



## طراحی و ساخت شاسی تلسکوپی خود تنظیم و سیستم تعادل الکترونیکی برای ربات بالا رونده از درخت

حامد شکری پور<sup>۱</sup>، زهرا معزکریمی<sup>۲</sup>

دانشجوی اتوماسیون و رباتیک در کشاورزی، دانشگاه پوترا، سردانگ، مالزی و دانشجوی مهندسی کامپیوتر و فن آوری اطلاعات، دانشگاه صنعتی امیرکبیر

### چکیده

هدف از انجام این پروژه طراحی و ساخت یک ربات ۴ چرخ بود که قادر به بالا رفتن از درخت باشد. اهداف دنبال شده در این پروژه شامل:

- ۱- استفاده از انرژی الکتریکی و موتورهای الکتریکی به جای استفاده از انرژی‌های هیدرولیکی و پنوماتیکی.
- ۲- طراحی و ساخت رباتی با حداقل وزن ممکن که قادر به عبور از روی ناهمواریهای درخت باشد.
- ۳- استفاده از یک سیستم کنترل الکترونیکی برای حفظ تعادل ربات با استفاده از کنترل مجزای هر یک از موتورهای آن.

انرژی الکتریکی با توجه به مزایای بسیاری که دارد مانند انتقال سریع و با تلفات بسیار کم انرژی، تنوع بالا در موتورها و هزینه کم تجهیزات جایگزین مناسبی برای انرژی‌های هیدرولیک و پنوماتیک مخصوصاً در رشته رباتیک می‌باشد. رباتهای بالارونده از درخت در مقایسه با رباتهای بالارونده از تیرها دارای پیچیدگی و حساسیت بیشتر در طراحی و ساخت هستند زیرا این رباتها با یک سطح ناهموار غیرقابل پیش‌بینی روبه‌رو هستند. علاوه بر این قطر درخت در تمام طول آن متغیر بوده و در بیشتر موارد سطح مقطع آن دایره کامل نمی‌باشد. با استفاده از سیستم کنترلی طراحی شده زاویه ربات بر روی هر یک از محورهای  $X$  و  $Y$  نسبت به افق در هر لحظه محاسبه می‌گردد و بسته به مقدار و مثبت یا منفی بودن زاویه سرعت‌های موتورهای محرک هر یک از چهار چرخ‌های ربات به صورت مجزا محاسبه و تنظیم می‌شود. برای انجام مراحل آنالیز و محاسبه داده‌ها از یک میکروکنترلر ATmega64 استفاده شده است. سرعت موتورها با استفاده از روش PWM کنترل و تنظیم می‌شود. در این روش میکروکنترلر ولتاژی به صورت موج مربعی شکل به موتورها ارسال می‌کند. در مدتی که مقدار ولتاژ ماکزیمم یعنی  $\square$   $\square$  ولت است موتور روشن و در مدتی که مینیمم یعنی صفر ولت است موتور خاموش است. با توجه به نسبت پهنای موج ارسال شده در حالت ماکزیمم و مینیمم، سرعت موتور تغییر می‌کند.

□

کلمات کلیدی: ربات بالا رونده، شاسی تلسکوپی، میکروکنترلر، سیستم کنترل سرعت، PWM.

## مقدمه:

از آنجا که رباتهای سیار روز به روز هوشمندتر می‌شوند استفاده از آنها در زمینه‌های مختلف مانند صنعتی، کشاورزی و حتی نظامی رو به افزایش است (Bostelman et al., 2005). در کشاورزی سنتی بیشتر کارها به وسیله کشاورز انجام می‌شد که این کارها معمولاً بسیار سخت و خسته‌کننده و گاهی خطرناک بودند. کشاورزی یکی از آخرین صنایع است که در آن از رباتها و ماشینهای هوشمند استفاده شده است (Sistler, 1987). بسیاری از کارهای کشاورزی مانند کوددهی دقیق، تشخیص بیماری گیاهان، سم‌پاشی دقیق و برداشت گزینه‌ای محصولات رسیده به جای برداشت همزمان همه محصولات را می‌توان به کمک رباتها انجام داد (Belforte et al., 2006). تا اکنون رباتهای متعددی برای برداشت محصولات مختلف مانند گوجه‌فرنگی، خیار و قارچ طراحی و ساخته شده‌اند (Kondo et al., 1994) و (Kondo et al., 1995) و (Reed et al., 1995) که این محصولات اکثراً محصولات گلخانه‌ای هستند. ساختن رباتهایی برای برداشت محصول درختان موضوعی است که مورد توجه بسیاری از محققین قرار دارد. یکی از مهمترین چالشها در مورد رباتهای برداشت کننده میوه درختان دسترسی ربات به محصول است. محصولات درختانی مانند خرما، نارگیل و oil palm دارای اهمیت غذایی و اقتصادی بسیاری هستند و پروژه‌های متعددی برای طراحی و ساخت ماشینها و رباتها برداشت آنها انجام شده است. دو روش‌های سنتی برداشت محصول این درختان وجود دارد. در روش اول کارگر از درخت بالا رفته و محصول را برداشت می‌نماید و در روش دوم کارگر با استفاده از داسی بسیار تیز که بر روی یک بازوی بسیار بلند نصب شده است از روی زمین اقدام به قطع ساقه میوه و برداشت محصول می‌نماید (Blackmore et al., 2005). با توجه به اینکه این درختان فاقد هرگونه شاخه در طول تنه درخت هستند، ساختن رباتی که بتواند از درخت بالا رود می‌تواند راهکار مناسبی برای رسیدن به محصول باشد و در مرحله بعد با نصب ابزار برش مناسب بر روی این ربات می‌توان این محصولات را برداشت کرد.

یکی از مهمترین مسائل در طراحی این رباتها ایجاد نیروی چسبندگی مناسب بین ربات و درخت است به طوری که ربات بتواند بدون لغزیدن از درخت بالا رود. در مرحله بعد حفظ تعادل و بالانس ربات در طی مرحله بالا رفتن برای جلوگیری از قفل شدن ربات به درخت بسیار اهمیت دارد.

تاکنون رباتهای متعددی برای بالا رفتن از تیرها طراحی و ساخته شده‌اند (Baghani et al., 2005) و (Kawasaki et al., 2008) و (Yazdani et al., 2004) اما شرایط تنه درختان به علت ناهمواریهای موجود بر روی آنها و عدم یکنواختی قطر و شکل سطح مقطع آنها طراحی رباتهای بالا رونده از درخت را پیچیده تر می‌سازد.

## روشها و مواد:

کلمه ربات توسط Karel Capek نویسنده نمایشنامه R.U.R (ربات‌های جهانی روسیه) در سال ۱۹۲۱ ابداع شد. ریشه این کلمه، کلمه چک اسلواکی robotnic به معنی کارگر می‌باشد. امروزه معمولاً کلمه

ربات به معنی هر ماشین ساخت بشر است که بتواند کار یا عملی که به طور طبیعی توسط انسان انجام می شود را انجام دهد.

استفاده از رباتها دارای مزایایی متعددی هستند که از آن جمله میتوان به موارد زیر اشاره کرد:

۱. رباتیک و اتوماسیون در بسیاری از موارد می توانند ایمنی، میزان تولید، بهره و کیفیت محصولات را افزایش دهند □

۲. خطاهای کاری ناشی از خستگی □ □ □ نامناسب بودن محیط کار □ تکراری بودن کار در مورد رباتها وجود ندارد.

۳. دقت کار رباتها □ خیلی بیشتر از انسانها است.

۴. میتوان با استفاده از برنامه های کنترلی مختلف از آنها برای انجام کارهای مختلف استفاده کرد.

همه رباتها از سه قسمت اصلی زیر تشکیل شده اند:

۱. بخش مکانیکی و محرک شامل شاسی، موتور، چرخها، چرخ دنده ها که وظیفه انجام کار فیزیکی تعریف شده برای ربات را بر عهده دارد .

۲. بخش محاسباتی و تصمیم گیری که معمولاً یک کامپیوتر یا میکروکنترلر است که وظیفه دریافت و آنالیز داده ها و کنترل و هماهنگی اجزاء مکانیکی را بر عهده دارد.

۳. سنسور که می تواند از انواع بینایی، صوتی، تعیین دما، تشخیص نور، تماسی یا حرکتی باشد و وظیفه دریافت اطلاعات از محیط را بر عهده دارد □

ربات بالارونده از درخت طراحی و ساخته شده در این پروژه دارای یک شاسی مربعی شکل است که در وسط هر ضلع یک مجموعه شامل دو یا چهار چرخ و یک موتور DC برای به حرکت در آوردن این چرخها به کار رفته است. یکی از اضلاع شاسی این ربات با پیچ و مهره به شاسی متصل شده است. برای قرار دادن این ربات به دور درخت این قسمت را باز و جدا کرده و بعد از قرار دادن ربات در محل مناسب آن را مجدداً متصل و محکم کرده و ربات آماده حرکت میشود. منبع تغذیه این ربات جریان مستقیم ۱۲ ولت است که توسط باتری تراکتور تامین میشود. در ادامه به طور مختصر هر یک از قسمت های این ربات توضیح داده میشود.

## ۱. قسمت های مکانیکی:

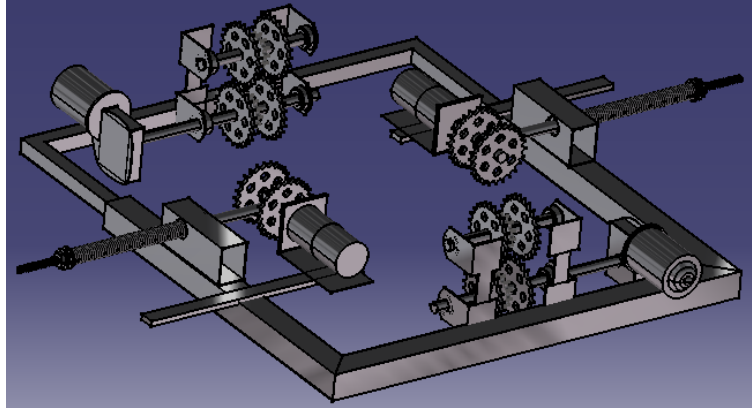
### ۱.۱. چرخها:

یکی از مهمترین اجزاء یک ربات بالارونده چرخ های آن هستند. جنس و طرح چرخها بستگی به جنس، ضریب اصطکاک سطح و وزن ربات تعداد چرخها دارد. در اکثر رباتهای بالارونده از تیرهای برق و درختان از چرخهایی با پوشش لاستیکی آج دار استفاده شده است. بعد از مطالعات و تست انواع مختلف چرخ بر روی درخت، چرخهایی دندانه دار با ضخامت کم که قادر به نفوذ در تنه درخت در اثر یک نیروی فشاری کم باشد برای این ربات در نظر گرفته شد. این چرخ باید در حد امکان سبک و در برابر بارهای وارده به آن مقاوم باشد. با توجه به خصوصیات بیان

شده، چرخ دنده زنجیر خود به عنوان چرخ برای این ربات انتخاب و بعد از انجام مراحل ماشین‌کاری و آماده‌سازی مورد استفاده قرار گرفت. نوک تیز دندان‌های آن به خوبی در بدنه درخت نفوذ کرده و اولاً باعث ایجاد اصطکاک کافی برای حرکت و بالا رفتن ربات بر روی درخت می‌شود و ثانیاً به خوبی از سُر خوردن و سقوط ربات جلوگیری می‌کند. به دلیل آلیاژ بسیار محکمی که در ساخت این چرخ‌ها استفاده شده است هیچ گونه شکستگی در دندان‌ها یا تغییر فرم و حالت لنگی در صفحه چرخ بر اثر وزن ربات ایجاد نگردید. در اثر ایجاد سوراخهایی در روی دیسک چرخ توانستیم وزن هر چرخ را تا حدود ۲۰٪ کاهش دهیم.

یک مجموعه شامل چرخ‌ها و موتور در وسط هر یک از اضلاع شاسی مربعی شکل ربات نسبت گردید. در ابتدا هر مجموعه شامل □ عدد چرخ بود که بر روی یک شفت ثابت شده بودند. انتهای دیگر شفت به وسیله کولپلینگ مخصوص طراحی شده به شفت خروجی موتورهای DC وصل شده بود. استفاده از ۲ چرخ برای هر مجموعه باعث افزایش تعادل و اصطکاک شده و بالا رفتن ربات از درخت را بهبود می‌بخشد. فاصله بین دو چرخ بر روی شفت ۵ cm □ است که این فاصله با استفاده از انجام آزمون و خطا بر روی درخت خرما به دست آمد و با توجه به طراحی ربات قابل تغییر و تنظیم برای درختان دیگر است. این فاصله ۵ cm □ در نظر گرفته شده در درجه اول حداکثر تعادل را برای ربات بر روی درخت ایجاد می‌کند و علاوه بر این میزان تماس و نفوذ دندان‌های چرخ‌ها با تنه درخت حداکثر مقدار ممکن است.

بعد از انجام آزمایشات متعدد بر روی نمونه‌های واقعی درخت مشاهده شد که ناهمواریهای روی تنه درخت شامل برآمدگیها و حفره‌ها بر روی ایجاد تماس و اصطکاک کافی بین چرخ‌ها و سطح درخت اثر منفی داشته و روند بالا رفتن ربات را دچار مشکل می‌سازد. این مشکل در موقع عبور از روی برآمدگیها شدیدتر است. در لحظه بالا رفتن از برآمدگی چرخ‌ها هیچ مشکلی ندارند اما بعد از رسیدن به قله در مرحله پایین آمدن از برآمدگی نمی‌توانند تماس و اصطکاک کافی را با سطح درخت ایجاد کنند در نتیجه چرخ در آن نقطه دچار لغزش شده و در جا دوران میکند. برای رفع این مشکل از چرخ‌های اضافی برای دو ضلع مقابل هم ربات استفاده کردیم برای این منظور یک شفت و دو چرخ در زیرمجموعه اول قرار دادیم، دو طرف شفت این مجموعه در بلبرینگهایی قرار گرفت تا شفت و در نتیجه چرخ‌ها بتوانند به راحتی دوران کنند. نیروی محرکه این چرخ‌ها به وسیله زنجیر از شفت مجموعه اصلی دریافت می‌شود، از آنجا که اندازه چرخ‌ها و دنده زنجیر خورهای استفاده شده برای انتقال توان برای مجموعه اصلی و کمکی یکسان است، در نتیجه سرعت دوران چرخ‌های هر دو یکسان و همزمان می‌باشد. در واقع این دو مجموعه با توجه به داشتن چرخ‌های کمکی و موتور □ DC قوی‌تر، نقش اصلی را در بالا رفتن ربات برعهده دارند و دو مجموعه دیگر در حفظ تعادل ربات و بالانس کردن آن نقش دارند. □ شکل ۱ طرح شماتیک ربات و موقعیت چرخ‌ها و موتورها را نشان می‌دهد.



شکل ۱. شاسی تلسکوپی و سیستم چرخ و موتور ربات

### ۱.۲. موتورهای DC:

امروزه استفاده از انرژی الکتریکی به دلیل مزایای بسیاری که دارد جایگزین انرژی‌های هیدرولیک و نیوماتیک بویژه در علم رباتیک شده است. از جمله این مزایا می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

۱. انتقال سریع و بدون تلفات انرژی از منبع به مصرف‌کننده‌ها.
  ۲. وزن کم و انعطاف‌پذیری بیشتر سیم‌های برق در مقایسه با شلنگهای هیدرولیک و نیوماتیک.
  ۳. کنترل ساده‌تر و دقیق‌تر موتورهای الکتریکی در مقایسه با موتورهای هیدرولیکی و نیوماتیکی.
  ۴. وزن کم، اندازه کوچک و تنوع بیشتر موتورهای الکتریکی در مقایسه با موتورهای هیدرولیکی و نیوماتیکی.
- در این ربات از یک عدد موتور DC به عنوان محرک برای هر یک از مجموعه چرخ‌ها استفاده گردید. موتورهای استفاده شده برای چرخ‌های بالابر قوی‌تر انتخاب شد و برای چرخ‌های تعادل ربات از موتورهای کوچکتر و ضعیفتر استفاده گردید. همه این موتورها دارای سرعت یکسان هستند تا در هنگام بالا رفتن تعادل ربات حفظ شود. جدول-های ۱ و ۲ برخی از مشخصات فنی این موتورها را نشان می‌دهند.

جدول ۲. مشخصات فنی موتور سیستم بالابر

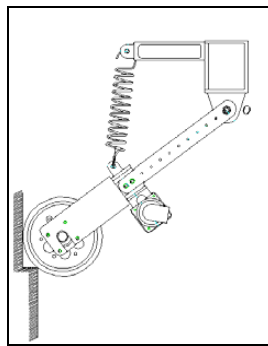
Nominal torque	8Nm
Stall torque	25Nm
High speed	60rpm 1.5 A
Low speed	40rpm 1.0A
Weight	1 Kg

جدول ۱. مشخصات فنی موتور سیستم تعادل

Nominal torque	3.5Nm
Stall torque	11Nm
High speed	60 rpm
power	14W
Weight	0.55 Kg

### ۱.۳. شاسی ربات:

یکی از مهمترین فاکتورها در طراحی و ساخت رباتهای بالارونده وزن ربات است. افزایش وزن ربات مستقیماً بر روی طراحی و انتخاب قطعات ربات اثر دارد. افزایش وزن باعث نیاز به موتورهای قوی‌تر، نیروی چسبندگی بیشتر برای جلوگیری از سر خوردن و قطعاتی با قدرت تحمل تنش‌های بیشتر می‌شود. در طراحی شاسی این ربات از پروفیل‌های آلومینیومی با ابعاد  $3.5 \times 3.5$  Cm استفاده شده است. طراحی و ساخت شاسی این ربات بسیار حساس، ظریف و کاملاً متفاوت با رباتهای بالارونده موجود است. در طرح‌های قبلی رباتهای بالارونده چرخ‌ها بر روی یک بازو نصب شده و بازو با یک لولا به شاسی اصلی متصل می‌شدند. از یک فنر جمع شونده که بین بازو و شاسی قرار دارد برای ایجاد نیروی چسبندگی بین ربات و تیر استفاده می‌شود. شکل ۲ مکانیزم این سیستم را نشان می‌دهد.

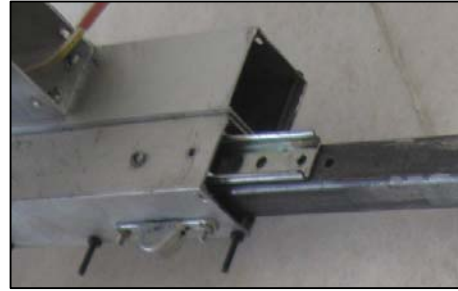


شکل ۲. مکانیزم بازوی لولایی و فنر جمع شونده برای رباتهای بالا رونده

در این ربات چرخ‌های بالابر روی شاسی اصلی ثابت شده‌اند و با استفاده از حالت تلسکوپی که در شاسی ایجاد شد فاصله چرخ‌ها از درخت تنظیم می‌شود. برای ایجاد حالت تلسکوپی از دو چهارچوب U شکل که یکی با پروفیل آهنی با ابعاد سطح مقطع  $2 \times 2$  cm و دیگری از یک پروفیل آلومینیومی با ابعاد سطح مقطع  $3.5 \times 5$  cm استفاده شد. پایه‌های موازی پروفیل فلزی دون پایه‌های موازی پروفیل آلومینیومی قرار گرفته و به نرمی در آن حرکت می‌کند. ضلع سوم پروفیل آهنی برش داده شده و با پیچ و مهره به پایه‌های موازی متصل می‌گردند. برای قرار دادن ربات به دور درخت این ضلع باز و جدا شده و بعد از قرار گرفتن در موقعیت مناسب مجدداً بسته می‌شود. شکل ۳ و ۴ حالت تلسکوپی بازوها و نحوه اتصال ضلع سوم را نشان می‌دهد. □



شکل ۴. ضلع باز شونده ربات



شکل ۳. مکانیزم ایجاد حالت تلسکوپی

نیروی فشاری مورد نیاز برای نفوذ دندان چرخها در درخت و ایجاد اصطکاک کافی برای بالا رفتن به وسیله یک مکانیزم ساده و پرتوان با استفاده از یک فنر و یک پیچ ایجاد گردید. یک فنر جمع شونده با ضریب ثابت فنریت  $1\text{ cm}\cdot\text{N}$  و قطر  $6.5\text{ mm}$ ، قطر  $3\text{ cm}$  و طول  $15\text{ cm}$  درون هر یک از پایه‌های شاسی آلومینیومی قرار داده شده است. یک سر این فنر به شاسی آلومینیومی ثابت شده است و سر دیگر آن به یک پیچ با قطر  $14\text{ mm}$  و طول  $60\text{ cm}$  متصل گردید. سر دیگر این پیچ از درون پایه شاسی فلزی عبور و از انتهای آن خارج گردیده است. وقتی ربات به دور درخت قرار می‌گیرد با محکم کردن مهره این پیچ، شاسی فلزی حرکت کرده و به درخت می‌چسبد. با بیشتر پیچیدن این مهره، چون شاسی ثابت است پیچ به سمت بیرون شاسی کشیده می‌شود که باعث کشیده شدن فنر داخل شاسی می‌شود و فشار چرخها روی درخت را بیشتر می‌کند. این سیستم چند مزیت بسیار مهم دارد:

۱. در اثر تغییر ابعاد قطر درخت هنگام بالا رفتن، این فنر باز و جمع می‌شود و در واقع ابعاد شاسی ربات را به صورت اتوماتیک تنظیم می‌کند.
۲. هنگام عبور از ناهمواریها این مکانیزم مانند یک کمک فنر عمل کرده و حرکت ربات را کاملاً نرم و یکنواخت می‌کند.
۳. فشار ایجاد شده از طرف چرخ به درخت، در این سیستم در مقایسه با طرحهای قبلی بسیار بیشتر بوده در نتیجه اصطکاک بیشتری برای بالا رفتن ربات ایجاد می‌کند.
۴. فشار ایجاد شده از طرف چرخ به درخت رابطه مستقیم با میزان پیچیده شده مهره روی پیچ دارد و اپراتور می‌تواند آن را بسادگی تنظیم کند.

## ۲. قسمت‌های الکتریکی:

مهمترین مسأله درباره رباتهای بالارونده حفظ تعادل و بالانس آنها در هنگام بالا رفتن است. این مسأله در مورد رباتهای بالارونده از درخت به علت عدم یکنواختی و ناهمواری سطح درخت و متغیر بودن شکل و ابعاد تنه درخت بسیار بیشتر است. یکی دیگر از عوامل مؤثر در برهم خوردن تعادل ربات سرعت دوران موتورهای الکتریکی با وجود داشتن مشخصات و کارخانه تولید یکسان در زیر بار است. کج شدن ربات در اثر بالاتر قرار گرفتن یک ضلع

ربات نسبت به اضلاع دیگر ربات اتفاق می‌افتد. برای حل این مشکل به سیستمی نیاز داریم تا سرعت موتورهای DC را نسبت به زاویه کج شدن ربات طوری کنترل کند که ربات همیشه در حالت بالانس قرار گیرد. این سیستم شامل یک عدد سنسور برای اندازه‌گیری میزان کج شدگی شاسی، یک عدد میکروکنترلر برای دریافت اطلاعات سنسور و محاسبه سرعت مناسب برای هر موتور و یک نرم‌افزار برای میکروکنترلر برای انجام محاسبات و آنالیز داده‌ها می‌باشد.

## ۲.۱. سنسور زاویه:

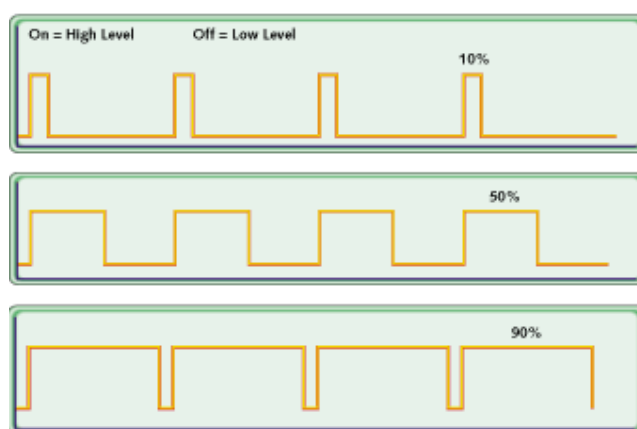
برای اندازه‌گیری زاویه کج شدگی شاسی ربات از یک سنسور زاویه با نام ZTC245 AN TTL استفاده شده است. این سنسور توانایی اندازه‌گیری زاویه کج شدگی را در هر دوی محورهای X و Y به طور همزمان دارد. دقت اندازه‌گیری این سنسور برای هر محور یک دهم درجه است و حداکثر می‌تواند تا زاویه  $\pm 45^\circ$  تا  $-45^\circ$  درجه را اندازه‌گیری نماید. این سنسور توسط کارخانه سازنده طوری تنظیم شده است که در شرایط بالانس کامل مقدار صفر درجه را برای هر دوی محورهای X و Y نشان می‌دهد و نیازی به تنظیم ندارد. این سنسور مقادیر اندازه‌گیری شده برای محورهای X و Y در یک مجموعه ۱۶ بیتی داده برای میکروکنترلر ارسال می‌کند (ZCT245AN datasheet). ترتیب ارسال این داده‌ها ثابت است بنابراین هنگامی که میکروکنترلر بتواند اولین داده این مجموعه را تشخیص دهد می‌تواند با کمک آن تشخیص دهد که بعد از آن هر بایت حاوی چه اطلاعاتی است. تشخیص بایت اول این مجموعه و آنالیز آنها به کمک نرم‌افزار طراحی و نوشته شده برای میکروکنترلر امکان‌پذیر شده است. این سنسور اطلاعات خود را در فرمت TTL ارسال می‌کند. در این فرمت برای نشان دادن مقدار صفر منطقی ولتاژی کمتر از ۱ ولت و برای نشان دادن یک منطقی از ولتاژ بیشتر از ۳.۵ ولت استفاده می‌شود و از آنجا که ولتاژ کاری میکروکنترلر نیز بین صفر و ۵ ولت است نیازی به مبدل بین آنها نیست. این سنسور اطلاعات خود را به صورت کد اسکی برای میکروکنترلر ارسال می‌کند. میکروکنترلر نیاز دارد که این اطلاعات را به فرمت رشته (string) تبدیل کند تا بتواند از آنها برای انجام محاسبات بعدی استفاده کند.

## ۲.۲. میکروکنترلر:

در این پروژه از میکروکنترلر ATmega64 به عنوان واحد پردازش ریاضی و منطقی استفاده می‌گردد. سنسور زاویه داده‌های خود را به میکروکنترلر فرستاده تا بعد از آنالیز و تبدیل به فرمت‌های مناسب برای محاسبه سرعت هر موتور به کار روند. این میکروکنترلر دارای ۵۳ پورت ورودی / خروجی، ۶۴ بایت حافظه داخلی قابل برنامه‌نویسی، ۶ پایه که قادر به تولید سیگنال PWM می‌باشد (Microcontroller datasheet). یکی از امتیازات مهم این میکروکنترلر قابلیت برنامه‌ریزی سریع و آسان آن است. این میکروکنترلر بسیار کوچک و در مقایسه با دیگر میکروکنترلرها بسیار ارزان است. برای برنامه‌نویسی این میکروکنترلر از نرم‌افزار Bascome و زبان برنامه‌نویسی basic استفاده شده است.



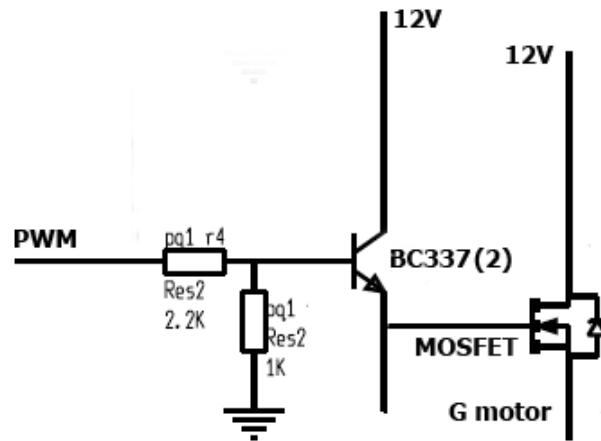
هدف اصلی استفاده از سنسور و سیستم پردازش محاسبه و کنترل سرعت هر یک از ۴ موتور DC به کار رفته در این ربات به صورت جداگانه و متناسب با زاویه خم‌شدگی ربات است. بهترین و دقیقترین روش کنترل سرعت موتورهای DC استفاده از روش مودولاسیون پهنای پالس (PWM) است. سرعت دوریا چرخش یک موتور DC با مقدار ولتاژ ورودی □ آن رابطه مستقیم و خطی دارد و در روش PWM از همین خاصیت برای کنترل سرعت موتورها استفاده می‌شود. در این روش موجی مربعی شکل با فرکانس ثابت تولید می‌شود، اما پهنای پالس فعال تولید شده براساس نیاز متغیر خواهد بود. شکل ۵ یک سیگنال PWM تولید شده به وسیله میکروکنترلر را نشان می‌دهد. در حالت اول این سیگنال موتور را با ۱۰٪ حداکثر سرعت خود دوران می‌دهد و درحالت‌های بعدی به ترتیب با ۵۰٪ و ۹۰٪ حداکثر سرعت خود دوران می‌دهد.



شکل ۵. سیگنال‌های PWM □ تولید شده به وسیله میکروکنترلر

میکروکنترلر می‌تواند موجهایی با ولتاژ بین صفر تا ۵ ولت تولید کند و این در حالی است که موتورهای DC □ به کار برده شده نیاز به ولتاژ ۱۲ ولت برای تحریک شدن دارند. در نتیجه یک مدار الکتریکی مورد نیاز است که بتواند این موج ۰ تا ۵ ولت را به موجی بین ۰ تا ۱۲ ولت تبدیل کند. برای این منظور از یک ترانزیستور به نام metal □ MOSFET (MOSFET) oxide semiconductor field effect transistor استفاده شده است. کلیدی الکترونیکی است که باز و بسته بودن آن به وسیله سیگنال PWM ارسالی از میکروکنترلر کنترل می‌شود. در مدتی که سیگنال در سطح ۵ ولت قرار دارد کلید بسته و در مدتی که صفر ولت است کلید باز است. MOSFET توان تحمل عبور جریان ۱۲ ولت را تا ۵۰ آمپر دارا است اما برای تحریک و قطع و وصل آن به یک جریان ۱۲ ولت نیاز است در حالی که میکروکنترلر میتواند حداکثر جریان ۵ ولت تولید کند. بنابراین سیگنال PWM ابتدا به یک ترانزیستور با نام تجاری BC337 □ فرستاده می‌شود. این ترانزیستور نیز دقیقاً عملکردی مانند MOSFET □ داشته و مانند یک کلید الکترونیکی عمل می‌کند با این تفاوت که با یک جریان ۵ ولت و ۱ آمپر می‌توان آن را تحریک نمود. یک سر این ترانزیستور به منبع انرژی ۱۲ ولت و سر دیگر آن به پایه تحریک MOSFET متصل است و پایه تحریک آن به پایه تولیدکننده PWM میکروکنترلر وصل می‌شود. دو پایه دیگر

□ MOSFET یکی به منبع انرژی ۱۲ ولت و دیگری به موتور متصل است. شکل □ مدار این سیستم را نشان می‌دهد. مشابه این مدار برای هر یک از موتورها به کار برده شده است.



شکل ۶. مدار کنترل سرعت موتورها به وسیله سیگنال PWM □ □ □

سیگنال PWM تولید شده توسط میکروکنترلر برای هر موتور مجزا از موتورهای دیگر است. مقدار PWM می‌تواند بین ۰ تا ۱۰۲۳ باشد. در مقدار ۰ موتور خاموش و در مقدار ۱۰۲۴ موتور با حداکثر سرعت دوران می‌کند. برنامه نوشته شده برای این ربات به گونه‌ای است که در حالتی که میزان کج شدگی روی محورهای X و Y صفر باشد، PWM ارسالی برای همه موتورها مقدار ۱۰۲۴ است. اگر یکی از چرخ‌ها پایین‌تر از سه چرخ دیگر قرار گیرد، میکروکنترلر سرعت سه چرخ بالاتر را کاهش می‌دهد تا زمانی که ربات مجدداً کاملاً تراز و بالانس شود. موتورهای بالا بر روی محور X و موتورهای متعادل‌کننده روی محور Y قرار دارند. برحسب اینکه مقدار زاویه ارسال شده توسط سنسور زاویه مثبت یا منفی باشد، میکروکنترلر تشخیص می‌دهد که کدام چرخ بالاتر و کدام پایین‌تر قرار دارد. برنامه نوشته شده برای محاسبه PWM مناسب برای هر یک از موتورها به صورت زیر است.

```

If Yangle > 0 Then
  Pwm1b = 1023
  K1 = Yangle × 50
  If K1 > 1020 Then
    K1 = 1023
  End If
  K2 = 1023 - K1
  Pwm1a = K2
End If

```

در این برنامه متغیر Yangle مقدار زاویه کج شدگی بر روی محور Y □ است و Pwm1a و Pwm1b مقادیر PWM ارسالی به موتور هستند. این قسمت از برنامه فقط مربوط به حالتی است که مقدار Yangle بیشتر از صفر

باشد. مشابه این برنامه برای حالتی که مقدار  $\angle Y$  و  $\angle X$  و  $\angle X$  نیز وجود دارد که هر یک در واقع مقدار PWM را برای یکی از موتورها محاسبه می‌کند.

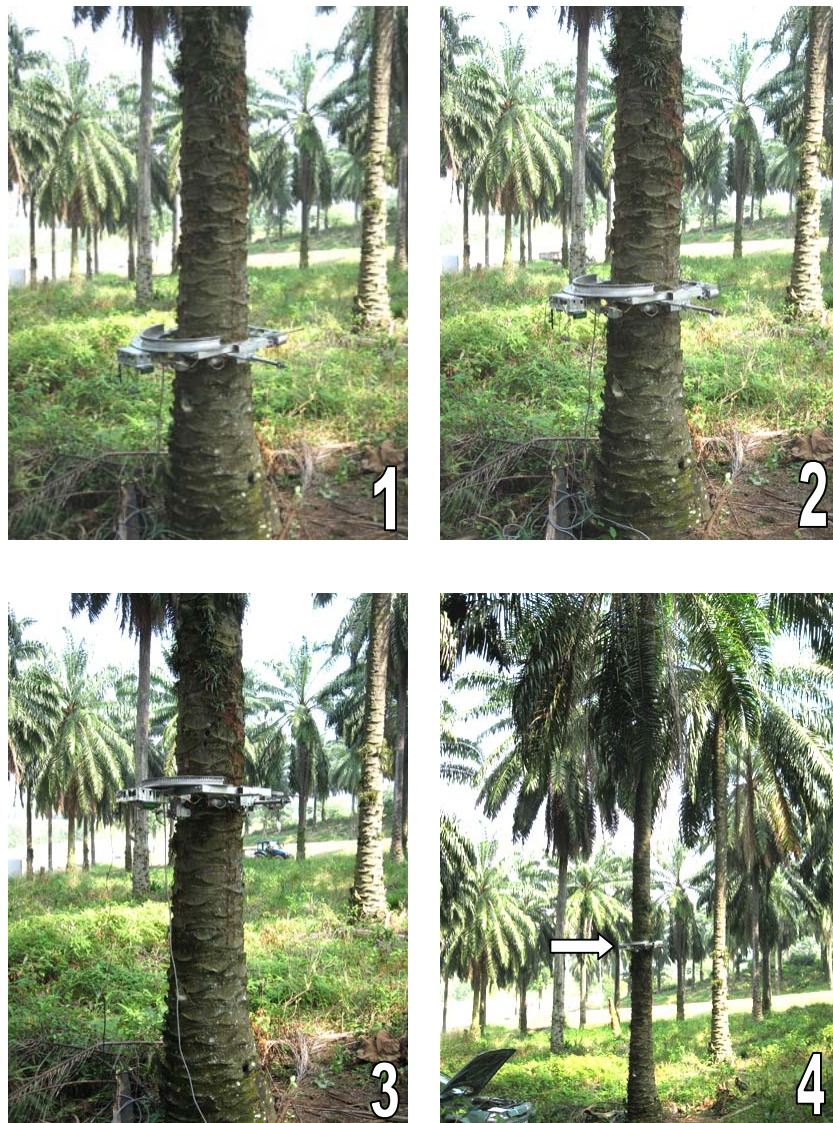
نکته قابل توجه این است که رابطه بین سیگنال PWM و سرعت موتور کاملاً خطی نیست مقادیر مختلف PWM ارسال شده برای مقادیر مختلف X و Y و سرعت موتورها نسبت به آنها در جدول ۳ نشان داده شده است.

جدول ۳. رابطه بین PWM تولید شده توسط میکروکنترلر و سرعت موتور با زاویه کج شدگی شاسی

زاویه کج شدگی درجه	سرعت موتور rpm	PWM
0	60	1023
2	56	923
4	52	823
6	49	723
8	45	623
10	40	523
12	33	423
14	25	323
16	15	223
18	6	123
20	0	23

نتیجه:

این ربات در شرایط آزمایشگاهی و شرایط مزرعه بر روی درخت تست گردید و توانست با موفقیت از درخت بالا رود. شکل ۷ این ربات را در حال آزمایش در مزرعه نشان میدهد.



شکل ۷. ربات در حال بالا رفتن از درخت در مرحله تست در مزرعه.

ماکزیمم زاویه کج شدگی در زمان بالا رفتن ۸ درجه بود که این مقدار مشکلی در حرکت ربات ایجاد نمی‌کرد. از باتری یک ماشین به عنوان منبع تغذیه برای موتورها و مدار استفاده شد و برای داشتن حداکثر توان در موتورها

موتور ماشین در حین انجام آزمایشها روشن نگه داشته شد. سرعت متوسط بالا رفتن ربات برای نمونه‌های مختلف مورد آزمایش به طور متوسط حدود ۱۴ ثانیه برای هر متر طول درخت به دست آمد.

مراجع:

1. R.V. Bostelman, T.H. Hongm, R. Madhavan, and T. Y. Chang. Safety standard advancement toward mobile robot use near humans. In Proc. of Intl. Conf. on Safety of Industrial Automated Systems (RIA SIAS), Chicago, IL, US, September 26–28 2005
2. Sistler, F. (1987), 'Robotics and intelligent machines in agriculture', IEEE Journal of Robotics and Automation 3(1), 3–6.
3. Belforte, G., R. Deboli, P. Gay, P. Piccarolo and D. Ricauda Aimonino (2006). Robot design and testing for greenhouse applications, Biosystems Engineering, 95 (3), 309-321.
4. Kondo N, Nakamura H, Monta M, Shibano Y, Mohri K, Arima S (1994) Visual sensor for cucumber harvesting robot. In: the Food Processing Automation Conference, pp 461–470
5. Kondo N, Fujiura T, Monta M, Shibano Y, Mohri K, Yamada H (1995) End-effectors for petty-tomato harvesting robot. Acta Horticulturae 399:239–245
6. Reed J, Crook S, He W (1995) Harvesting mushrooms by robot. In: Science and Cultivation of Edible Fungi, Elliott (Ed.), Balkema, Rotterdam, p 385391
7. Blackmore S, Have H, Shariff R, Noguchi N, (2005) Mobile Robots For Tree Care, Frutic05: Information and Technologies for Sustainable Fruit and Vegetable Production - Montpellier, France
8. Baghani A, Ahmadabadi M, Harati A (2005) Kinematics modeling of a wheel-based pole climbing robot (ut-pcr). pp 2099 – 2104

9. Kawasaki H, Murakami S, Kachi H, Ueki S (2008) Novel climbing method of pruning robot. pp 160 –163, DOI 10.1109/SICE.2008.4654641
10. Yazdani B, Nili Ahmadabadi M, Harati A, Moaveni Sabet M, Soltani N (2004) Design and development of a pole climbing robot mechanism. In: ROBOMECH, monich.
11. ZCT245AN-TTL 2-axis Tilt Sensor datasheet.  
Available: [http://en.zc-sensor.com/Uploadfiles/Product/ProductFile\\_66.pdf](http://en.zc-sensor.com/Uploadfiles/Product/ProductFile_66.pdf).
12. 8-bit AVR Microcontroller with 64K Bytes In-System Programmable Flash datasheet  
Available: [http://www.atmel.com/dyn/resources/prod\\_documents/doc2490.pdf](http://www.atmel.com/dyn/resources/prod_documents/doc2490.pdf)