دانشگاه زنجان

**دانشکده مهندسی**

**گروه برق**

**پایان‌نامه کارشناسی**

گرایش: **الکترونیک**

عنوان:

# طراحی و پیاده‌سازی سیستم ناوبری و کنترل ربات سیار همه‌جهته با چرخ‌های مکانوم

استاد راهنما:

**آقای دکتر وحید رشتچی**

نگارش:

**میثم پرویزی**

**اردیبهشت ۹۵**

## سپاسگزاری

بدینوسیله از اعضای انجمن علمی دانشجویی رباتیک دانشگاه زنجان آقایان حسین تقی‌لو، مسعود جعفری، مرتضی علیاری و بنیامین هرکی‌نژاد که در ساخت این ربات همکاری داشتند تشکر می‌کنم. همچنین از اساتید گرامی آقایان دکتر وحید رشتچی، دکتر علی آذرپیوند و دکتر فرشاد مریخ بیات که کمک‌ها و راهنمایی‌های ایشان در حسن انجام این پروژه بسیار مؤثر بود سپاسگزاری می‌نمایم.

تقدیم به مادر عزیزم؛

و تقدیم به آنان که به دیگران می‌بخشند بی آنکه در انتظار جبران باشند،

و به آنان که به دیگران می‌آموزند بی آنکه در فکر سود و زیان باشند.

# فهرست مطالب


۱ مقدمه ..... ۱

۱-۱ ربات چیست؟ ..... ۱

۱-۲ ربات سیار و کاربردهای آن ..... ۳

۱-۳ چرا باید ربات بسازیم؟ ..... ۹

۱-٤ روند ساخت یک ربات ..... ۱۰

۲ سازه‌ی مکانیکی ..... ۱۳

۲-۱ مقدمه ..... ۱۳

۲-۲ طراحی سازه ..... ۱۳

۲-۳ ساخت سازه ..... ۱٤

۳ مدارات الکترونیکی ..... ۱۷

۳-۱ مقدمه ..... ۱۷

۳-۲ پردازنده‌ی مرکزی ..... ۱۹

۳-۳ طراحی و پیاده‌سازی مدارات ..... ۲۱

٤ حسگرها ..... ۲۷

٤-۱ مقدمه ..... ۲۷

٤-۲ دسته‌بندی حسگرها ..... ۲۷

٤-۳ دریافت اطلاعات از حسگرها ..... ۲۸

٤-٤ انکودرها ..... ۲۸

٤-٥ فاصله‌یاب‌های اولتراسونیک ..... ۳۲

٤-٦ ژایروسکوپ و IMU ..... ۳٥

٥ هدایت و جابجایی ..... ۳۷

٥-۱ مقدمه ..... ۳۷

٥-۲ عملگرها ..... ۳۸

۵-۳ هدایت موتورهای DC ..... ۳۹
۵-۴ مفهوم PWM ..... ۴۱
۵-۵ انتخاب موتور ..... ۴۳
۵-۶ جابجایی ربات‌های چرخدار ..... ۴۵
**۶ کنترل و ناوبری ..... ۴۸**
۶-۱ مقدمه ..... ۴۸
۶-۲ چرخ‌های مکانوم ..... ۴۸
۶-۳ حرکت همه‌جهته ..... ۵۱
۶-۴ سینماتیک ..... ۵۳
۶-۵ کنترل سرعت چرخ ..... ۵۴
۶-۶ تنظیم ضرایب PID ..... ۵۶
۶-۷ مکانیابی نسبی ..... ۵۷
۶-۸ ناوبری ..... ۵۸
۶-۹ برنامه‌نویسی ..... ۶۰
**۷ آزمایش و نتیجه‌گیری ..... ۶۲**
۷-۱ مقدمه ..... ۶۲
۷-۲ نتایج کنترل سرعت موتور ..... ۶۲
۷-۳ محیط آزمایش ربات ..... ۶۳
۷-۴ آزمون حفظ فاصله از دیوار ..... ۶۵
۷-۵ آزمون تعقیب دیوار ..... ۶۵
۷-۶ آزمون ناوبری نقطه به نقطه ..... ۶۶
۷-۷ آزمون ناوبری پیوسته ..... ۶۷
۷-۸ نتایج و منابع خطا ..... ۶۸
**ضمائم ..... ۶۹**
الف) طرح‌های دوبعدی قطعات اصلی سازه‌ی مکانیکی ربات ..... ۶۹

ب) نحوه‌ی اتصال پایه‌های هدربرد LPC1768 به بخش‌های مختلف ربات ..... ۷۲

**مراجع** ..... ۷۳

# فهرست شکل‌ها


شکل ۱-۱ ربات صنعتی جوشکار مدل IRB 1520ID ساخت شرکت ABB ..... ٤

شکل ۱-۲ ربات سیار سوجورنر (Sojourner) در سال ۱۹۹۷ برای عملیات اکتشاف در سطح سیاره‌ی مریخ استفاده شده بود. ..... ٥

شکل ۱-۳ پلاستک، اولین ربات سیار تحت کنترل برنامه را تولید کرد. این ربات به منظور خارج کردن چوب از جنگل طراحی شده بود. ..... ٦

شکل ۱-٤ یک ربات AGV متعلق به شرکت Swisslog که به منظور جابجا کردن قطعات بزرگ از مکانی به مکان دیگر استفاده می‌شود. ..... ٦

شکل ۱-٥ اطلس، یکی از پیشرفته‌ترین ربات‌های ساخته شده به دست بشر ..... ۷

شکل ۱-٦ شمای کنترلی مرجع برای ربات‌های سیار ..... ۸

شکل ۱-۷ یکی از ربات‌های تخیلی معرفی شده در فیلم «جنگ ستارگان» ..... ۹

شکل ۲-۱ ربات صنعتی و تحقیقاتی youBot ساخت شرکت KUKA ..... ۱۳

شکل ۲-۲ پلتفرم KUKA youBot در مسابقات جهانی RoboCup@Work 2015 ..... ۱٤

شکل ۲-۳ قطعات پلکسی گلاس پس از مونتاژ اولیه ..... ۱٥

شکل ۲-٤ مونتاژ نهایی سازه ..... ۱٥

شکل ۲-٥ سازه‌ی نهایی ربات بعد از نصب بازو و پایه‌ی دوربین ..... ۱٦

شکل ۳-۱ برد Arduino UNO با بهره‌گیری از میکروکنترلر ATmega328P ..... ۱۸

شکل ۳-۲ برد Raspberry Pi 3 با بهره‌گیری از پردازنده‌ی چهارهسته‌ای و ٦٤ بیتی خانواده‌ی ARM Cortex-A53 با فرکانس کاری 1.2GHz ..... ۱۸

شکل ۳-۳ هدربرد مبتنی بر میکروکنترلر LPC1768 ساخت ECA ..... ۲۰

شکل ۳-٤ نمودار بلوکی سیستم الکترونیکی ربات ..... ۲۱

شکل ۳-٥ برد مرکزی ربات (نمای مقابل) ..... ۲۲

شکل ۳-٦ برد مرکزی ربات (نمای پشت) ..... ۲۲

شکل ۳-۷ مدار نمونه برای استفاده از اپتوکوپلر PS2501 ..... ۲۳

شکل ۳-۸ برد تغذیه‌ی ربات ..... ۲٤

شکل ۳-۹ برد ساخته شده برای LCD کاراکتری ۱٦×۲ جهت اتصال به برد تغذیه ..... ۲٥

شکل ۳-۱۰ محیط نرم‌افزار Altium Designer در حین طراحی برد تغذیه ..... ۲۵
شکل ۳-۱۱ برد انکودرهای ربات..... ۲۶
شکل ۳-۱۲ محیط نرم‌افزار Altium Designer در حین طراحی برد انکودرها ..... ۲۶
شکل ٤-۱ انکودرهای نوری. انکودر مطلق (سمت راست) و انکودر افزایشی (سمت چپ). ..... ۳۰
شکل ٤-۲ انکودر دورانی LPD3806-360BM ..... ۳۱
شکل ٤-۳ نحوه‌ی تشخیص جهت دوران از روی وضعیت‌های مختلف خروجی‌های A و B نسبت به همدیگر ..... ۳۲
شکل ٤-٤ خفاش‌ها به کمک امواج فراصوت محل طعمه‌ی خود را پیدا می‌کنند. ..... ۳۳
شکل ٤-٥ چیدمان سنسورهای اولتراسونیک در اطراف ربات ..... ۳٤
شکل ٤-٦ سنسور فاصله‌یاب اولتراسونیک SRF08 ..... ۳٤
شکل ٤-۷ عناصر تشکیل دهنده‌ی یک واحد اندازه‌گیری لختی (IMU) ..... ۳٥
شکل ٤-۸ ماژول GY-86 ..... ۳٦
شکل ٥-۱ تقریب زدن راه رفتن انسان با غلتیدن یک چندضلعی ..... ۳۷
شکل ٥-۲ ربات پرنده‌ی شش موتوره به نام Firefly محصول دانشگاه ETH Zurich و شرکت Ascending Technologies ..... ۳۸
شکل ٥-۳ ربات تحقیقاتی شش پا به نام Zebro ساخت دانشگاه TU Delft ..... ۳۸
شکل ٥-٤ شمای کلی پل H و عملکرد آن ..... ٤۰
شکل ٥-٥ ماژول درایور موتور MonsterMoto ساخت شرکت SparkFun ..... ٤۱
شکل ٥-٦ یک دوره‌ی تناوب از یک سیگنال PWM ..... ٤۲
شکل ٥-۷ تغییر سرعت موتور از طریق تغییر دوره‌ی کار ..... ٤۲
شکل ٥-۸ موتور DC ساخت شرکت Faulhaber ..... ٤٥
شکل ٥-۹ حرکت و چرخش در محرّک دیفرانسیلی ..... ٤٦
شکل ٥-۱۰ محرّک همگام. ربات می‌تواند به هر جهتی حرکت کند اما راستای کلی ربات قابل کنترل نیست. ..... ٤٦
شکل ٥-۱۱ یکی از چهار چرخ مکانوم مورد استفاده در ربات ..... ٤۷
شکل ٥-۱۲ نمای مقابل چرخ مکانوم ..... ٤۷
شکل ٦-۱ چرخ‌های مکانوم با غلتک ٤٥ درجه ..... ٤۸

شکل ٦-٢ چرخ‌های مکانوم با غلتک ۹۰ درجه ..... ٤٩
شکل ٦-٣ ربات‌های سیار همه‌جهته‌ی سه‌چرخ و چهارچرخ ..... ٥٠
شکل ٦-٤ مبنای عملکرد چرخ مکانوم، تجزیه‌ی برداری ..... ٥٠
شکل ٦-٥ مبنای عملکرد چرخ مکانوم، حرکت به جلو و پهلو؛ چرخ‌های تیره به جلو می‌چرخند، چرخ‌های روشن به عقب می‌چرخند (نمای پایین) ..... ٥١
شکل ٦-٦ مبنای عملکرد چرخ مکانوم، گردش در جهت ساعتگرد (نمای پایین) ..... ٥٢
شکل ٦-٧ سینماتیک ربات همه‌جهته ..... ٥٣
شکل ٦-٨ فواصل چرخ‌های ربات. مورد نیاز برای روابط سینماتیک ..... ٥٤
شکل ٦-٩ تبدیل مختصات و انتقال بردارها از چهارچوب محلی $(x_b, y_b)$ به چهارچوب مرجع $(x, y)$ ٥٨
شکل ٦-١٠ کامپایلر آنلاین mbed ..... ٦١
شکل ٦-١١ محیط نرم‌افزار Keil uVision در حین نوشتن برنامه‌ی ربات ..... ٦١
شکل ٧-١ نمودار تغییرات سرعت چرخ‌های ربات نسبت به تغییرات PWM ..... ٦٢
شکل ٧-٢ نمودار پاسخ پله‌ی کنترل‌کننده‌ی PID به ازای سه سرعت مطلوب ۸۰ دور بر دقیقه (بالا)، ٥٠ دور ر دقیقه (وسط) و ۲۰ دور بر دقیقه (پایین) ..... ٦٣
شکل ٧-٣ ابعاد و ساختار محیط آزمایش ربات ..... ٦٤
شکل ٧-٤ تصویری از ربات در محیط آزمایش آن ..... ٦٤
شکل ٧-٥ مسیر حرکت ربات در آزمون حفظ فاصله از دیوار ..... ٦٥
شکل ٧-٦ مسیر ربات در آزمون تعقیب دیوار ..... ٦٦
شکل ٧-٧ (الف) مخروطی در حدود ۳۰ درجه توسط سنسور اولتراسونیک شناسایی می‌شود. (ب) اگر جسم مقابل سنسور خیلی با راستای عمود فاصله داشته باشد هیچ سیگنالی به طرف سنسور بازتاب نمی‌شود و جسم تشخیص داده نمی‌شود. ..... ٦٦
شکل ٧-٨ نقاط هدف و ترتیب آن‌ها در آزمون ناوبری نقطه به نقطه ..... ٦٧
شکل ٧-٩ مسیر مورد نظر در آزمون ناوبری پیوسته ..... ٦٧

# چکیده

هدف از این پروژه طراحی و ساخت یک سیستم الکترونیکی با مرکزیت یک میکروکنترلر ARM و پیاده‌سازی الگوریتم‌های کنترلی برای مکانیابی و ناوبری یک ربات سیار چهارچرخ با چرخ‌های مکانوم و با قابلیت حرکت همه‌جهته است.

منظور از حرکت همه‌جهته این است که ربات می‌تواند بدون دور زدن در هر جهت دلخواه روی یک صفحه‌ی دو بعدی حرکت کند. ربات مورد بحث در این پروژه این قابلیت را خواهد داشت تا تخمین نسبتاً درستی از مکان فعلی خود داشته باشد و بر اساس این تخمین‌ها مسیرهای داده شده را با دقت خوبی طی کند. برای پیاده‌سازی تمامی فرایندهای کنترلی در این ربات از یک میکروکنتر ARM به نام LPC1768 استفاده شده است.

لازم به ذکر است که طراحی و ساخت سازه‌ی مکانیکی این ربات جزو این پروژه نیست اما به طور مختصر در فصلی مجزا به آن پرداخته شده است.

# ۱ مقدمه

## ۱-۱ ربات چیست؟

قبل از آنکه به بررسی جزئیات یک ربات سیار بپردازیم باید نخست به تعریف مشخصی از ربات و علم رباتیک برسیم.

رباتیک یک دانش و یک فناوری نسبتاً جوان است که از مرزهای مهندسی سنتی عبور کرده است و برای فعالیت در آن به علوم مختلفی از جمله مهندسی برق، مهندسی مکانیک، مهندسی سیستم، مهندسی صنایع، علوم کامپیوتر، اقتصاد و ریاضیات نیاز است. رشته‌های جدید مهندسی همچون مهندسی ساخت، مهندسی کاربردها، و مهندسی دانش فقط برای این وجود آمدند که پیچیدگی‌های موجود حوزه‌ی رباتیک و اتوماسیون صنعتی را کاهش دهند.

واژه‌ی «ربات[1]» برای نخستین بار در سال ۱۹۲۱ میلادی توسط یک نمایشنامه‌نویس اهل چک به نام کارل چاپک[2] در نمایشی به نام .R.U.R[3] وارد دایره‌ی واژگان ما شد. واژه‌ی robota در زبان چک به معنای کار اجباری است. تقریباً هر چیزی را که تا حدی خودکار و در بخش‌هایی تحت کنترل رایانه عمل کند، ربات می‌نامند اما هیچ تعریف جهانی برای ربات وجود ندارد. جوزف انگلبرگر[4]، پدر رباتیک مدرن درباره‌ی تعریف ربات گفته است: «**شاید نتوانم ربات را تعریف کنم اما اگر یکی را ببینم، آن را خواهم شناخت.**»

یک تعریف رسمی از ربات توسط انستیتوی ربات آمریکا[5] (RIA) به این صورت بیان شده است:

**«ربات یک بازوی مکانیکی[6] چندکاره با قابلیت برنامه‌ریزی مجدد است که از طریق حرکات برنامه‌ریزی شده‌ی متغیر برای اجرای وظایف گوناگون مانند جابجا کردن مواد، قطعات، ابزارها و وسایل مخصوص**

---

[1] Robot

[2] Karel Capek

[3] Rossum's Universal Robots

[4] Joseph Engelberger

[5] Robot Institute of America

[6] Manipulator

**طراحی شده باشد و همچنین اطلاعاتی را از محیط به دست آورد و به صورت هوشمندانه به آن‌ها واکنش نشان دهد.»**

واژه‌ی کلیدی در تعریف فوق قابلیت برنامه‌ریزی مجدد ربات‌ها است. در واقع این مغز کامپیوتری است که موجب سودمندی و انطباق‌پذیری ربات می‌شود. حتی این تعریف محدود شده از ربات نیز ویژگی‌های متعددی دارد که آن را در یک محیط صنعتی به چیز بسیار جذابی تبدیل می‌کند. مزیت‌های زیادی برای ربات‌ها بیان می‌شود که مهم‌ترین آن‌ها عبارتند از کاهش هزینه‌ی نیروی کار، افزایش دقت و بازده، افزایش انطاف‌پذیری در قیاس با ماشین‌های مخصوص و همچنین انجام کارهای کسل‌کننده، تکراری یا مخاطره‌آمیز.

ربات‌ها، با تعریفی که از آن‌ها داشتیم در نتیجه‌ی پیوند دو فناوری ابتدایی‌تر متولد شدند: **دستگاه‌های کنترل از راه دور**[1] و **ماشین‌های فرز کنترل عددی**[2]. دستگاه‌های کنترل از راه دور در جریان جنگ جهانی دوم برای کار کردن با مواد رادیواکتیو توسعه یافتند. کنترل عددی کامپیوتری (CNC[3]) با هدف تولید قطعات بسیار دقیقی که در ساخت هواپیماها مورد نیاز بود گسترش یافت.

انجمن ربات‌های صنعتی ژاپن[4] (JIRA) نیز با وجود اینکه در حوزه‌ی ربات‌های صنعتی فعالیت می‌کند، تمامی ربات‌ها را به انواع زیر تقسیم کرده است:

- **بازوهای مکانیکی دستی:** ماشین‌هایی که توسط کاربر انسانی کنترل می‌شوند.
- **بازوهای مکانیکی ترتیبی:** دستگاه‌هایی که مجموعه‌ای از وظایف را با یک ترتیب ثابت انجام می‌دهند.
- **بازوهای مکانیکی قابل برنامه‌ریزی:** یک بازوی رباتیک در خط مونتاژ.
- **ربات‌های کنترل عددی:** این ربات‌ها بر اساس داده‌های عددی که دریافت می‌کنند اعمال مختلف را با ترتیب‌های خاص و در موقعیت‌های مشخص انجام می‌دهند. چنین ربات‌هایی معمولاً برای ساخت ماشین‌آلات دقیق مورد استفاده قرار می‌گیرند.
- **ربات‌های دارای حس:** ربات‌هایی که از حسگرها به عنوان فیدبک استفاده می‌کنند.

---

[1] Teleoperators

[2] Numerically Controlled Milling Machines

[3] Computer Numerical Control

[4] Japanese Industrial Robot Association

- **ربات‌های تطبیقی:** ربات‌هایی که می‌توانند در پاسخ به شرایط محیطی عملکرد خود را تغییر دهند.
- **ربات‌های هوشمند:** ربات‌هایی که دارای هوش مصنوعی هستند.
- **سیستم‌های مکاترونیک خبره:** دستگاه‌های هوشمند و سیستم‌های نهفته[1].

واژه‌ی «رباتیک[2]» برای اولین بار در سال ۱۹۴۲ میلادی توسط ایزاک آسیموف، نویسنده‌ی کتاب‌ها و داستان‌های علمی تخیلی در یک داستان کوتاه به نام Runaround مورد استفاده قرار گرفت. او در این داستان ظهور صنعت قدرتمند رباتیک را پیش‌بینی و قوانین سه‌گانه‌ی رباتیک را بیان کرده بود. هر چند که نوشته‌های آسیموف در آن زمان تنها یک اثر ادبی محسوب می‌شد و هیچ مبنای فنی و علمی نداشت اما پیش‌بینی‌های او درباره‌ی گسترش صنعت رباتیک در نهایت به حقیقت بدل شد.

با وجود اینکه تعاریف استانداردی برای انواع خاصی از ربات‌ها مثل ربات‌های صنعتی ارائه شده است اما به جرأت می‌توان گفت هیچ تعریف جامعی برای ربات وجود ندارد. با این حال می‌توانیم مشخصاتی را برای یک ربات در نظر بگیریم تا از روی آن‌های قضاوت کنیم که یک دستگاه ربات است یا خیر. این مشخصات اساسی عبارتند از:

- **حس:** پیش از هر چیز یک ربات باید بتواند به طریقی محیط اطراف خود را درک کند.
- **حرکت:** ربات باید بتواند در محیط خود حرکت کند. این حرکت می‌تواند صرفاً حرکت اجزای ربات در محل خود باشد یا جابجایی ربات از مکانی به مکان دیگر باشد.
- **انرژی:** ربات باید بتواند انرژی مورد نیاز خود را تأمین کند. (به عنوان مثال با استفاده از سلول‌های خورشیدی)
- **هوش:** ربات باید بداند با قرارگیری در یک موقعیت خاص باید چه کاری انجام دهد. این ویژگی از طریق برنامه‌نویسی به ربات داده می‌شود.

## ۲-۱ ربات سیار و کاربردهای آن

امروزه صنعت رباتیک توانسته است جایگاه خود را در دنیای تولیدات صنعتی ثابت کند. ربات‌های بازو یک تجارت ۲ میلیارد دلاری را به خود اختصاص داده‌اند؛ بازوهایی که از مفصل خود در نقطه‌ی مشخصی از

---

[1] Embedded Systems

[2] Robotics

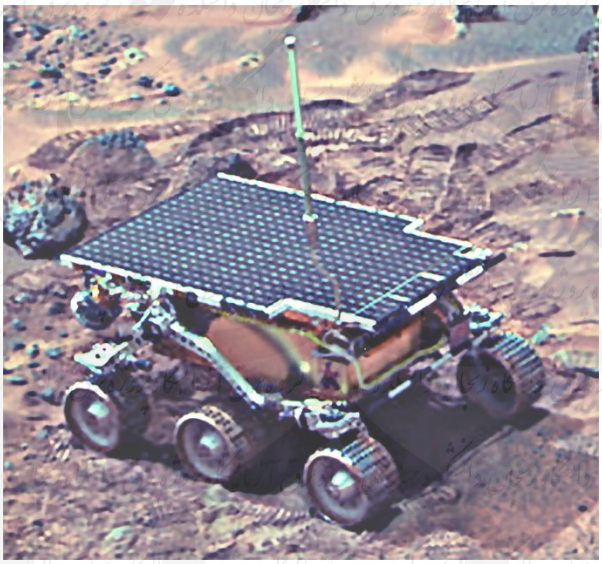
خط تولید نصب می‌شوند و با سرعت و دقت بسیار بالا اعمالی همچون جوشکاری و نقاشی را انجام می‌دهند (شکل ۱-۱). در صنعت الکترونیک بازوهای رباتیک اتصالات سطحی قطعات را با دقت بسیار بالایی انجام می‌دهند؛ همین موضوع است که تولید فزاینده‌ی تلفن‌های همراه و لپ‌تاپ‌ها را ممکن ساخته است.

هنوز با وجود تمام این موفقیت‌ها ربات‌های تجاری از یک ضعف بنیادی رنج می‌برند؛ و آن عدم امکان جابجایی است. در واقع یک بازوی رباتیک ثابت، برد حرکتی محدودی دارد که وابسته به محل نصب آن است. در مقابل، یک ربات متحرک این توانایی را دارد تا خارج از محیط تولیدی نیز حرکت کند و به راحتی قابلیت‌های خودش را در جایی که مؤثرتر است نشان دهد.

شکل ۱-۱ ربات صنعتی جوشکار مدل IRB 1520ID ساخت شرکت ABB

یک ربات سیار چگونه می‌تواند بدون نظارت انسانی در محیط‌های مختلف قدم بگذارد و وظایف خود را انجام دهد؟ اولین مشکل، جابجایی خود ربات است. یک ربات متحرک چگونه باید حرکت کند؟ و مکانیزم‌های حرکتی مختلف چه تفاوت‌ها و چه مزیت‌هایی نسبت به همدیگر دارند؟

محیط‌های ناهمواری مثل سطح مریخ نیاز به مکانیزم‌های حرکتی خاص‌تری دارند (شکل ۱-۲). در محیط‌های خطرناک‌تر، حتی روی سطح زمین، در کنار حسگرهای تعبیه شده روی ربات سیستم‌های کنترل از راه دور به طور گسترده‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرند. در چنین مواردی انسان وظایف ادراکی و مکانیابی را انجام می‌دهد و ربات نیز حرکات اساسی خود را کنترل می‌کند.



شکل ۱-۲ ربات سیار سوجورنر (Sojourner) در سال ۱۹۹۷ برای عملیات اکتشاف در سطح سیاره‌ی مریخ استفاده شده بود.

به عنوان مثال ربات سیار «پلاستک[1]» هماهنگی بین پاهایش را به طور خودکار ایجاد می‌کند در حالی که کاربر انسانی فقط جهت کلی حرکت ربات را تعیین می‌کند (شکل ۱-۳).

همچنین نوع خاصی از ربات‌ها با عنوان خودروهای هدایت‌شونده‌ی خودکار (AGV[2]) با استفاده از حسگرهای مخصوص، می‌توانند به طور خودکار در محیط کارخانه قطعات و دستگاه‌های سنگین را بین جایگاه‌های مختلف خط تولید جابجا کند. این نوع ربات‌ها کاربرد زیادی در صنایع و کارخانجات مدرن دارند. شرکت Swisslog جدیدترین نسل از ربات‌های AGV را با نام TransCar تولید کرده است (شکل ۱-٤).

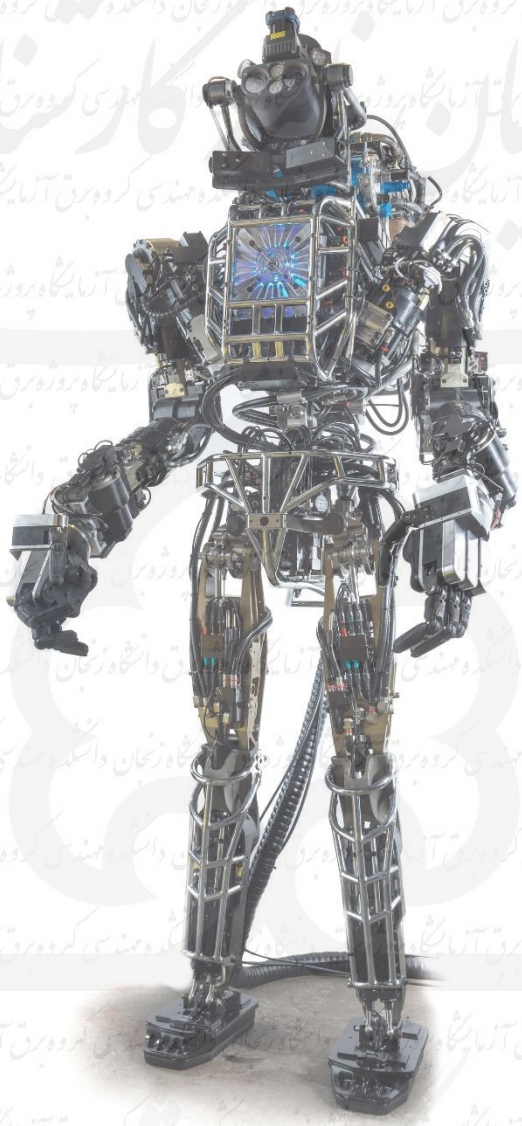
[1] Plustech

[2] Autonomous Guided Vehicle

شکل ۱-۳ پلاستک، اولین ربات سیار تحت کنترل برنامه را تولید کرد. این ربات به منظور خارج کردن چوب از جنگل طراحی شده بود.

شکل ۱-۴ یک ربات AGV متعلق به شرکت Swisslog که به منظور جابجا کردن قطعات بزرگ از مکانی به مکان دیگر استفاده می‌شود.

ربات اطلس[1] که محصول مشترک DARPA[2] و Boston Dynamics است جدیدترین و پیشرفته‌ترین ربات انسان‌نمای دنیاست. در این ربات باشکوه از ۲۸ مفصل متحرک هیدرولیکی، یک سنسور پیشرفته‌ی LIDAR[3]، سیستم بینایی استریو، یک کامپیوتر داخلی قدرتمند، و مجموعه‌ای از پیشرفته‌ترین تجهیزات رباتیک موجود در دنیا استفاده شده است. اطلس از لحاظ توانایی شبیه‌ترین ربات به انسان است.



شکل ۱-۵ اطلس، یکی از پیشرفته‌ترین ربات‌های ساخته شده به دست بشر

[1] Atlas

[2] Defense Advanced Research Projects Agency

[3] Light Detection and Ranging

**دانشجویان محترم:**

**جهت دسترسی به متن کامل پایان نامه‌ها به کتابخانه دانشکده مهندسی و یا آزمایشگاه پروژه گروه برق مراجعه فرمایید.**

# مراجع


[1] S. G. Tzafestas, Introduction to Mobile Robot Control, Elsevier, London, 2014.

[2] R. Siegwart, I.R. Nourbakhsh and D. Scaramuz, Introduction to Autonomous Mobile Robots, MIT Press, Cambridge, MA, second edition, 2011.

[3] T. Bräunl, Embedded Robotics: Mobile Robot Design and Applications with Embedded Systems, Springer-Verlag, Heidelberg, third edition, 2008.

[4] E. Williams, Make: AVR Programming, Maker Media, Sebastopol, CA, 2014.

[5] R. Toulson and T. Wilmshurst, Fast and Effective Embedded Systems Design - Applying the ARM mbed, Elsevier, Oxford, 2012.

[6] M. W. Spong, S. Hutchinson, and M. Vidyasagar, Robot Modeling and Control, Wiley, New York, 2005.

[7] G. McComb, Robot Builder's Bonanza, McGraw-Hill, New York, fourth edition, 2011.

[8] A. Noureldin, T. B. Karamat, and J. Georgy, Fundamentals of Inertial Navigation, Satellite-based Positioning and their Integration, Springer-Verlag, Heidelberg, 2013.