مارها دارای طولی بیش از 10 تا 13 برابر دور خود می‌باشند که می‌توانند به سرعت یازده کیلومتر در ساعت در زمین‌های خشن برسند.

شکل 1-4 حرکت موجی جانبی

1-3-2 حرکت موجی محدود[1]

این نوع حرکت مارها بدین صورت است که ابتدا قسمت‌هایی از بدن مار تا شده و بقیه بدن ساکن می‌ماند سپس قسمت‌های تا شده به سمت جلو باز می‌شوند و این حرکت به صورت تناوبی تکرار می‌شود.مارها برای عبور از داخل مسیرهای باریک و طولانی مانند حرکت داخل لوله‌ها و یا در امتداد شاخه‌ها از این روش استفاده می‌کنند.

[1]Concertina locomotion

شکل 1-5 حرکت موجی محدود

1-3-3 حرکت موجی عرضی[1]

این نوع حرکت که احتمالاً شگفت اورترین نوع حرکت مارها می‌باشد بیشتر در صحراها صورت می‌گیرد.با توجه به شکل 3 بر خلاف حرکت موجی جانبی یک تماس استاتیکی کوتاه بین بدن مار و زمین وجود دارد. این روش حرکتی است که در سطوح با تنش برشی کم مانند سطوح شنی به انجام می‌رسد.لازم به ذکر است که مارها در این حرکت می‌توانند به سرعت 3 کیلو متر بر ساعت برسند.

[1]Sidewinding locomotion