۹۶۲۸۵

دانشکده فنی
گروه مهندسی مکانیک
گرایش طراحی کاربردی

کنترل تطبیقی یک ربات راهرونده دو پا پنج درجه آزادی در حرکت روی سطح شیبدار دارای مانع

از:
مازیار زمان زاده

استادان راهنما :

دکتر احمد باقری

استادان مشاور:

دکتر نادر نریمان زاده
دکتر فرید نجفی

شهریور 1386

الف

تقدیم به

مادر و پدرم

که همواره مشوق من در این مسیر بوده اند.

۱۳۸۷/۱۵/۳۸

با تقدیر و تشکر

از جناب آقای دکتر باقری به عنوان استاد راهنما

چکیده فارسی

چکیده انگلیسی

فصل اول

	پیشگفتار	۲
۱-۱	مزایای استفاده از روبات	۳
۱-۲	تقسیم روباتهای راه رونده	۳
۱-۲-۲	روبات راه رونده دو پا	۴
۱-۲-۳	روبات چهار پا	۶
۱-۲-۴	روبات شش پا	۷
۱-۲-۵	روباتهای دیگر	۷
۱-۳	کاربرد روباتهای راه رونده	۸

فصل دوم

		۱۱
۲-۱	روباتهای دو پا محرک دار	۱۳
۲-۱-۱	روباتهای دانشگاه Waseda	۱۳
۲-۱-۲	روبات P۱ , P۲	۱۶
۲-۱-۳	روبات Toddler	۱۸
۲-۱-۴	روبات دو پای دانشگاه مسکو	۱۹
۲-۱-۵	روبات Meltran	۲۰
۲-۲	روبات دو پای غیر فعال	۲۱
۲-۳	تعادل و پایداری روباتهای راهرونده	۲۲
۲-۴	الگوی راه رفتن	۲۳

فصل سوم.

		۲۵
۳-۱	چرخه راه رفتن	۲۶
۳-۲	مسیر حرکت پا	۲۸
۳-۲-۱	مسیر حرکت پا روی سطح افق	۲۸
۳-۲-۲	مسیر حرکت پا روی سطح شیب دار	۳۳
۳-۲-۳	مسیر حرکت پا روی مانع	۳۵
۳-۳	مسیر حرکت مفصل ران	۳۷
۳-۳-۱	مسیر حرکت مفصل ران روی سطح افق	۳۷
۳-۳-۲	مسیر حرکت مفصل ران روی سطح شیب دار و مانع	۳۹
۳-۴	سینماتیک	۴۶

فصل چهارم

۴-۱	نیروهای داخلی	۵۵
۴-۲	نقطه ممان	۵۶
۴-۲-۱	معادله نقطه ممان صفر	۵۷
۴-۳	معادله دینامیک حرکت	۶۱
۴-۳-۱	حرکت برروی سطح افقی	۶۲
۴-۳-۲	حرکت بر روی سطح شیب دار	۶۲
۴-۴	مولفه های بردار C	۷۲
۴-۵	مولفه های بردادر G	۷۵

فصل پنجم

۵-۱	کنترل غیر خطی رباتها	۸۱
۵-۱-۱	تحلیل پایداری لیا پونوف	۸۱
۵-۲	کنترل تطبیقی	۸۳

بحث و نتیجه گیری ۱۲۰

۱۲۳

شکل	توضیحات	صفحه
۱-۱	ربات یک پا	۴
۱-۲	ربات دو پا P۲ ,P۳	۵
۱-۳	ربات چهار پا	۶
۱-۴	ربات شش پا	۷
۱-۵	ربات هشت پا برای بازرسی لوله	۸
۲-۱	ربات WL _۵	۱۴
۲-۲	ربات WL-۱۲RIII	۱۵
۲-۳	ربات Wabian	۱۶
۲-۴	ربات دو پا P۲ ,P۳	۱۷
۲-۵	ربات Toddler	۱۹
۲-۶	ربات Meltran	۲۰
۲-۷	ربات غیر فعال	۲۱
۲-۸	حرکت تناوبی	۲۴
۲-۹	صفات اصلی	۲۴
۳-۱	حرکت تناوبی مدل ربات	۲۶
۳-۲	نمایشگر سیکل حرکتی ربات	۲۷
۳-۳	نمایشگر مرکز جرم ربات	۲۸
۳-۴	مسیر حرکت پا ومفصل ران	۲۹
۳-۵	مسیر حرکت پا ومفصل ران	۳۰

شکل	توضیحات	صفحه
۳-۶	مسیر حرکت مچ پا	۳۴
۳-۷	مسیر حرکت با وجود مانع	۳۶
۳-۸	نمایشگر سیکل حرکتی ربات	۳۸
۳-۹	زاویه پا روی سطح افق	۴۱
۳-۱۰	حرکت پا با مانع	۴۱
۳-۱۱	حرکت پا روی سطح شیب دار	۴۲
۳-۱۲	حرکت پا روی سطح افق	۴۳
۳-۱۳	حرکت پا با مانع	۴۳
۳-۱۴	زاویه مفصل ران	۴۴
۳-۱۵	زاویه مفصل ران با مانع	۴۴
۳-۱۶	زاویه مفصل ران روی سطح افق	۴۵
۳-۱۷	زاویه مفصل ران	۴۵
۳-۱۸	سینماتیک	۴۶
۳-۱۹	سرعت مفصلی ساق برای کار حاضر	۴۹
۳-۲۰	سرعت مفصلی ساق برای مرجع [۲۴]	۴۹
۳-۲۱	سرعت مفصلی زانو برای کار حاضر	۵۰
۳-۲۲	سرعت مفصلی زانو برای مرجع[۲۴]	۵۰
۳-۲۳	سرعت مفصلی ران برای کار حاضر	۵۱
۳-۲۴	سرعت مفصلی ران برای مرجع[۲۴]	۵۱

شکل	توضیحات	صفحه
۳-۲۵	سرعت مفصلی ران سطح شیب دار با مانع	۵۲
۳-۲۶	سرعت مفصلی زانو سطح شیب دار با مانع	۵۲
۳-۲۷	سرعت مفصلی ساق سطح شیب دار با مانع	۵۳
۴-۱	نیرو ها روی سطح شیبدار	۵۵
۴-۲	ZMP روی سطح افقی	۵۶
۴-۳	ZMPنا پایدار	۵۷
۴-۴	معادلات نقطه ممان صفر	۵۸
۴-۵	مرکز جرم لینکهای ربات	۶۰
۴-۶	نمودار محدوده پایداری	۶۰
۴-۷	مدل دینامیکی ربات	۶۴
۴-۸	مدل دینامیکی مچ پای ربات	۶۴
۵-۱	الگوریتم کنترل تطبیقی	۸۴
۵-۲	نمودار کنترل تطبیقی	۹۰
۵-۳	تقریب ضریبa۱	۱۰۰
۵-۴	تقریب ضریب a۲	۱۰۰
۵-۵	تقریب ضریبa۳	۱۰۱
۵-۶	تقریب ضریب a۴	۱۰۱
۵-۷	تقریب ضریبa۵	۱۰۲
۵-۸	تقریب ضریبa۶	۱۰۲

شکل	توضیحات	صفحه
۵-۹	تقریب ضریب a۷	۱۰۳
۵-۱۰	تقریب ضریب a۸	۱۰۳
۵-۱۱	تقریب ضریب a۹	۱۰۴
۵-۱۲	تقریب ضریب a۱۰	۱۰۴
۵-۱۳	تقریب ضریب a۱۱	۱۰۵
۵-۱۴	تقریب ضریب a۱۲	۱۰۵
۵-۱۵	تقریب ضریب a۱۳	۱۰۶
۵-۱۶	تقریب ضریب a۱۴	۱۰۶
۵-۱۷	تقریب ضریب a۱۵	۱۰۷
۵-۱۸	تقریب ضریب a۱۶	۱۰۷
۵-۱۹	تقریب ضریب a۱۷	۱۰۸
۵-۲۰	تقریب ضریب a۱۸	۱۰۸
۵-۲۱	تقریب ضریب a۱۹	۱۰۹
۵-۲۲	تقریب ضریب a۲۰	۱۰۹
۵-۲۳	تقریب ضریب a۲۱	۱۱۰
۵-۲۴	تقریب ضریب a۲۲	۱۱۰
۵-۲۵	تقریب ضریب a۲۳	۱۱۱
۵-۲۶	تقریب ضریب a۲۴	۱۱۱
۵-۲۷	گشتاور مفصل ۱	۱۱۲

شکل	توضیحات	صفحه
۵-۲۸	گشتاور مفصل ۲	۱۱۳
۵-۲۹	گشتاور مفصل ۳	۱۱۳
۵-۳۰	گشتاور مفصل ۴	۱۱۴
۵-۳۱	گشتاور مفصل ۵	۱۱۴
۵-۳۲	گشتاور مفصل ۶	۱۱۵
۵-۳۳	گشتاور مفصل ۷	۱۱۶
۵-۳۴	خطای مفصل ۱	۱۱۶
۵-۳۵	خطای مفصل ۲	۱۱۷
۵-۳۶	خطای مفصل ۳	۱۱۷
۵-۳۷	خطای مفصل ۴	۱۱۸
۵-۳۸	خطای مفصل ۵	۱۱۸
۵-۳۹	خطای مفصل ۶	۱۱۹
۵-۴۰	خطای مفصل ۷	۱۱۹

چکیده:

کنترل تطبیقی یک ربات راهرونده دو پا پنج درجه آزادی در حرکت روی سطح شیبدار دارای مانع

مازیار زمان زاده

هدف از انجام این پروژه کنترل تطبیقی مدل جدیدی از ربات دو پا با یک درچه آزادی ساق – کف پا (نظیر انسان) و همچنین با در نظر گرفتن مانع روی سطح شیبدار میباشد. مسیر پای حرکت ربات با استفاده از درون یابی نقاط بینا بین صورت گرفته و تولید مسیر پا با استفاده از چند جمله درجه ۳ بیان می گردد. معادلات دینامیکی ربات در حالت "پای تکیه گاه و بالا تنه" و "پای نوسان کننده" بطور جداگانه محاسبه و استخراج شده است. با فرموله کردن مسئله حرکت یکنواخت مفصل ران با استفاده از هر پارامتر و بدست آوردن مسیر حرکت مفصل ران با محاسبات تکراری و سپس در انتها ارتباط بین مشخصات محرک و الگوی حرکتی با استفاده از کنترل تطبیقی درمقاله مورد بررسی قرار گرفته است. استفاده از کنترل تطبیقی در کنترل ربات در تخمین پارامترهای فیزیکی ربات با استفاده از الگوریتم تطبیقی و استفاده از آنها در کنترلر و کنترل ربات در مسیرهای افقی، شیبدارو با ووجود مانع با استفاده از روش تطبیقی مد نظر بوده است.

واژه های کلیدی: کنترل تطبیقی،تولید مسیر،معادلات دینامیکی، ربات راهرونده دوپـا .

Abstract

"ADAPTIVE CONTROL OF A ۶ DOF BIPEDAL WALKING ROBOT MOVING ON A DECLINE SURFACE WITH OBSTACLES"

Maziar Zamanzadeh

This thesis presented an adaptive control algorithm of a ۶ DOF bipedal walking robot on decline surface. This new designed robot is able to move on its heel like a human. The path of foot generated by polynomial equitation and after obtaining the dynamics equation simplified for path motion type (single support phase & double support phase), the stability of robot achieve by the zero moment point procedure. Beside, for constituting the dynamics equitation for each motion type, a separate model used for the "swing leg" and also for the "supporting leg & torso".

In controlling of the robot, the physical parameters like mass, link length and geometry as estimated by adaptive methods. With these estimated parameters, the motion of the robot is controlled by adaptive control algorithm. At the end of the thesis, computer simulation of the robot motion is conduced and simulation results were presented.

Key Words: Adaptive Control, Path Generation, Dynamic algorithm, Bipedal Walking Robot.

فصل اول

فصل اول: پیشگفتار

دانشمندان غالباً احساس می کنند که با انجام مطالعاتشان، درباره جنبه ای از خود انسان چیزهایی می آموزند. فیزیکدانان، روانشناسان و شیمیدانان، همه این ارتباط را مشاهده می کنند. در مطالعه روباتیک (علم شناخت و طراحی آدمکهای مصنوعی هوشمند)، ارتباط بین این زمینه های مطالعاتی و خود انسان بسیارقابل لمس است. همچنین، رباتیک برخلاف علومی که تنها به تحلیل بسنده می کند، در شکل حاضر خود از مهندسی نیز برای ترکیب استفاده می کند. شاید به همین دلیل باشد که این رشته بسیاری را شیفته خود ساخته است.

در سالهای اخیر تحقیق پیرامون رباتهای راه رونده[۱] و بخصوص رباتهای دوپا[۲] بطور گسترده ای افزایش یافته و مورد توجه محققان و پژوهشگران مراکز دانشگاهی و صنعتی قرار گرفته است. افزایش احتیاج به رباتهایی که بتوانند در محیطهایی نظیر محیطهای انسانی عمل کرده و جایگزین انسان گردند از مهمترین علل افزایش توجه مراکز تحقیقاتی به بررسی و ساخت اینگونه رباتها می باشد.

با توجه به شباهتی که بین حرکت رباتهای دوپا و انسان وجود دارد، با ساخت و کنترل این رباتها می توان به درک عمیق تری از چگونگی حرکت در انسان رسید. بهمین ترتیب شناخت صحیح بیومکانیک راه رفتن از مقدمات مهم در ساخت و کنترل رباتهای دوپا محسوب می گردد.

۱-۱- مزایای استفاده از رباتهای پادار

هر دو نوع رباتهای راه رونده و رباتهای چرخدار[۳] جزو رباتهای متحرک[۴] محسوب شده که جهت جابجایی و حرکت از نقطه ای به نقطه دیگر مورد استفاده قرار می گیرند. با وجود پایداری[۵] بیشتر و سرعت بالاتر رباتهای چرخدار، استفاده از پا در رباتهای متحرک دارای مزایا و برتری هایی بوده که رباتهای چرخدار فاقد آن می باشند. برخی از این مزایا عبارتند از:

- توانایی بالا و پایین رفتن از پله و نیز عبور از موانع و سطوح ناهموار
- توانایی عبور از سطوح غیر پیوسته و شکاف دار
- امکان حرکت در زمینهای نرم (چرخ در مواجهه با زمین نرم موجب گود کردن زمین گردیده و از حرکت می ایستد)

---

[۱]- Walking Robot
[۲]- Biped Robot
[۳]- Wheel Robot
[۴]- Mobile Robot
[۵]- Stability

- سازگاری بیشتر با محیط به این معنی که ربات می تواند محل قرار دادن پای خود را انتخاب نموده و در صورت قرار دادن در محل نامطمئن آن را جابجا کرده و به محلی دیگر منتقل نماید.
- توانایی کنترل ارتفاع و وضعیت بدن و سازگاری آن با وضع محیط

علیرغم مواردی که در فوق به آنها اشاره گردید، در تحقق ساخت رباتهایی با خصوصیات فوق و قابلیت اطمینان بالا راهی بس طولانی و پر فراز و نشیب در پیش رو بوده که تنها با ساخت و تحقیق پیرامون آنها می توان به مشکل بودنشان پی برده و راه حلهای مناسبی در جهت رفع این مسائل ارائه نمود.

۱-۲- تقسیم بندی رباتهای راه رونده

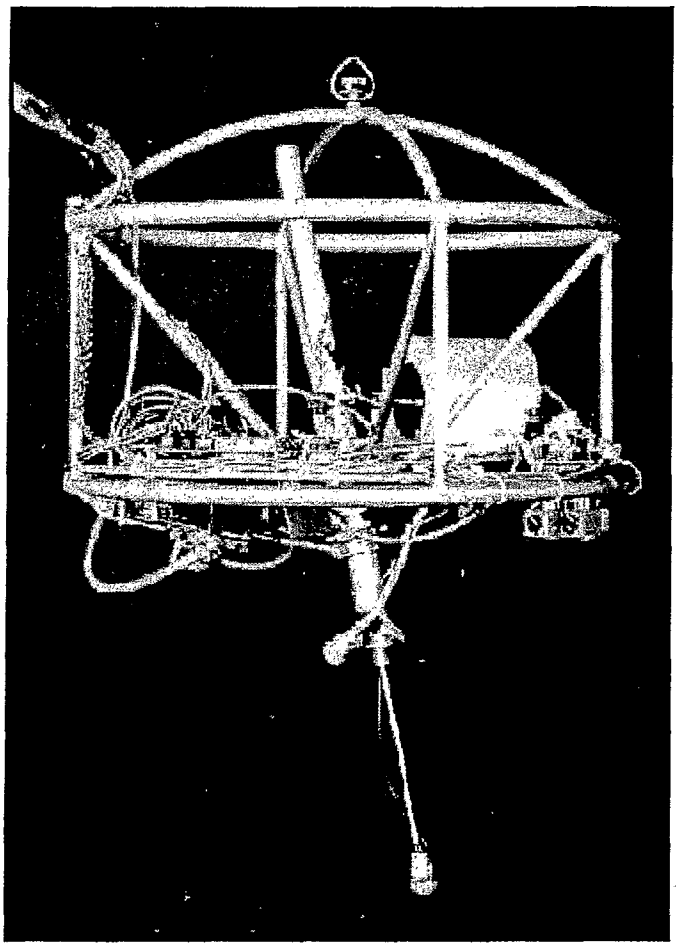
ایده استفاده از رباتهای راه رونده سابقه طولانی داشته و بطور مثال تا بحال در کشور فرانسه حدود ۴۰ اختراع مختلف در این زمینه به ثبت رسیده که اولین آنها به سال ۱۸۹۴ باز می گردد [۱].

رباتهای راه رونده را می توان با توجه به تعداد پاهای استفاده شده در آنها به رباتهای یک پا، دو پا، چهار پا، شش پا، هشت پا و ... تقسیم بندی نمود. در ادامه توضیحاتی مختصر پیرامون هر یک از رباتهای فوق ارائه گردیده اند. همچنین با توجه به اهمیت بیشتر رباتهای دوپا، مرور کاملتر آنها به فصل دوم واگذار گردیده است.

۱-۲-۱- رباتهای یک پا[۱]

- Raibert در سال ۱۹۸۶ یک ربات لی لی کننده را ابداع نموده که این ربات به هنگام مواجهه با اغتشاش با لی لی کردن تعادل خود را حفظ نموده و قادر به بالا رفتن از پله‌ها می باشد [۱]. این محقق ادامه تحقیقاتش را بر روی رباتهای دوپا و چهار پا ادامه داده است (شکل ۱-۱).

[۱]- One Leg System



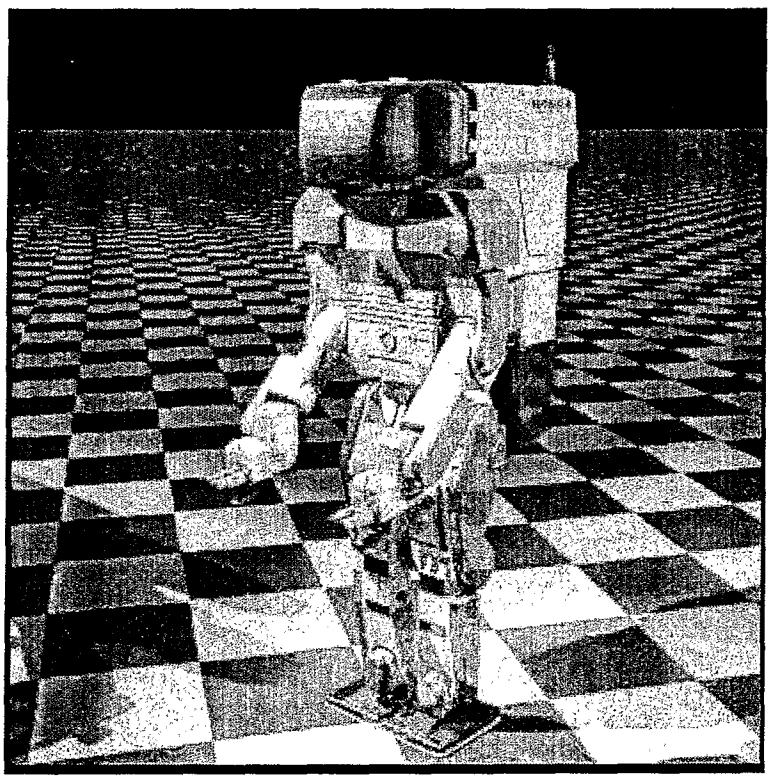
شکل ۱-۱

۱-۲-۲- رباتهای راهرونده دوپا[۷]

به علت شباهت عملکرد رباتهای دو پا به انسان و توانایی استفاده از آنها در محیطهای انسانی، این رباتها بیشتر مورد توجه و علاقه محققان و دانشگاهیان سراسر دنیا قرار گرفته اند. مهمترین هدف در این رباتها راه رفتن دینامیکی و حفظ تعادل در هنگام گام برداشتن می باشد.

[۷]- Bipedal Robots

یکی از معروفترین رباتهای دوپا که به این هدف نائل آمده است ربات P۲ ساخت شرکت Honda می باشد [۲]. این ربات با صرف هزینه ای در حدود سه میلیون دلار در ابعاد انسانی و با وزنی در حدود ۲۰۰kg ساخته شده و قادر به انجام اعمالی نظیر حرکت بر روی مسیر مستقیم، بالا رفتن از پلکان و همچنین هل دادن چرخ دستی می‌باشد (شکل ۱-۲).



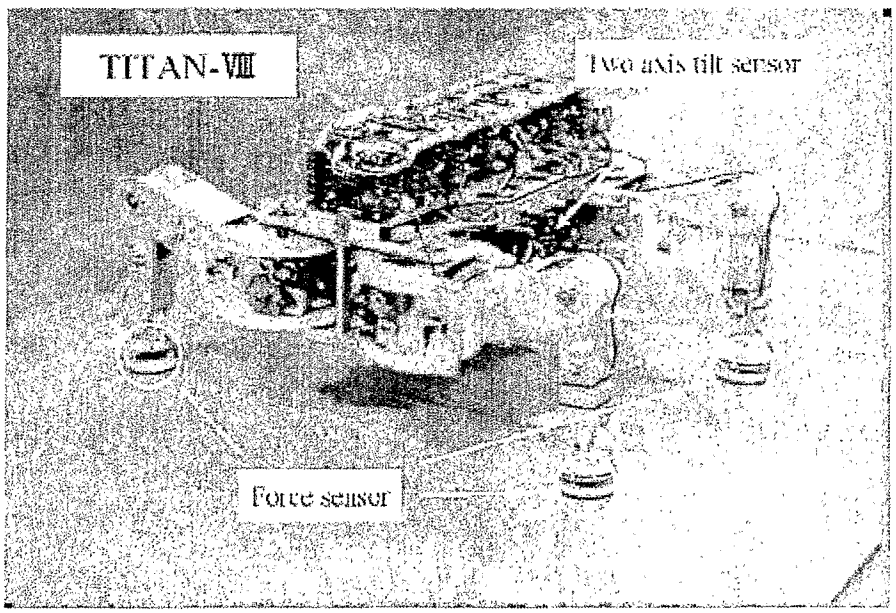
شکل ۱-۲ ربات دو پای P۲, P۳

با توجه به اهمیت عامل راه رفتن و حفظ تعادل ربات و همچنین هزینهٔ بالای ساخت این رباتها، اکثر تحقیقات دیگری که در زمینه رباتهای دو پا صورت گرفته است، صرفاً به راه رفتن و حفظ تعادل ربات تأکید داشته است.

۱-۲-۳- رباتهای چهار پا[۸]

از رباتهای ساخته شده چهار پا می توان به ربات ساخته شده توسط Holland & Snaith در سال ۱۹۹۲ اشاره نمود. این ربات کوچک توسط محرکهای پنوماتیکی به حرکت درآمده و با استفاده از الگوریتمی که توسط شبکه های عصبی اجرا می گردید، آموزش حرکتی ربات انجام و در نهایت کنترل می شد. این ربات هنگام برخواستن نظیر خرگوش به زمین ضربه می زد [۱].

در سال ۱۹۹۶ رباتی موسوم به TITAN II طراحی و ساخته شد که بیش از رباتهای دیگر بصورت تجاری عرضه گردیده است. حدود ۴۰ عدد از این ربات با قیمت ۱۲۰۰۰ دلار و بمنظور مین یابی بازسازی شده و مورد استفاده قرار گرفت [۱]



شکل ۱-۳

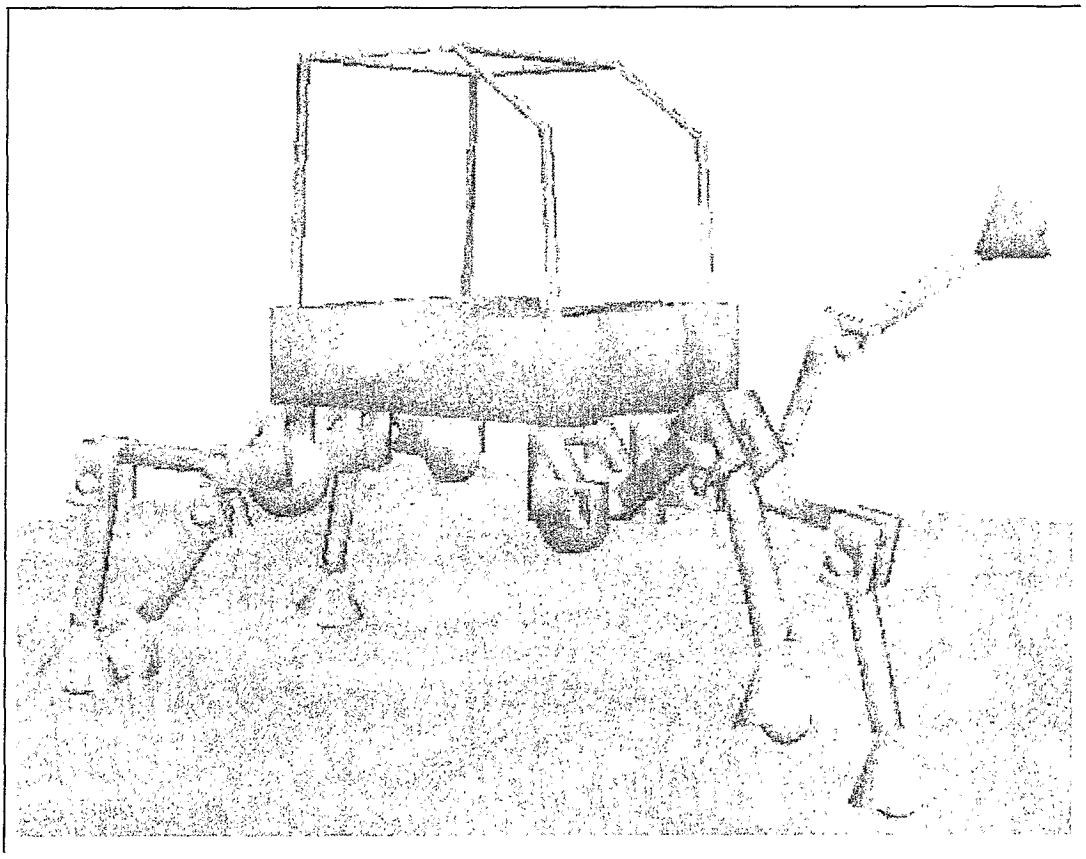
۱-۲-۴- رباتهای شش پا[۹]

از جالبترین رباتهای شش پای ساخته شده در دنیا، ربات ساخته شده در دانشگاه Ohio می باشد که به نام Adaptive Suspension Vehicle (ASV) معروف می باشد [۱] (شکل ۱-۴).

---

[۸]- Quadrupeds Robots
[۹]- Hexapods Robots

این ربات برای کار در امور جنگل داری و قطع درختان کاربرد داشته و با حدود ۲۰۰ kg وزن قادر به حرکت با سرعت ۲,۳ m/s بود. این وسیله برای حرکت در محیطهای ناهموار طراحی شده و توانایی حرکت بر روی سطوح شیبدار را نیز دارا می بود.



شکل ۱-۴ ربات شش پای ASV

۱-۲-۵- رباتهای دیگر

در سال ۱۹۹۸ رباتی هشت پا برای بازرسی داخل لوله ها و کانالها ساخته شد که در هر لحظه ۴ پا در تماس با لوله بوده و با توجه به سنسورهای نیرو و سرعت تعبیه شده در آن، ربات قادر بود در لوله های با خم ۹۰ درجه نیز حرکت نماید [۱].