



ارائه شده توسط:

سایت ترجمه فا

مرجع جدیدترین مقالات ترجمه شده

از نشریات معتبر

حرکت میریپاد مانند یک میکرو ربات قطعه ای

چکیده

بدنه های خرد میریپاد مانند می توانند مزایای عملکردی را نسبت به بدنه ثابت شکلی برای حرکت داشته باشند. در اینجا، طراحی یک میکرو ربات متحرک با ستون فقرات منعطف ارائه شده است. یک مدل دینامیکی که حرکت میکرو ربات را توصیف می کند برای مشخص سازی پارامترهای بدنه استفاده شده است. یک میکرو ربات سه بخشی ساخته شده توسط پروسه میکروساختاری کامپوزیتی هوشمند و محرکهای فیزوالکتریک دوگانه می باشد و همچنین انتقال پیشرونده بر روی یک سطح تخت نشان داده شد. جای پای ۷۵۰ میلیگرمی میکرو ربات ۳,۵ در ۳,۵ سانتی متر می باشد و مزایای بالقوه ای در زمینه بالا رفتن، تطبیق دهی و ثبات نسبت به میکرو ربات هگزاپدال با بدنه صلب دارد.

واژگان کلیدی میکرو رباتها، تقلید زیستی، رباتهای متحرک، رباتهای پیمانی

۱. مقدمه

پیشرفتهای روشهای میکروسازی و درک بهتر مکانیزم های انتقالی حشرات این امکان را داده که در توسعه میکرو رباتهای متحرک موفقیتهای اخیر کسب شوند. مثالهایی از ترکیبهای موفق الهامات زیستی و تولید کامپوزیت لایه ای، RoACH,a 2.4 g خودکار ربات هگزا پاد می باشد که می تواند سرعتی برابر طول یک بدنه در ثانیه (هوور و همکارانش ۲۰۰۸) داشته باشد، DASH، یک ربات خودکار است که بر اساس بدنه محکم سوسک مدلسازی شده تا بتواند در مقابل سقوط با سرعت ۱۰ m/s مقاومت کند و طولی برابر ۱۰ سانتی متر داشته باشد (بیرکمیر و همکارانش ۲۰۰۹) و HAMR، یک میکرو ربات است که انتقال پیشرونده را نشان داده و فقط حدود ۹۰ میلی گرم وزن دارد (یاخ و وود ۲۰۰۹). هر یک از این رباتها با استفاده از میکروساختارهای کامپوزیتی هوشمند (SCM) ساخته شده اند (وود و همکارانش ۲۰۰۸). به علاوه، بر اساس سوسک ها مدل سازی شده بودند، استفاده از راه رفتن متغیر حشرات سه پا و بدنی مرکزی دارند که تجهیزات الکترونیک و محرک را دربر می گیرد و از ۶ پای بدون جرم استفاده می کند.

راه دیگر برای بدنه های ثابت و شکل‌های هگزپاد، استفاده از یک بدنه خرد با انعطاف پذیری در ستون فقرات است که حرکتی نسبی را بین بخش‌های مختلف ممکن می‌سازد. مشابه میراپاداها. مطالعه میراپاداها نشان می‌دهد که روبات‌های چند پای، خرد می‌توانند مزایایی نسبت به شکل‌های سنتی داشته باشند. شامل:

۱. سرعت: در حالیکه سوسک‌ها و دیگر هگزپاد‌هایی که بدنه سفت دارند، می‌توانند سرعت‌هایی به اندازه ۴۰-۵۰ طول بدنه /ثانیه (فول و تو ۱۹۹۱) داشته باشند، سریع‌ترین سرعت ثبت شده هزارپایان مقداری کمتر از ۱۰ طول بدنه/ثانیه (مانتون و هاردینگ ۱۹۵۲) است، هرچند، هزارپاها موجوداتی نحیف هستند، که می‌توانند شکار زنده را بگیرند، مانند سوسک و دیگر حشرات هم‌اندازه یا بزرگتر و پستانداران. به علاوه استفاده از نوسانات بدن برای افزایش گامها، انعطاف پذیری میراثی بدن هزارپایان، به آنها اجازه می‌دهد که روی زمین بلغزند، به راحتی بچرخند و از سطوح افقی به عمودی بروند. این مسئله امکان می‌دهد که میکرو روبات‌های هزارپایی سریع‌تر از روبات‌های هگزپاد بدنه سفت در زمین‌های سخت و در هنگام تغییر مسیر باشند.

۲. ثبات: تعداد زیاد پای‌های هزارپا، تا ۱۹۱ پا در برخی از انواع میراپاداها (ادجکمب و گیریت ۲۰۰۶)، که اجازه می‌دهد که راه رفتن‌های مختلف داشته و ثبات زیادتری داشته باشند. در خیلی از موارد، هزارپاها سه پایه ای را جمع کردن پایا به شکل گیره درست کنند (اندرسون و همکارانش ۱۹۹۵). پای‌های زیادی که در طول توزیع شده است، مرکز جرم احتمالا بین مثلث پشتیبانی می‌ماند و امکان ثبات استاتیک را فراهم می‌کند.

۳. استحکام: مطالعاتی شامل حذف تعداد مختلفی از پای‌های هزارپا انجام شد که تغییرات بسیار ناچیزی در ظرفیت‌های حرکتی از جمله راه رفتن، سرعت و ثبات داشت (مانتون و هاردینگ ۱۹۵۲)

۴. بالا رفتن و چالاکی: تعداد نقاط اتصال با افزایش تعداد بخش‌های هزارپا یا رویات به صورت خطی افزایش می‌یابد و انعطاف پذیری در بدنه به هزارپا اجازه می‌دهد که بغلتد اطرف خودش و از سطوح افقی به عمودی برود بدون اینکه نحوه راه رفتنش را تغییر دهد.

۵. تطبیق و سازگاری: طراحی پایه روبات هزارپای خرد، امکان حذف و نصب بخش‌های مختلف را می‌دهد تا بتواند کارهای مختلف بکند.

در حالیکه یک روبات هزارپا می تواند فواید زیادی داشته باشد، مشکلاتی برای درست کردن چنین تجهیزاتی وجود دارد. به علت استفاده از منعطف کننده ها و محرکهای خطی برای تجهیزات در این مقیاس، طراحی مکانیزم انتقالی و ارتباطات میانی بین بخشها از تجهیزات مقیاس بزرگتر فرق می کنند. یک سوال در مورد انتقال هزارپاها به تحریک عضله ای به عنوان ارتعاشات بدن مطرح می باشد. مانند نتیجه گیری کرد که ارتعاشات بدن مجهول هستند (مانتون و هاردینگ ۱۹۵۲). کارهای اخیر شامل الکتروگرهای متصل به عضلات منعطف کننده جانبی هزارپا مشخص کرد که عضلات به طور فعالانه ارتعاشات بدن را افزایش می دهند (آندرسون و همکارانش ۱۹۹۵). طراحی و مدلسازی این گونه میکروروبات می تواند سوالاتی را راجع به حرکت موثر در مقیاسهای کوچک را بدهد، شامل روش بهینه معرفی انعطاف پذیری، جایگیری موثر محرک و تعداد مناسب پاها. پروسه های میکروساختارها شامل پروسه SCM خلق ویژگی های میکرو مقیاسی را ممکن ساخته است اما به نظر می آید بازده کمی دارند و نیازمند مونتاژ چند مرحله ای دستی هستند. یک میکروروبات خرد نیازمند ساختار بسته ای و مونتاژ اتوماتیک است تا بازده افزایش یابد. با توسعه روشهای ساخت بسته ای و ساخت تعداد زیادی از اجزای مشابه به طور موازی، زمان ساخت برای یک میکروروبات خرد ممکن است به طور چشمگیر افزایش نیابد، اگر تعداد پاها افزایش یابد.

مدلهای دینامیکی رباتهای خرد همچنین خیلی کمیاب هستند. معمولاً راه مستقیم این است که دینامیک مدل تکی بخشها را ساخت اما به سختی می توان روابط بین بخشها و محیط را توصیف کرد. در مقیاس میکرو، دینامیک رباتها با بدنه های نسبتاً سفت و پاهای بدون جرم، مشابه سوسک ها، مدلسازی شده اند. ویدئو ها و اطلاعات اجباری از سوسکهای واقعی برای خلق یک مدل دینامیکی انتقال سوسک استفاده شده است که می تواند تبدیل به میکروروباتهای سوسکی مشابه شود تا بتوان حرکات آنها را پیش بینی کرد و یک طرح راهنما ارائه داد (هولمز و همکارانش ۲۰۰۶) متأسفانه این مدل انتقال میکروروباتها با ستون فقرات خرد انعطاف پذیر را در بر نمی گیرد. دینامیک رباتهای خرد بزرگتر مانند ربات سمندر (جیمنز و ایکسپرت ۲۰۰۷، ماتی و همکارانش ۲۰۰۸) و یک ربات پا دار خرد که مود های ارتعاشی مختلف را نشان می دهد (فاکیوتاکیس و ساکیریس ۲۰۰۹) و کنترل کننده های این رباتها مطالعه شدند. شبیه سازی هایی نیز برای یافتن یک تعداد بهینه از پاها برای رباتهای خرد بزرگتر استفاده شد (نوهارا و نیشیزاوا

۲۰۰۵). این مدل‌های دینامیکی رباتهای خرد بزرگتر را ساختند که به طور دقیق انتقال میکروروباتها را در اثر تغییر مقیاس، تغییرات تحریک و ساخت توصیف نمی‌کنند. برای پاسخ درست همراه کنترل و طراحی میکروروباتهای حرکتی خرد، یک مدل دینامیکی لازم است.

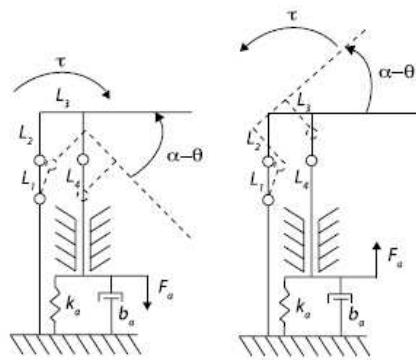
یک طراحی اولیه برای یک میکروروبات محرک چند بخشه ارائه شد (هافمن و وود ۲۰۱۰) حرکت یک بخش معلق در مقایسه با یک مدل کینماتیک مشخص شد. در حالیکه بخش تکی حرکت را مطابق مدل پیش بینی کرد، طراحی جزئی برای ساخت سخت بود، مرکز جرم زیادی داشت و جایگیری محرک مناسب نبود، تک کاربری را را ستون فقرات نشان داد و بر اساس مدل کینماتیک بود و سیستم دینامیکی و تکی بخشها را رد می‌کرد. سیم کشی ها نیز توسط دست انجام شدند، که زمان زیادی می‌گرفت و قابل اعتماد نبود. غیر از آن، مفهوم بخش بخش بودن موفق بود و برای خلق رباتهای خرد اطمینان بخش بود.

خیلی از چالشهای همراه میکروروباتهای خرد در زیر اشاره شده اند. یک مدل دینامیکی جزئی برای یک میکروروبات متحرک منعطف خلق شده و در بخش ۳ شبیه سازی شد. این مدل سپس برای پیدا کردن پارامترهای مناسب مرتبط با یک طراحی جزئی نمونه و کامل در بخش ۲ توضیح داده شده است. پروسه SCM و برخی تکنیک های اضافی لازم برای ساخت یک میکروروبات با اجزای خرد تکراری برای خلق طراحی انتخابی در بخش ۴ استفاده شد. ربات تکمیل شده، به ابعاد ۳٫۵ در ۳٫۵ در ۱ سانتی متر و با وزن ۷۵۰ میلی گرم، انتقال پیشرونده ثابتی را در سطوح افقی مطابق بخش ۵ نشان داد. این میکروروبات ممکن است به زودی به عنوان طرح پایه ای برای رباتیک توزیعی استفاده شود، که به تکنیک های ساختری بسته ای بیانجامد، تکنولوژی کنترل حرکت میکروروباتها را ارتقا دهد، توانایی های بالا رفتنی را ارتقا دهد و یک میکروروبات برای همراهی در گشتن و نجات فراهم کند، گشت در محیطهای خطرناک انجام دهد و بازرسی کند. مدل دینامیکی نیز می‌تواند به عنوان راهنمای طراحی برای مدلسازی دیگر رباتهای خرد استفاده شود و به تحقیقات بیشتر و مدلسازی برای میریادها واقعی و دیگر گونه ها با بدنه های سازگار خرد باشد.

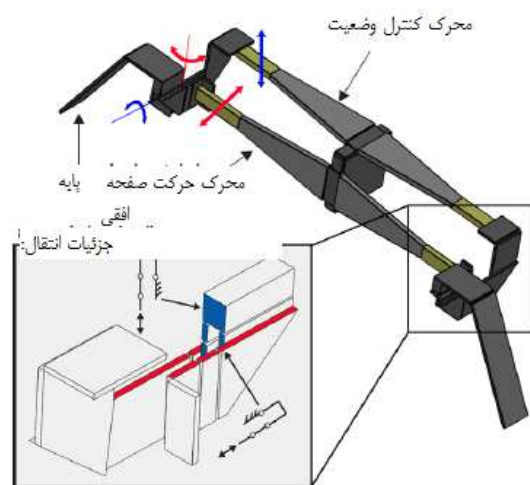
طراحی رباتهای خرد را می توان در دو سطح توصیف کرد: هر بخش جزئی و چگونگی رابط بین این بخشها. عموماً، هر بخش و رابطه بین بخشهای مرتبط بایستی درجات آزادی کافی (DOF) داشته باشد تا به قطعات اجازه حرکت نسبی به یکدیگر بدهد و انتقال کلی را ممکن سازد. در این طراحی، هر بخش یک درجه آزادی تحریک شده دارد در صفحه افقی، گشتاوری در شانه می گیرد و یک درجه آزادی در صفحه عمودی دارد، که به پایه های اجازه می دهد بلند شوند و بر روی زمین قرار گیرند. یک درجه آزادی اضافی در صفحه افقی مجهول است و اجازه به پا می دهد تا بچرخد نسبت به زمین. برای دستیابی به حرکت پیشرونده، یک بخش پایینی را روی زمین می گذارد، که به عنوان موقعیت پا می باشد، در حالیکه پای مخالف را بلند می کند یا پا را تاب می دهد. بخش سپس می چرخد در حول موقعیت پا و گشتاوری در شانه ایجاد می کند، پای ایستاده قبلی را بلند می کند در حالیکه پای تاب خورنده قبلی را پایین می آورد و سپس حول پای ثابت جدید می چرخد. این پروسه تکرار می شود برای مراحل بعدی. این چرخش و حرکت مرحله ای، در صفحات افقی و عمودی به ترتیب، توسط دو محرک سگدست دو شکل پیزوالکتریک دوگانه که به طور عمودی باهم می باشند. موتورهای اضافی، مانند موتورهای اسکویگل (تکنولوژی های نیو اسکیل) و آلیاژهای حافظه دار (SMA) برای این ربات در نظر گرفته شد. موتورهای DC در مقیاسهای کوچک تمایل به داشتن چگالیهای کم داشته که در اثر استفاده آنها از اجزای چرخنده دارند که ناشی از اثرات مخرب پیشرفته اصطکاک در این مقیاس می باشد. محرکهای SMA یک پهنای باند پایین تر نسبت به محرکهای پیزوالکتریک دارد که فرکانس مرحله ای میکروروبات را محدود می کند. تحریک پیزوالکتریک قبلاً نشان داده شده که برای انتقال در این مقیاس موفق بوده است (لوبونتو و همکارانش ۲۰۰۱ و ساهای ۲۰۰۶) و به عنوان بهترین گزینه برای این میکروروبات شناخته شد. محرکی که به موازات صفحات افقی است هر پا را بلند می کند، در حالیکه محرک به طور عمودی نسبت به صفحه افقی قرار گرفته و بخش جز را حول پای ایستاده می چرخاند. نوک هر محرک سگدست دوگانه به مکانیزم چهار میله ای متصل است با استفاده از پروسه میکروساختار کامپوزیت هوشمند (وود و همکارانش ۲۰۰۸) که در بخش ۴ توضیح داده شده است. این مسئله به مکانیزم های چهار میله ای به ازای هر بخش می انجامد. مکانیزم های چهار میله ای نیروی محرک را به یک گشتاور تبدیل کرده، یا زمانیکه هیچ باری وارد نمی شود، یک محرک خطی جا به جایی را وارد حرکت چرخشی می کند. که

در شکل ۱ نشان داده شده است. حرکت و موقعیت صفحه افقی چهار میله را برای هر پا کنترل می کند، چرا که هر پا به طور عمودی وصل شده تا مکانیزمی را ایجاد کند تا حرکت هلالی آرامی را به وجود آورد. دو مکانیزم برای هر بخش وجود دارد، یکی در مفصل شانه ها (شکل ۲). طبیعت بخش بخش میکروروباتها و حرکت نسبی بین بخشها به محرکها اجازه نمی دهد تا به بدنه مرکزی سنگینی کند مانند دیگر میکروروباتهای متحرک (بایخ و وود ۲۰۰۹، هوور و همکارانش ۲۰۰۸) که به طراحی دقیق در اینجا نیاز می باشد.

هر محرک سگدست دوگانه یک زمینه ی الکتریکی، ولتاژ بایاس و یک سیگنال درایو دارد. با دو محرک سگدست دوگانه به ازای هر بخش، یکی برای کنترل وضعیت و یکی برای چرخاندن بخش حول پای ثابت، دو سیگنال درایو لازم است.

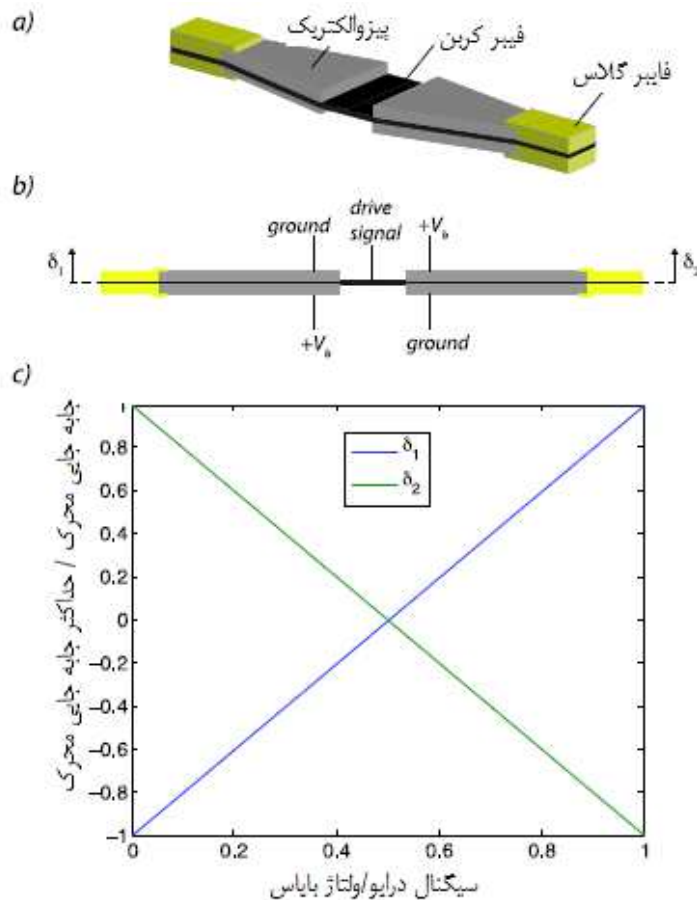


شکل ۱. دیاگرام نشان می دهد که چگونه نیروی محرک به گشتاور تبدیل شده با استفاده از یک مکانیزم چهار میله ای. نقطه چینها چرخش مکانیزم چهار میله ای را نشان می دهد



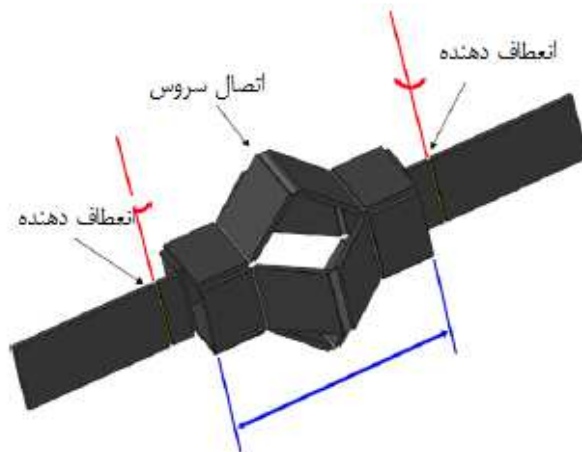
شکل ۲ (رنگ آذالین) مدل سالیید برای یک بخش که نشانگر حرکت محرک کنترل وضعیت و چهار میله همراه آن به رنگ آبی و محرک متحرک صفحه افقی همراه چهار میله به رنگ قرمز

محرکهای سگدست دوگانه زمین و سیگنالهای بایاس مشترکی دارند. دو طرف هر محرک سگدست دوگانه به طور مخالف قطب دارند، که در دیاگرام سیم کشی شکل ۳ (a-b) نشان داده شده است. این بدان معناست که تنها با استفاده از یک سیگنال درایو به ازای هر محرک سگدست دوگانه، هر پایه بلند شده در حالیکه پای مخالف بر روی زمین قرار می گیرد. به علاوه، قطب جهت مخالف محرک سگدست دوگانه است که چرخش بخش را کنترل می کند تا به بخش اجازه دهد بچرخد در حول پای ثابت در حالیکه پای مخالف را آماده ی مرحله بعد نگه می دارد. نتیجه این قطبیت مخالف در شکل ۳ (c) نشان داده شده است که با طرح یک نقص نرمال شده در هر طرف یک محرک سگدست دوگانه می باشد و به عنوان تابعی از سیگنال درایو نرمالیزه شده است.

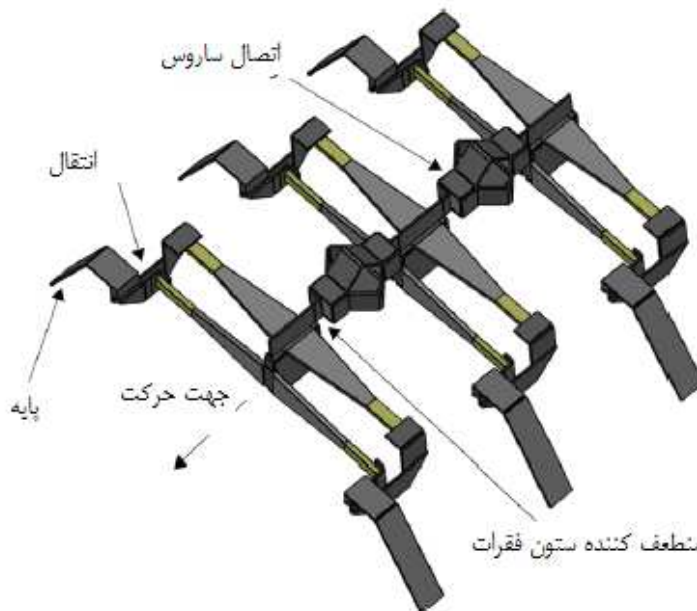


شکل ۳ (a) یک رندر سه بعدی از یک جفت محرک سگدست دوگانه با (b) یک دیاگرام سیم کشی که قطبهای مخالف هر دو طرف را نشان می دهند برای محرک و (c) یک طرح نشان دهنده هر دو جا به جایی نوک محرک نرمالیزه شده با سیگنال درایو نرمالیزه شده تا ولتاژ بایاس حداکثر

چندین بخش با یک ستون فقرات انعطاف پذیر وصل شده اند تا یک میکروروبات قطعه ای را تشکیل دهند. ستون فقرات یک ساختار پیوسته است که از اتصالات ساروس و خمیدگی ها و افزایش طول میکروروباتها است، که به بالای هر قطعه در پایه ی محرک ها وصل شده اند. طرح ستون فقرات می تواند شامل هر تعداد از اتصالات چرخشی و منشوری و فنرهاست. در اینجا، مدلی که به ۲ درجه آزادی به ازای هر قطعه می انجامد، استفاده شده است. دو منعطف کننده، که مانند فنرهای پیچشی رفتار می کنند و اتصال ساروس که فشرده شده و به طور خطی باز می شود، هر قطعه را از هم جدا می کند. اتصال ساروس ستون فقرات را پشتیبانی می کند با کاهش امکان چرخشهای خارج از محور در حالیکه به ستون فقرات اجازه می دهند که فشرده و باز شوند. خمیدگی ها در اتصال ساروس اصولاً در زاویه تعادل خم می شوند تا امکان فشردگی و بازشدگی اتصال ساروس را بدهند و در نتیجه، هر دو نیروی بازگرداننده مثبت و منفی بر بخشهای مجاور زمانیکه دینامیک بدنه را در نظر میگیریم. جهت فشردگی اتصال ساروس و محورهای چرخش انحناهای جانبی در شکل ۴ نشان داده شده است و یک مدل سالید ربات به قطعه ای مونتاژ شده با ستون فقرات ادغامی در شکل ۵ نشان داده شده است. سه قطعه برای این طرح انتخاب شدند تا به تعبیه قدم برداشتن تراپید کمک کند در حالیکه ثبات استاتیک را حفظ می کند، هرچند، کار در اینجا به راحتی برای ایجاد میکروروبات با قطعات زیاد استفاده می شود.



شکل ۴. (رنگ آذالین) ارتباطات میانی ستون فقرات نشانگر قطعات و اتصال آنها. محورهای چرخش منعطف کننده ها به رنگ قرمز و جهت فشردگی اتصال ساروس به رنگ آبی



شکل ۵. رندر یک ربات هزارپای سه قطعه ای نشانگر اجزای کلیدی

۳. مدل دینامیکی

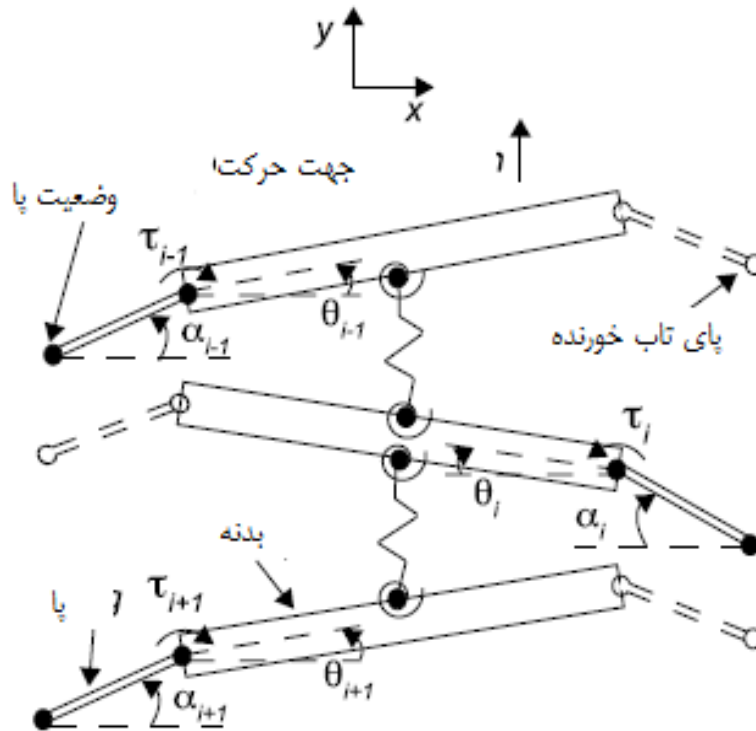
در حالیکه کینماتیک طراحی اولیه را برای میکروروباتهای چند قطعه ای راهنمایی کرد (هافمن و وود ۲۰۱۰)، برای پیش بینی گشتاور لازم برای انتقال پیشرونده ثابت، یک مدل دینامیکی لازم است. طراحی بدون محرک همچنین باعث می شود که مدل کینماتیک کافی نباشد تا به طور کامل حرکت را توصیف کنیم. یک مدل دینامیکی سیستم می تواند نه تنها برای پیش بینی اثرات ترکیب محرک و دینامیک های بدنه استفاده شود بلکه برای تشخیص پارامترهای

بدنه منطقی و طرحهای کنترلی مطابق عملکرد مورد نظر ربات استفاده شود، چنانچه مطابق تابع هزینه مناسب باشد. برای پیش بینی حرکت، یک مدل دینامیکی ساخته شد برای ربات چند قطعه ای با طراحی جزئی که در بخش ۲ توضیح داده شد. برای توصیف کامل دینامیک سیستم، لازم است که دینامیک هر قطعه را جداگانه در نظر بگیریم و ارتباطات بین قطعه های جانبی را مشمول کنیم.

مدلسازی میکروروباتهایی که با استفاده از SCM ساخته شده اند، که از منعطف کننده های کوتاه به جای اتصالات پین استفاده می کند و محرک های خطی به جای موتورهای چرخشی کامل، از مدلسازی رباتهای مقیاس ماکرو متفاوت است. دیاگرام نشانگر کینماتیک بدنه کلی در صفحه افقی در شکل ۶ نشان داده شده است. حرکت صفحه افقی دکوپل شده فرض شده از صفحه عمودی، یا بلند شدن پا، حرکت. کنترل وضعیت به صفحه افقی (حرکتش) مرتبط است، به سادگی ورودی باینری، که وضعیت ایستایی و تاب خوردن پا را برای هر قطعه دیکته می کند و به طور لحظه ای فرض می شود. هر قطعه دو درجه آزادی در صفحه افقی دارد. اینها چرخش پا، α_i و چرخش بدنه θ_i نسبت به محور عمود بر جهت حرکت ربات است. پا می تواند نسبت به زمین بچرخد اما تبدیل نمی کند. جرم m_i هر قطعه در بدنه متمرکز می شود، که اینرسی دارد I_i . پاها و ستون فقرات بدون جرم فرض شده اند. ربات بدون حرکت است و گشتاور ورودی τ_i در مفصل شانه وارد می شود. دو مفصل چرخشی ستون فقرات و مفصل خطی به هر قطعه اجازه می دهند تا نسبت به قطعات مجاور حرکت کنند. قطعات به طور افزایش می باشند در جهت حرکت، با جلوترین قطعه شروع می شود. سری مفصلهای بین قطعه ای نیز به ترتیب افزایش شماره بندی شده اند که با مفاصل بین دو قطعه جلویی شروع می شوند. پارامترهای بدنی هندسی مهم طول پا L_{leg} ، فاصله افقی بین پا و شانه می باشند، طول بدنه L_b به عنوان نصف طول یک قطعه در جهت حرکت یا فاصله بین وسط قطعه و منعطف کننده مجاور تعریف شده است، عرض بدنه w_b یا فاصله از مرکز جرم تا شانه ی هر قطعه و طول تعادلی اتصال ساروس l_e است. نقطه چرخش برای هر پا برچسب (x_i, y_i) دارد. به علاوه، $c_{f,i} \in [-1, 1]$ ، برای توصیف اینکه هر پا در وضعیت ثابت برای هر بخش است، می باشد. برای هر بخش، چهار متغیر وضعیت است: پا و چرخش بدنه و سرعتهای زاویه ای

روش اویلر-لاگرانژ برای فرمولبندی حرکت این سیستم استفاده شده است. انرژی های سیستم به مدلی نوشته شده است تا در میکروروبات با هر عددی از قطعات وارد شود. از آنجا که جرم و اینرسی بدنه در بدنه هر قطعه متمرکز شده است، انرژی کینتیک نیز می تواند محاسبه شود:

$$KE = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n I_{cm} \dot{\theta}_i^2 + m(\dot{x}_i^2 + \dot{y}_i^2) \quad (1)$$



شکل ۶ تصویر حرکت صفحه ای افقی یک میکروروبات سه قطعه ای

که I_{cm} اینرسی قطعه حول مرکز جرم، m که جرم قطعه و \dot{x}_i و \dot{y}_i سرعتهای پیشرونده جانبی در مرکز جرم است. انرژی کینتیک را می توان در بندهای متغیر نوشت که با جایگذاری سرعتهای خطی با توابع بدنه و پا و سرعتهای زاویه ای است، مطابق روابط زیر:

$$\dot{x}_i = -c_{f,i} L_{leg} \dot{\alpha}_i \sin \alpha_i + c_{f,i} w_b \dot{\theta}_i \sin \theta_i \quad (2)$$

$$\dot{y}_i = L_{leg} \dot{\alpha}_i \cos \alpha_i + w_b \dot{\theta}_i \cos \theta_i \quad (3)$$

انرژی کینتیک همراه حرکت محرک در مکانیزم چهار میله ای نقشه کشی شده است که در مقایسه با دیگر انرژی های سیستم قابل اغماض است و از محاسبات خارج می شود.

انرژی پتانسیل سیستم شامل انهایی می شود که در هر المان فنر ذخیره شده است. انرژی پتانسیل ذخیره شده در منعطف کننده هر مکانیزم چهار میله ای ناچیز است چرا که در نتیجه مقدار کوچک چرخش این منعطف کننده هاست. به علت طبیعت ساخت و منعطف کنندگان استفاده شده برای ایجاد مفاصل چرخشی، اتصالات ستون فقرات خطی و چرخشی به شکل فنرهای خطی و پیچشی، با استفاده از تخمین بدنه شبه صلب، مدلسازی شده اند. انرژی هر فنر به شکل زیر محاسبه می شود:

$$PE_s = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^{n-1} k_l \Delta l_i^2 + k_t (\gamma_{a,i}^2 + \gamma_{p,i}^2) \quad (4)$$

که k_l ثابت فنر برای اتصال ساروس است، که به طور خطی فرض شده، k_t ثابت فنر پیچشی از اتصالات چرخشی ستون فقرات است، Δl_i اتصال ساروس فشرده مرتبط با متغیرهای وضعیت است:

$$\Delta l_i = S_i - l_{eq} \quad (5)$$

که l_{eq} طول تعادلی اتصال ساروس است و

$$S_i = \sqrt{(x_{p,i} - x_{a,i+1})^2 + (y_{p,i} - y_{a,i+1})^2} \quad (6)$$

γ_a و γ_p زوایای فنر چرخشی جلویی و آخری برای هر قطعه می باشند. می توان آنها را به شکل متغیر زیر نوشت:

$$\gamma_{a,i} = c_{f,i} \theta_i + \sin^{-1} \frac{x_{p,i-1} - x_{a,i}}{S_i} \quad (7)$$

$$\gamma_{p,i} = c_{f,i} \theta_i - \sin^{-1} \frac{x_{a,i+1} - x_{p,i}}{S_i} \quad (8)$$

$x_{a,i}$ ، $y_{a,i}$ ، $x_{p,i}$ و $y_{p,i}$ مختصات X و Y اولین و آخرین منعطف کننده هر قطعه هستند. می توان آنها را به شکل متغیر همراه قطعه جانبی نوشت اما در اینجا برای اختصار کار بیان نشده اند.

منبع دیگر ذخیره انرژی محرک پیزوالکتریک است. محرک می تواند به عنوان فنر k_a و دمپر b_a به موازات منبع نیرو مدلسازی شود. نقص محرک به طور مستقیم به وضعیت متغیرها با نسبت انتقال خطی بستگی دارد، $T_h = \frac{1}{L_{3,h}}$ ، که

$L_{3,h}$ لینک سوم در انتقال است که در شکل ۱ نشان داده شده است. انرژی پتانسیل محرک:

$$PE_a = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n k_a \frac{1}{T_h^2} (\alpha_i - \theta_i)^2 \quad (9)$$

به علاوه انرژی کینتیک و پتانسیل سیستم، انتقال انرژی خارجی در عبارات اتلافی نوشته می شود که در اثر اصطکاک پای نقطه چرخش است و از محرک دمپ می شود و انرژی ورودی همراه گشتاور توسط محرک تامین می شود. دمپینگ منعطف کننده فرض شده که قابل اغماض است چرا که توسط تجهیز مشابه نشان داده شده است (استلتر و همکارانش ۲۰۰۶). کار انجام شده توسط فرمول زیر است:

$$W = \sum_{i=1}^n \tau_i (\alpha_i - \theta_i) - b_a \frac{1}{T_h^2} (\alpha_i - \theta_i) (\dot{\alpha}_i - \dot{\theta}_i) - \tau_f \alpha_i \quad (10)$$

گشتاور ورودی τ_i از محرک است که وضعیت وابسته محرک را انکار می کند که به طور متناسبی در کاربرد یک ثابت فنر محرک منعکس شده است. τ_i می تواند با استفاده از نیروی محرک و نسبت انتقال محاسبه شود. b_a ضریب دمپینگ محرک است و τ_f اصطکاک در اثر چرخش یا نسبت به زمین است. برای این انرژی ها لاگرانژ به شکل زیر نوشته می شود:

$$L = KE - PE_a - PE_s \quad (11)$$

و روش اویلر-لاگرانژ معادلات اشتقاقی می تواند برای پیدا کردن معادلات حرکت استفاده شود:

$$\frac{\delta L}{\delta q_i} - \frac{d}{dt} \frac{\delta L}{\delta \dot{q}_i} = - \frac{\delta W}{\delta q_i} \quad (12)$$

معادلات مشتقی به شکل عددی زیر حل می شود.

به انبساط معادلات حرکتی میکروروبات در هر مرحله، گذار بین وضعیت ثابت و تاب می باشد. تصادف بین پاهای تاب خورنده و زمین به شکل غیر الاستیک و لحظه ای مدلسازی شده اند. روش مدلسازی تصادفات سیستم های چند لینکی از (چن و تدرایک ۲۰۰۷) برداشت شده بود. با استفاده از ایده ی ذخیره ممان برای پا و بدنه حول پا و بدنه حول مفصل شانه دو معادله با دو مجهول می دهد. به علت بی وزنی پا، به ذخیره سرعت خطی در مرکز جرم کاهش می یابد. نوشتن این به عبارات متغیرهای وضعیت، هرچند، به تغییرات مرحله ای در پا و بدنه سرعتهای زاویه ای در اثر تغییرات در بلند شدن و زاویه ی تماس پا می انجامد. این تفاوت در اثر کوپلینگ خاص بین دو پای هر قطعه است. با استفاده از سیگنال درایو مشابه برای کنترل حرکت هر پا در صفحه افقی باعث می شود که گشتاور در شانه وارد

شده و به وضعیت پا متصل باشد در حالیکه یک جا به جایی در شانه متصل به پای تاب خورنده توصیف شده است. این نتیجه پای بدون جرم است، که باری را در پای تاب خورنده ایجاد نمی کند، تا بتواند به آزادی بچرخد.

سرعت‌های زاویه ای پا و بدنه بعد از تماس به شکل زیر است:

$$\dot{\alpha}_i^+ = \frac{-\dot{\alpha}_i^-}{1 - \frac{\sin \theta_i^+ \cos \alpha_i^+}{\sin \alpha_i^+ \cos \theta_i^+}} \left[\frac{\sin \theta_i^+ \cos \alpha_i^-}{\sin \alpha_i^+ \cos \theta_i^+} + \frac{\sin \alpha_i^-}{\sin \alpha_i^+} \right] \quad (13)$$

and

$$\begin{aligned} \dot{\theta}_i^+ = & \frac{-L_{leg} \cos \alpha_i^+}{w_b \cos \theta_i^+} \dot{\alpha}_i^+ + L_{leg} \frac{\cos \alpha_i^-}{w_b \cos \theta_i^+} \dot{\alpha}_i^- \\ & + \frac{\cos \theta_i^-}{\cos \theta_i^+} \dot{\theta}_i^- \end{aligned} \quad (14)$$

زاویه تماس پا α_i^+ است که :

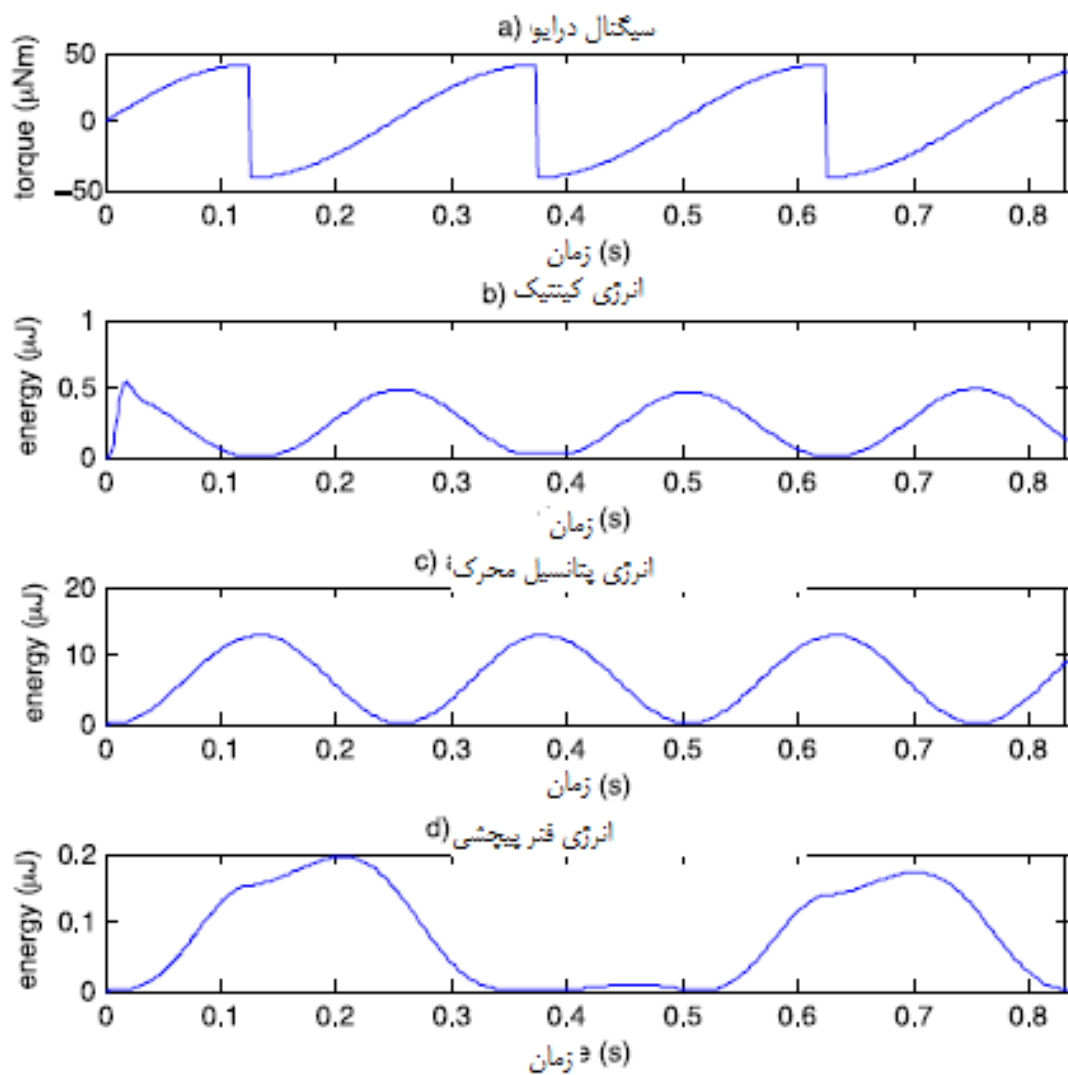
$$\alpha_i^+ = -(\theta_i^- + \beta_{max}) \quad (15)$$

که β_{max} مقدار چرخش تاب پا در اثر کوپلینگ بین پای ثابت و تاب خورنده است و می تواند با استفاده از کینماتیک به شرح زیر محاسبه شود:

$$\beta_{max} = \delta_{max} T_h \quad (16)$$

که δ_{max} حداکثر نقص محرک محاسبه شده با استفاده از معادلات وود و همکارانش (۲۰۰۵) است.

طبیعت هایبرد-دینامیکی غیرخطی سیستم پیدا کردن یک راه حل تحلیلی برای معادله مشتقی که حرکت سیستم را توصیف کند، غیر ممکن می سازد. به جای آن، حرکت با استفاده از متلب و یک حل کننده معادله مشتقی عددی، ode-45 شبیه سازی شده است. شبیه سازی حرکت ربات، متغیرهای مرتبط طرحی، از جمله زاویه چرخش و سرعت زاویه ای برای هر قطعه، انرژی سیستم و زوایای خمش منعطف کننده ها و فشردگی اتصالی ساروس و راه اندازی حرکت را پیش بینی می کند.



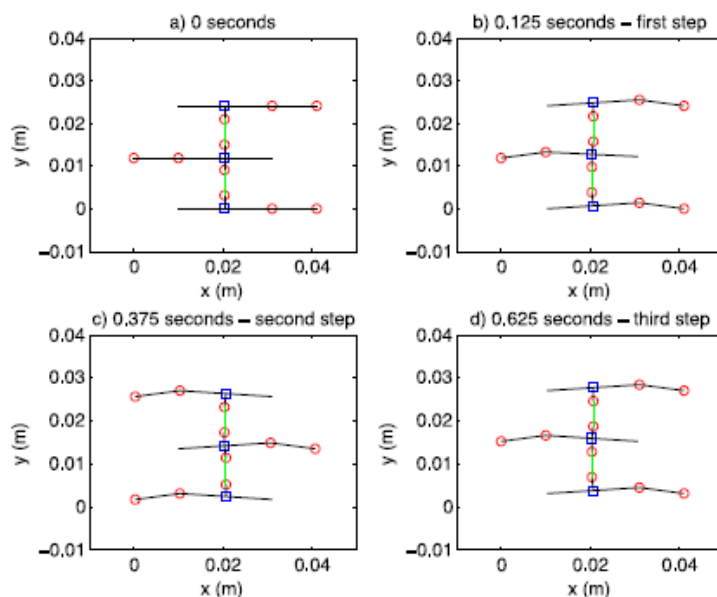
جدول ۱ پارامترهای میکروروبات هزاریا

L_{leg} (mm)	10
L_b (mm)	3
w_b (mm)	10
l_{eq} (mm)	4
L_3 (μm)	480
k_a (N/m)	860
k_l (N/m)	2.9
k_t ($\mu\text{Nm/rad}$)	7.6
$\tau_{i,max}$ (μNm)	41.4
τ_f (μNm)	1×10^{-2}
b_a (Ns/m)	4.3
m (mg)	250
I (mg m^2)	3.7×10^{-3}

پارامترهای لازم برای شبیه سازی در جدول ۱ آمده است. اینها بر اساس میکروروباتهای سه قطعه ای توصیف شده در بخش ۵ است.

با استفاده از این پارامترها و یک سیگنال درایو سینوسی در ۲هرتز، مطابق شکل ۷ الف، حرکت ربات برای سه قدم و نیم شبیه سازی شده بود، که از حالت خنثی شروع شده بود. سیگنال درایو برای هر قطعه ۱۸۰ درجه خارج از فاز قطعات جانبی است، که حرکتهای تراپاد متغیر ثابت هگزپاد را ایجاد می کند، و در حالیکه سیگنال درایو در شکل ۷ الف نشان می دهد، در زمانهای تعویض پا غیر پیوسته به نظر می آید، این تنها اثری از نحوه تعریف گشتاور حول پای ثابت است. ولتاژ ورودی محرکها پیوسته است. عبارات انرژی حاکم در شکل ۷ نشان داده شده است و شامل انرژی کینتیک (شکل ۷ ب)، انرژی پتانسیل محرک (شکل ۷ ج) و انرژی فنر پیچشی (شکل ۷ د) می شود. عبارات انرژی باقی مانده در مقدارهای 10^{-10} J است و اثر کمتری بر حرکت ربات برای حرکات تراپاد متغیر داشته باشد. برای حرکات مختلف و سطوح مختلف، عبارات انرژی حاکم می تواند تغییر کند. ستون فقرات خطی (انرژی پتانسیل آنها) خیلی کوچکتر از انرژی پتانسیل ستون فقرات پیچشی است که در اثر سفتی زیاد اتصال ساروس می باشد. برای این طراحی خاص، فشردگی فنر خیلی کمی است و فنر سفت بیشتر شبیه یک محدودیت کینماتیک بیشتر از اعضای سازگار عمل می کند. چارچوب یک حرکت در شکل ۸ نشان داده شده است که برای سه قدم می باشد. دایره ها مفاصل چرخشی، مربع ها مرکز جرم هر قطعه و خطوط سبز قطعات متصل را برای اتصال ساروس نشان می دهد. در حالیکه مدل دینامیکی تنها صفحه افقی را پوشش می دهد و دکوپلاژ از صفحه عمودی را فرض می کند، در نظر گرفتن توضیح کوتاهی از کینماتیک برای صفحه عمودی مهم است. با استفاده از مشخصات محرک و معادلات از (وود و همکارانش ۲۰۰۵)، جابه جایی نوک از محرک ها که مکانیزم قدم برداری را کنترل می کنند می تواند محاسبه شود. این محرکها به عنوان منبع جابه جایی مدلسازی شود تا زاویه حدودی تاب خوردن پای η_i محاسبه شود که با استفاده از کینماتیک است، هرچند یک مدل دقیق تر ممکن است آنها را به عنوان منبع نیرو به موازات فنر نشان دهد.

تکامل ۸ چارچوب های حرکتی یک تشیبه سازی



کینماتیک ها زاویه تاب پا را پیش بینی می کند:

$$\eta_i = \delta_{s,i} T_v \quad (17)$$

که $\delta_{s,i}$ جابه جایی محرک در کنترل وضعیت و T_v نسبت انتقال مکانیزم چهار میله ای اتصالی است یا $\frac{1}{L_{3,v}}$. ارتفاعی که پا می تواند بلند شود را می توان با استفاده از این زاویه و طول پا $L_{leg,v}$ محاسبه کرد. برای میکروروبات نشان داده شده در بخش ۵، ارتفاع بلند شدن پا ۲٫۵ میلیمتر است.

۴. ساخت

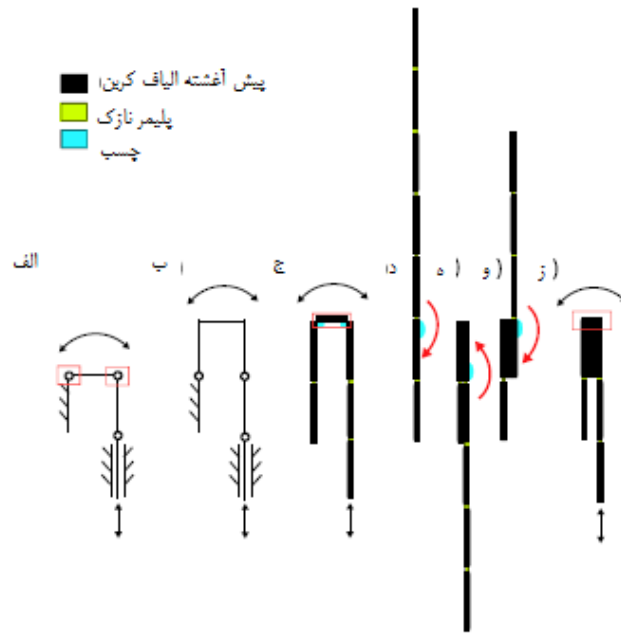
میکروروبات با استفاده از میکروساختارهای کامپوزیتی هوشمند (SCM) ساخته شده است (وود و همکارانش ۲۰۰۸). این پروسه شامل فشرده سازی مواد انعطاف پذیر بین یک ماده کامپوزیتی لیزری-میکروماشین کاری شده صلب است، در این مورد، پیش آغشته الیاف کربن، برای ایجاد یک سری از لینک های جدا شده توسط منعطف کننده هاست. این مسئله تحت مکش برای وصل کردن لایه ها درست می شود. الگوی دو بعدی لینک ها و منعطف کننده پس می تواند تا شده و با استفاده از یک چسب برای اتصال صلب برخی از منعطف کننده ها در زوایای متغیر، یک ساختار ۳ بعدی

شکل می دهد. به طور مشابه، بیومورف های پیزوالکتریک از لایه بندی مواد پیزوالکتریک، کامپوزیت فیبری و لایه های فایبر گلاس درست شده و تحت مکش ترمیم می شوند (وود و همکارانش ۲۰۰۵)

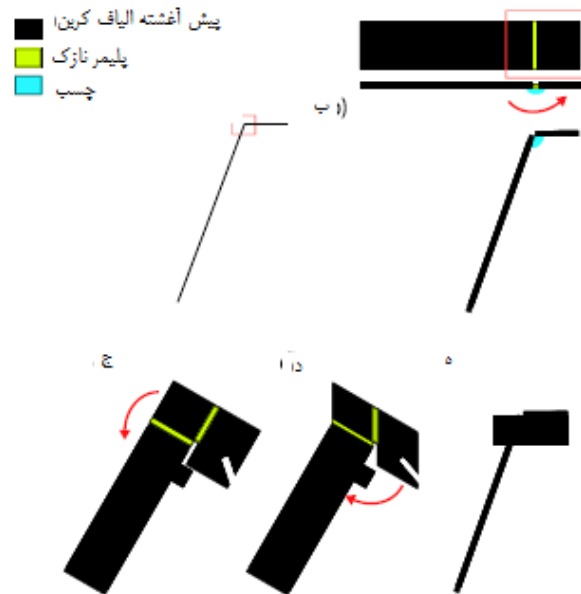
هر قطعه شامل ۷ جز ساخته شده توسط پروسه SCM می باشد: دو محرک، دو انتقال دهنده؛ دو پا، و یک پایه برای سوار کردن محرک ها. ستون فقرات از لینک های ساروس و منعطف کننده های تکی ساخته شده است. از آنجا که مرحله آخر در پروسه SCM، یا ایجاد ساختارهای سه بعدی از اجزای دو بعدی، یک پروسه دستی است، روشهای خاصی برای راه اندازی تا کردن، افزایش بازده و کاهش چشمگیر زمان ساخت انجام می شود. این مرحله ای برای ساخت بسته ای لازم برای ایجاد موثر ساختارهای پای زیاد است. انتقال، که دو مکانیزم چهار میله ای به طور عمودی است، پیچیده ترین جز است. برای ایجاد انتقال با استفاده از تنها از یک جز و داشتن فیبرهای کامپوزیتی در طول جهت بارگذاری برای هر مکانیزم چهار میله ای، خطوط برشی ۴۵ درجه و تاها ۱۸۰ درجه استفاده شد. یک روش ثانویه که استفاده می شود در تا کردن انتقال، استفاده از سه تای ۱۸۰ درجه برای شبیه سازی دو تای ۹۰ درجه است. این روش در شکل ۹ نشان داده شده است. دو اتصال نشان داده شده در شکل ۹ الف می توانند نیرو را به طور موثرتر در تنظیم خنثی شکل ۹ ب نشان دهند، هرچند، نیازمند دو تای ۹۰ درجه سخت و یک طول لینک به شکل ۹ ج است. برای کاهش مشکلات همراه لایه لایه شدگی، تاشدگی غیر دقیق و نشتی چسب در اتصالات که منعطف باقی می ماند، سه تای ۱۸۰ درجه، که می تواند کاملاً دقیق و بدون سختی استفاده شوند (شکل ۹ د-و). این مسئله نسبت انتقال را یک ضخامت چند لایه ای کامپوزیتی می کند (شکل ۹ ز) در حالیکه، برخلاف انتقال، پاها فقط نیازمند یک تا هستند، در آن زاویه است که ایجاد بدون ارجاع زاویه سخت است (شکل ۱۰ الف-ب) برای حل این مشکل، یک صفحه اضافی ماشین کاری شده با زاویه تای مورد نظر پا به سمت پای نزدیک خط تا اضافه می شود. این می تواند جمع شود تا پایه پا را برسد و به عنوان قالب برای زاویه تای دقیق پا در آید (شکل ۱۰ ج-ه)

چالش ساختی دیگر، سیم کشی است، چرا که سیمهای گسسته غیر قابل اعتماد و وقت گیر هستند تا تعبیه شوند و می توانند با حرکت ناشی از میکروروبات مشکل ایجاد کنند. مدارهای فلکس طراحی شده، ساخته شده و برای محرکها

ترمیم شده اند تا پروسه را اتوماتیک به صورت سیم کشی داخلی برای هر بخش کنند. آنها با استفاده از پروسه لیتوگرافی ساخته می شوند تا مس را از صفحه پلیمر مس دار انعطاف پذیر جدا کنند.



شکل ۹ برای انجام تا زدن الف وب انتقال به عنوان جایگزین تا ج دو تای ۹۰ درجه و د - ز سه تای ۱۸۰ درجه استفاده شده اند



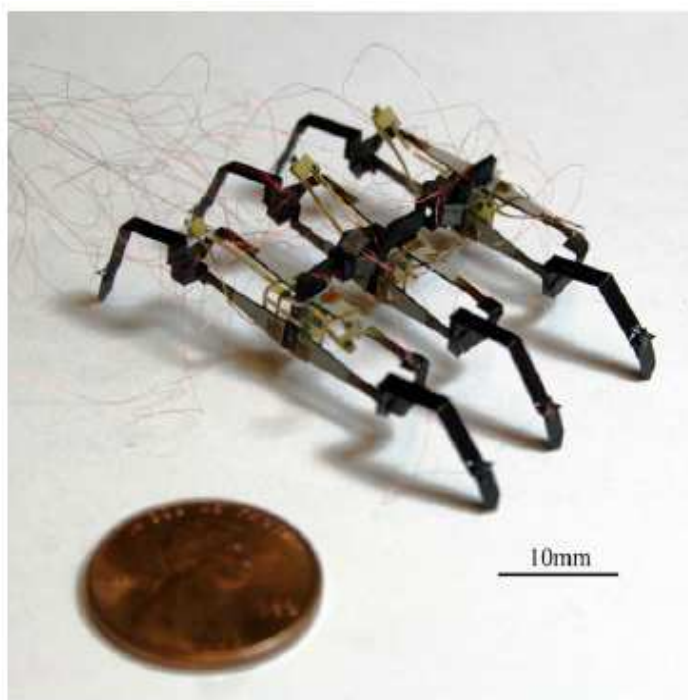
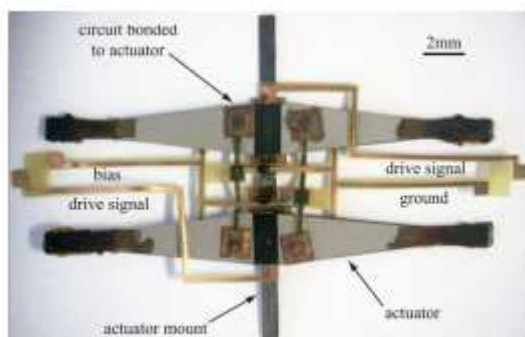
شکل ۱۰، الف - ب برای ایجاد تایی دقیق برای پایه، که بایستی زاویه خارجی داشته باشد، ج - ه گره ها و صفحات برای تطبیق

مرحله در معرض قرار گرفتن با استفاده از یک لیزر حالت جامد دیود-پمپی (DPSS) انجام می شود. مدارهای فلکس لایه هایی بین محرکها و مربعهای برشی کوچک از یک کامپوزیت تعبیه شده با اپوکسی که در سمت معکوس مدار فلکس است، می باشند. این لایه بندی محرک ها، مدارهای فلکس و پیش آغستگی کامپوزیت تحت فشار و چسبهای کامپوزیت با مدار فلکس به محرکها ترمیم می شود. در مرحله مشابه، سوار محرک به محرکها وصل شده که با استفاده از یک کامپوزیت ماشین کاری شده ی پیش آغشته لایه بندی شده بین محرکها و سوار محرک است. مدار اتصالی زمین ها برای هر محرک در یک بخش مانند سیگنالهای ولتاژ بالا است. نیازمند مدار فلکس است که زیر صفحات پیزوالکتریک را به سمت دیگر هر محرک به بالای صفحات طرف مخالف محرکها متصل کند. برای شبیه سازی مدارهای فلکس دو طرفه، دو رد روی مدار فلکس اصلی لحیم کاری می شوند و به بالای محرکها وصل می شوند. سیم ها به پدهای اتصالی لحیم می شوند برای هر سیگنال و به پینهایی که با منبع برق خارجی در تماس هستند وصل می شوند. مدارهای فلکس به محرکها در شکل ۱۱ وصل شده، قبل از تا شدن در قطعه سه بعدی. این شکل نشان می دهد که ردهای مس به محرکها وصل هستند. مربعهای کوچک در بالای هر محرک مربعهای پیش آغشته کامپوزیتی بر پشت هر پد اتصالی است و برای محرک ترمیم یافته اند. این ردها به سمت پایین در شکل می باشند، در حالیکه ردهای اطراف سمت مخالف محرک به سمت بالا هستند و به محرک به شکل مشابه وصل می شوند.

با اتصال محرکها به مدار فلکس، محرکها به طور عمودی تا شده به هم هستند و از محرک اتصالی برای نگه داشتن آنها به شکل صلب در جا استفاده می کنند. دو انتقال و دو پایه به هر قطعه چسبانده شده اند و قطعه سپس به ستون فقرات چسبانده شده است. این مرحله آخر با استفاده از ترموپلاستیک انجام شده است، که به یک قطعه شکسته به راحتی اجازه می دهد تا با حرارت دهی اتصال به ستون فقرات برداشته شود و اتصالات لحیم باز شوند. در آخر، پا، با سه لایه کامپوزیت فیبر کربن از پیش ترمیم شده، ماشین-لیزر کاری شده و به نقطه تیز برای ایجاد چرخش پا نسبت به زمین می رسد که به زانوها چسبیده است. ربات سه قطعه ای کامل شده برای کسب نتایج تجربی در بخش ۵، در شکل ۱۲ نشان داده شده است.

نصب تجربی برای کنترل استفاده شده و حرکت ربات را که شامل یک سیستم هدف گیری Xpc (کارهای ریاضیاتی) است، می باشد. ان سیگنالهای درایو را به ۲۰ کانال دست ساز ولتاژ بالا امپلیفایر دار با یک بورد D/A می فرستد.

شکل ۱۱

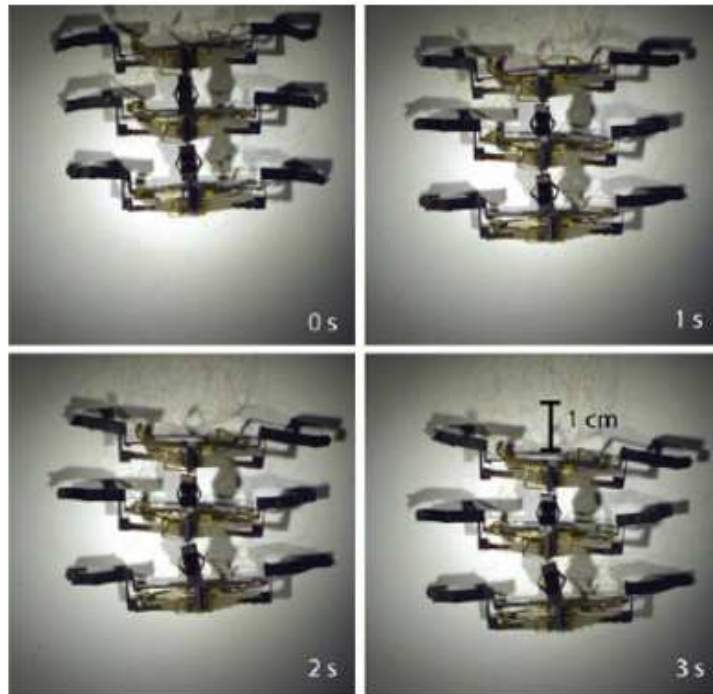


تکامل ۱۲ میکروروبات هزاریای سه قطعه ای مونتاژی

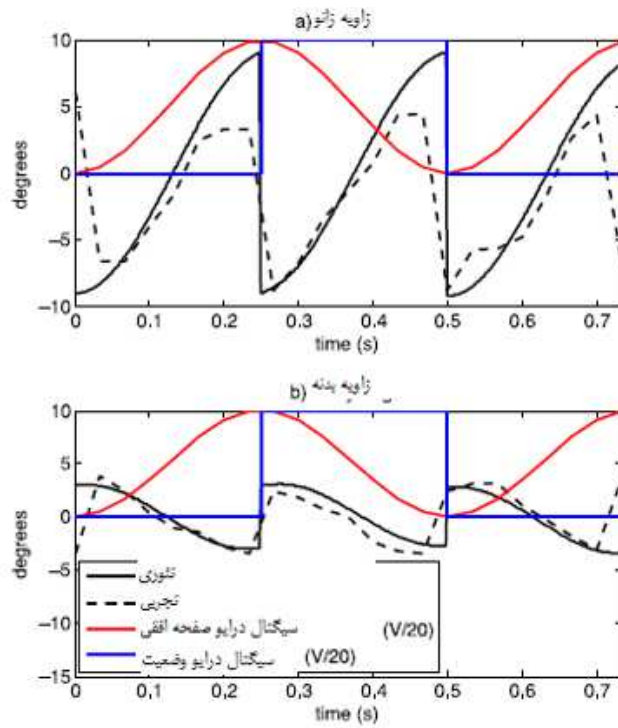
سیمهای با شعاع ۵۰ میکرومتری برای اتصال میکروروبات به منبع برق خارجی و کنترلر و داشتن اختلالات حداقل با حرکت ربات استفاده شده است. یک سیگنال درایو سینوسی با اندازه ۲۰۰ ولت برای کنترل گشتاور ناشی از مفصل

شانه در صفحه افقی و چرخش پای تابنده اعمال شده است. در حالیکه این کنترل بهینه نیست، به انتقال پیشرونده کمک می کند. کنترل وضعیت یک سیگنال اتصالی بین زمین و ولتاژ بایاس محرکها که چنانچه مدنظر است برای داشتن پا و تعویض سریع استفاده می کند. هرچند، طبیعت شکننده محرکها به یک موج مربعی اجازه نمی دهد که استفاده شود. وضعیت و پای تابنده در اوج سیگنال درایو حرکت صفحه افقی سینوسی تعویض می شوند که به گشتاور صحیح اجازه اعمال به وضعیت پا را بدهند و پای تابنده برای راه اندازی مجدد در آماده سازی مرحله بعد باشد.

راه رفتن های میکروروبات بر سطح تخت، حرکت در ۳۰ FPS با استفاده از دوربین پیکسلینک گرفته شده است. انتقال مستقیم پیشرونده موفق بود و قایمها از حرکت میکروروبات با سیگنال درایو سینوسی ۲ هرتز در شکل ۱۳ است. نرم افزار ردیابی حرکت پروآنلیست برای ردیابی نقاط حساس ربات استفاده شده بود و پا و زوایای بدنه استخراج شدند. پای تجربی و زوایای بدنه برای قطعه میانی با نتایج پیش بینی شده مدل دینامیکی با استفاده از پارامترهای تجربی در شکل ۱۴ مقایسه شدند. سیگنال درایو برای شبیه سازی نیز طرح ریزی شد. چنانچه دیده می شود، مقادیر تئوری و تجربی به نزدیکی تطابق دارند، و موثر بودن مدل دینامیکی را نشان می دهند. تغییرات در حرکت می تواند به علت کوپلینگ بین حرکت صفحه عمودی و افقی باشد که ناشی از تعویض پا به صورت غیر لحظه ای است. سیگنال درایو برای کنترل وضعیت یک موج مربعی کامل نیست اما به جای آن بین دو محدوده رمپ شده، به عنوان تغییر لحظه ای در ولتاژ که به محرک پیزوالکتریک آسیب می رساند.



شکل ۱۳. قابلهای حرکت میکروروبات هزارپای سه قطعه ای. اطلاعات جایگزین برای ویدئوی ربات را ببینید



شکل ۱۴. رنگ آبی (تئوری و تجربی) (الف) یا (ب) زوایای پدنه برای قطعه میانی ربات سه قطعه ای یا سیگنالهای درایو تشبیه سازی در سه مرحله

این بدان معناست که تغییر وضعیت کاملاً لحظه ای نیست مشابه فرض شده در مدل، که تفاوت زمانی را در شکل نشان می دهد. وضعیت قبل از جهت معکوس محرک حرکت صفحه افقی تغییر می کند. به علاوه، تفاوت بین زاویه زانوی واقعی و پیش بینی شده می تواند در اثر این کوپلینگ کم بین حرکت صفحه عمودی و افقی باشد، که در این مدل نیست. راه رفتن با نتایج سیگنال درایو ۲ هرتز در حرکت پیشرونده ربات در حدود ۱ بدنه طول در ۱۰ ثانیه است، با اندازه گام بین ۰,۷۵ و ۱ میلیمتر است. اندازه گام به گام برداشتن بستگی داشته و انتظار می رود با ارتعاشات بدنی مختلف تغییر کند. کار آینده بر مطالعات انتقالی بیشتر با سرعتهای بیشتر با استفاده از سیگنالهای درایو فرکانس بالاتر تمرکز دارد که با پهنای باند بالاتر محرکهای پیزوالکتریک ممکن می شود.

۶. نتایج و کارهای آینده

طراحی، مدل دینامیک جزئی، و ساخت یک میکروربات متحرک سه قطعه ای با ستون فقرات انعطاف پذیر ارائه شد. انتقال پیش رونده نشان داده شد. کلیت مدل دینامیکی و طراحی مدولار میکروربات به آسانی خودش را برای ایجاد یک میکروربات بسط می دهد با قطعات بیشتر که تمرکز بیشتری بر کار جاری دارد. مطالعات استحکامی می تواند در شبیه سازی و آزمایشات اجرا شوند تا تعداد بهینه پاها برای میکروربات مشخص شوند، و تاثیر زیادی بر طراحی موفق میکروربات متحرک و رباتهای زمینی در مقیاسهای بزرگتر داشته و فهم انتقال پا دار موجودات بیوزیستی را افزایش می دهد و شاید فشارهای تکاملی که به تعداد بیشتر خاص پاها می انجامد. تغییر تفاوت فاز سیگنال درایو بین قطعات مختلف می تواند حرکات مختلف ایجاد کند و مطالعه عمیق تر روشهای کنترل برای رباتهای چند پایی قابل اجرا می شود.

مدل دینامیکی گسترش یافته شامل چرخش برای اضافه کردن تطبیق پذیری بیشتر برای انواع مانورها با ربات برای اجرا و مدل کاربردی به عنوان کنترل کننده تغذیه پیشرونده است. طرحهای کنترل اضافی مودهای ارتعاشی ربات را برای ارتقای انتقال توسعه داده و تست می کند. مدل دینامیکی را می توان بسط داد تا شامل درجات آزادی تحریک شده در ستون فقرات هر دو صفحات افقی و عمودی باشد. بالارفتن از سطوح عمودی و خمیدگی نیز هدف این

میکروروبات می باشد. در حالیکه مدل دینامیکی برای حرکت صفحه افقی در اینجا ارائه شده و برای بهینه سازی مفید است و سطوح افقی را کنترل می کند، یک مدل صفحه عمودی و اندازه های تجربی نیروهای زمینی می تواند در بالا رفتن و طراحی مکانیزم های چسبنده کمک کند.

مدارهای فلکس ادغامی یک موفقیت بزرگ در روشهای ساخت بسته ای بود همراه میکروروباتهای متحرک چندین پای، هرچند، روشهای ساخت بسته ای زیادی برای اتوماتیک ساختن بیشتر ساختار میکروروباتها خواسته شده است. قطعات مدولار تکرار شده که این ربات را تشکیل می دهند، به آن اجازه می دهند که پلاتفرم ایده آل برای القای ساخت بسته ای باشند. یک کنترل کننده روی مدار و منبع برق نیز به هر قطعه اضافه می شوند، دنبال کردن کار بر روی الکترونیک مقیاس کوچک در کارپلسون و همکارانش ۲۰۰۹ ارائه شده است.

در حالیکه این میکروروبات به عنوان الهامی برای تحقیقات مرتبط با ساخت ، کنترل، بالا رفتن و مدلسازی، کاملا اتوماتیک، می باشد، همچنین توانایی استفاده برای کاربردهای رباتیکی توزیعی، عملیات جستجو و نجات، چرخش در محیطهای خطرناک و بازرسی را دارد.

References

- Anderson, B., Shultz, J., & Jayne, B. (1995). Axial kinematics and muscle activity during terrestrial locomotion of the centipede *Scolopendra heros*. *J. Exp. Biol.*, 198(5), 1185–1195.
- Baisch, A., & Wood, R. (2009). Design and fabrication of the Harvard ambulatory microrobot. In *14th int. symp. of robotics research*.
- Birkmeyer, P., Peterson, K., & Fearing, R. (2009). DASH: a dynamic 16g hexapedal robot. In *Proc. IEEE/RSJ international conference on intelligent robots and systems*.
- Chen, V., & Tedrake, R. (2007). *Passive dynamic walking with knees: a point foot model*. Massachusetts Institute of Technology.
- Edgecombe, G., & Giribet, G. (2006). Evolutionary biology of centipedes (Myriapoda: Chilopoda). *The Annual Review of Entomology*, 52, 151–170.
- Full, R., & Tu, M. (1991). Mechanics of a rapid running insect: two-, four- and six-legged locomotion. *Journal of Experimental Biology*, 156, 215–231.
- Hoffman, K., & Wood, R. (2010). Towards a multi-segment ambulatory microrobot. In *Proc. IEEE international conference on robotics and automation*.
- Holmes, P., Full, R., Koditschek, D., & Guckenheimer, J. (2006). The dynamics of legged locomotion: models, analyses, and challenges. *Dynamics*, 48(2), 207–304.
- Hoover, A., Steltz, E., & Fearing, R. (2008). RoACH: An autonomous 2.4 g crawling hexapod robot. In *IEEE/RSJ international conference on intelligent robots and systems*, pp. 26–33.
- Jimenez, B., & Ijspeert, A. (2007). *Centipede robot locomotion*.
- Karpelson, M., Wei, G. Y., & Wood, R. (2009). Milligram-scale high-voltage power electronics for piezoelectric microrobots. In *IEEE international conference on robotics and automation*.
- Lobontiu, N., Goldfarb, M., & Garcia, E. (2001). A piezoelectric-driven inchworm locomotion device. *Mechanism and Machine Theory*, 36(4), 425–443.
- Manton, S., & Harding, M. (1952). The evolution of Arthropodan locomotory mechanisms—Part 3. The locomotion of the Chilopoda and Pauropoda. *Journal of the Linnean Society of London Zoology*, 42(284), 118–167.
- Matthey, L., Righetti, L., & Ijspeert, A. (2008). Experimental study of limit cycle and chaotic controllers for the locomotion of centipede robots. In *IEEE/RSJ international conference on intelligent robots and systems*, pp. 1860–1865.

- Nohara, B., & Nishizawa, T. (2005). An optimal working function based on the energetic cost for myriapod robot systems: how many legs are optimal for a centipede? *Journal of Vibration and Control*, 11(10), 1235.
- Sahai, R., Avadhanula, S., Groff, R., Steltz, E., Wood, R., & Fearing, R. (2006). Towards a 3g crawling robot through the integration of microrobot technologies. In *Proc. IEEE international conference on robotics and automation*.
- Sfakiotakis, M., & Tsakiris, D. (2009). Undulatory and pedundulatory robotic locomotion via direct and retrograde body waves. In *IEEE international conference on robotics and automation*, pp. 3457–3463.
- Steltz, E., Seeman, M., Avadhanula, S., & Fearing, R. (2006). Power electronics design choice for piezoelectric microrobots. In *IEEE/RSJ international conference on intelligent robots and systems*, pp. 1322–1328.
- Wood, R., Steltz, E., & Fearing, R. (2005). Optimal energy density piezoelectric bending actuators. *Sensors & Actuators: A Physical*, 119(2), 476–488.
- Wood, R., Avadhanula, S., Sahai, R., Steltz, E., & Fearing, R. (2008). Microrobot design using fiber reinforced composites. *Journal of Mechanical Design*, 130(5), 052,304.



Katie L. Hoffman is a Ph.D. candidate in the Microrobotics Lab at the Harvard University School of Engineering and Applied Sciences. She obtained her undergraduate degree in mechanical engineering from Bucknell University in 2008. Her current research interests include mechanical design, fabrication, and modeling of biologically-inspired ambulatory microrobots.



Robert J. Wood is an associate professor at the Harvard University School of Engineering and Applied Sciences, a core member of the Wyss Institute for Biologically Inspired Engineering, and PI of the Harvard Microrobotics Lab. He obtained his Ph.D. in electrical engineering from the University of California, Berkeley in 2004. His current research interests involve the creation of biologically-inspired aerial and ambulatory microrobots, control of under-actuated, computationally-limited dynamical systems, and decentralized control of multi-agent systems.

این مقاله، از سری مقالات ترجمه شده رایگان سایت ترجمه فا میباشد که با فرمت PDF در اختیار شما عزیزان قرار گرفته است. در صورت تمایل میتوانید با کلیک بر روی دکمه های زیر از سایر مقالات نیز استفاده نمایید:

لیست مقالات ترجمه شده ✓

لیست مقالات ترجمه شده رایگان ✓

لیست جدیدترین مقالات انگلیسی ISI ✓

سایت ترجمه فا ؛ مرجع جدیدترین مقالات ترجمه شده از نشریات معتبر خارجی