# پیاده سازی و کنترل ربات سه درجه آزادی با الگوبرداری از ربات Viper 650

مصطفی حمیدی فرد، مهشاد علیان، فاطمه کرار، سینا رشیدی زاده، محمدصادق نجفی، مریم حیدری

دانشکده مهندسی برق، دانشگاه صنعتی امیر کبیر، تهران، ایران

چکیده — در این مقاله، یکربات سهدرجه آزادی طراحی و پیادهسازی شده است. در ادامه مراحل ساخت و مونتاژ ربات توضیح داده شده و کنترل ربات با استفاده از آردوینو  $^{1}$  و متلب  $^{7}$  انجام می شود. درنهایت راهکارهای مناسب برای کنترل و راهحلهای پیشرو درجهت رفع چالشها ارائه شده است.

كلمات كليدى — ربات، كنترل، آردوينو، متلب، پياده سازي.

#### I. مقدمه

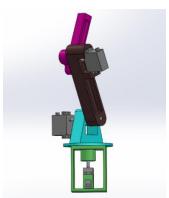
Viper 650 یک ربات مفصلی با ۶ درجه آزادی است که در ماشین کاری، مونتاژ و جابجایی مواد استفاده می شود. وضوح بالا، استفاده از انکدر مطلق و دقت بالا، اینرسی کم و بازوی سبک جهت ایجاد حداکثر شتاب، ازجمله مزایای اینربات می باشد.

در این مقاله یک ربات سهدرجه آزادی با الهام از Viper پیادهسازی کردهایم که در آن موتور قرار گرفته شده در محل هر یک از مفاصل، نقش چرخاندن لینکها را برعهده دارد.

در ادامه به منظور تحقق هدف ردیابی مسیر دلخواه توسط ربات، به نحوه کنترل موتورها با استفاده از نرم افزار و سایر المان های مورد استفاده می پردازیم.

در نهایت مشاهده می شود که موتورها این قابلیت را دارند که یک مسیر سینوسی را با خطای کم دنبال کنند.

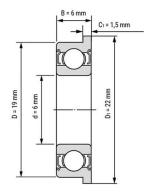
# $\mathrm{II}$ ساختار ربات ... ساختار ربات ما ابتدا یک ربات سه درجه آزادی را در نرم افزار سالیدورکس ٔ طراحی کردیم.



شکل ۱- ربات طراحی شده نهایی در محیط سالیدورکس

با استفاده از آن لینک ها و نحوه قرار گیری موتورها در نرم افزار مشخص شده است که در نهایت با استفاده از فایل STL خروجی گرفته شده از سالیدور کس و بهره گیری از نرم افزار کورا<sup>۵</sup> قطعات ربات را پرینت کردیم.

در این ربات از سه سروو موتور  $^{2}$  استفاده شده است. در ادامه به منظور اتصال هرات از سه بلبرینگ شیار عمیق مدل ZZ۶۲۶ کوپلینگ سخت x6mm و شفت استفاده کردیم.



شكل ٢- شماتيك بلبرينگ شيار عميق

شفتهای استفاده شده در ربات ۶ میلیمتر ضخامت و ۸ سانتیمتر طول دارند. شکل نهایی ربات ساخته شده بهصورت زیر می باشد:



شکل ۳- ربات در پیکربندی صفر

<sup>&</sup>lt;sup>4</sup> SolidWorks

<sup>&</sup>lt;sup>5</sup> Cora

<sup>&</sup>lt;sup>6</sup> Servo Motor

<sup>11</sup> Arduino

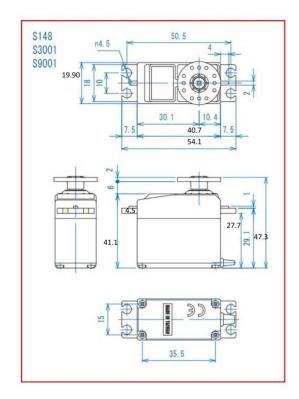
<sup>&</sup>lt;sup>2</sup> MATLAB

<sup>&</sup>lt;sup>3</sup> Encoder

در این جا از سروو موتور مدل MG996R استفاده شده است.

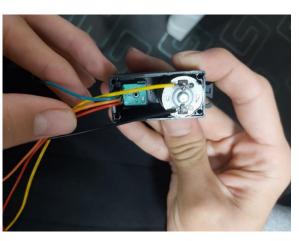
جهت عملکرد بهتر، پیش از راه اندازی، موتورها را باز کرده و روغن کاری نمودیم که سبب کاهش صدای چرخ دنده ها و عملکرد بهتر موتور ها شد.

اندازه واقعی موتورها با استفاده از کولیس اندازه گیری شده و طراحی نیز بر اساس همین اندازه ها انجام شده است.



شکل ۴- ابعاد سروو موتور اندازه گیری شده توسط کولیس

داخل هر موتور یک پتانسیومتر وجود دارد. برای محاسبه سیگنال خطا در متلب از پتانسیومتر داخل موتور فیدبک گرفته شده است.



شکل ۵- نمایی از پتانسیومتر و داخل موتور

#### III. اتصالات و راه اندازی موتورها

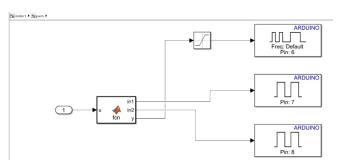
به هر موتور پنج سیم متصل است.

سیگنال بازخورد گرفته شده از پتانسیومتری که در موتور قرار گرفته است به ازای هر موتور به ترتیب به پایه های A1 ،A0 و A1 آردوینو A1 متصل می A2 میرد.

همچنین ولتاژ موردنیاز پتانسیومتر با اتصال به پایه 5v آردوینو تامین می شود. از آنجا که آردوینو نمی تواند توان و جریان مورد نیاز موتورها را تامین کند، از L298

دو سر روتور به L298 متصل است که برای افزایش توان موتور استفاده شده است . ولتاژ مورد نیاز L298 ۱۲ ولت بوده و ۲ آمپر جریان می کشد. بنابراین از یک آداپتور ولتاژ ۱۲ ولت برای راه اندازی L298 استفاده می شود.

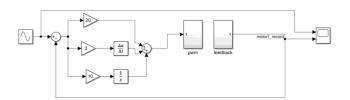
سه پایه دیگر EN یا EN نام دارند که پایه EN به پایه مولد موج PWM آردوینو متصل است. دو پایه دیگر به پین های دیجیتال متصل می شوند.



 $^{\mathsf{V}}$ شکل ۶– زیرسیستم PWM در سیمولینک متلب

#### IV. كنترل موتور با استفاده از متلب و آردوينو

در ابتدا به منظور برقراری ارتباط بین متلب و آردوینو بایستی پکیج Simulink Support Package for Arduino Hardware را در متلب نصب

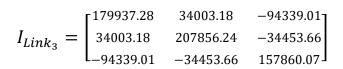


شکل ۷- نمای کلی سیمولینک متلب

فیدبک گرفته شده از پتانسیومتر متصل به پایه A \_که پایه آنالوگ آردوینو است\_ از طریق آردوینو به متلب منتقل می شود.

با توجه به ده بیتی بودن آردوینو، عدد مورد نظر عددی بین ۰ تا ۱۰۲۳ است که در زیر سیستم فیدبک به ۰ تا ۳۶۰ درجه نگاشت شده است.

<sup>&</sup>lt;sup>7</sup> MATLAB Simulink



مركز جرم	جرم (گرم)	شماره لینک
$\begin{bmatrix} -2.47 \\ 32.05 \\ -9.31 \end{bmatrix}$	181.18	١
$\begin{bmatrix} 16.87 \\ 116.62 \\ 144.30 \end{bmatrix}$	184.44	۲
$\begin{bmatrix} 43.73 \\ 21.06 \\ -45.00 \end{bmatrix}$	40.04	٣

جدول ۱- داده های مورد استفاده در محاسبه دینامیک ربات

با استفاده از ماتریس اینرسی، دینامیک ربات به روش لاگرانژ و از طریق محاسبه ماتریس های G ، C و M و رمتلب به دست می آید.

این ماتریس ها به عنوان دینامیک ربات ساخته شده در نظر گرفته می شوند.

مطابق شکل ۱۰ زوایای مورد نظر به عنوان ورودی در سیمولینک متلب وارد می شوند. پس از عبور از بلوک دینامیک معکوس، گشتاور ربات از طریق معادله ۱ به دست می آید:

$$\tau = M a_q + C\dot{q} + G$$

مطابق معادله ۲ به دست می آید.

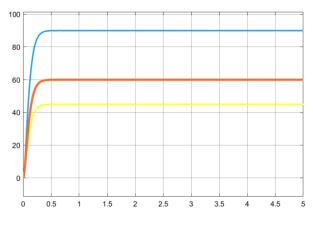
$$a_q = \ddot{q}_d - K_0(q - q_d) - K_1(\dot{q} - \dot{q}_d)$$
معادله

 $K_{19} \, K_0$  زاویه مفصل و  $q_d$  زاویه مورد نظر ما میباشد. با تغییر ضرایب و خروجی کنترل میشود.

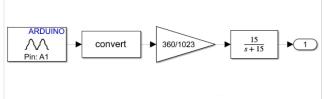
در نهایت با استفاده از رابطه ۳ زاویه هرمفصل در خروجی نمایش داده می شود.

$$\ddot{q} = M^{-1}(\tau - C\dot{q} - G)$$
value

خروجی نهایی به صورت زیر می باشد:



شكل ۱۱- نتيجه شبيه سازي



شکل A – زیرسیستم فیدبک، مورد استفاده در سیمولینک متلب

در نتیجه، زاویه موتور از سیگنال فیدبک به دست می آید.

در ابتدا سیگنال مورد نظر را که می خواهیم توسط ربات دنبال شود (مانند سیگنال سینوسی) به عنوان ورودی به حلقه کنترل میدهیم.

با استفاده از سیگنال فیدبک خطای زاویه به دست می آید که عدد بدست آمده بعد از عبور از بلوک کنترلر PID به زیرسیستم PWM وارد می شود.

اختلاف زاویه مورد نظر و زاویه موتور جهت چرخش موتور را تعیین می کند.

در نهایت مشاهده می شود که سیگنال ورودی سینوسی ۱ رادیان بر ثانیه به خوبی توسط هر یک از موتورها دنبال می شود.

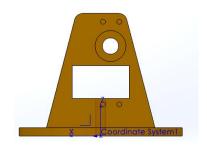
$$V$$
. کنترل ربات با استفاده از سینماتیک معکوس

با استفاده از سینماتیک معکوس ربات، می توان End Effector را در مسیر دلخواه حرکت داد.

در متلب کد سینماتیک معکوس، زاویه هر مفصل را درهر زمان محاسبه می کند. زوایای محاسبه شده به عنوان ورودی سیمولینک در قسمت قبل در نظر گرفته میشوند.

### VI. شبیه سازی و کنترل به روش دینامیک معکوس

در ابتدا در نرم افزار سالیدور کس محورهای هریک از لینک ها به صورت جداگانه تعیین می شوند.



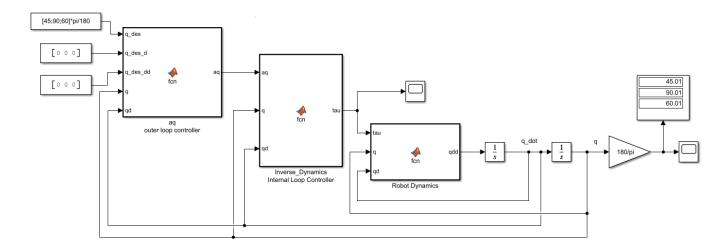
شکل ۹- نمونه تعیین محورهای ربات در سالیدورکس

پس از تعیین محورها، ماتریس اینرسی به دست می آید.

2824947.69

2826241.18<sup>J</sup>

$$I_{Link_1} = \begin{bmatrix} 384957.06 & -2691.73 & 43626.55 \\ -2691.73 & 180695.89 & -19024.35 \\ 43626.55 & -19024.35 & 309313.62 \end{bmatrix}$$
 
$$I_{Link_2} = \begin{bmatrix} 5886595.04 & 330234.57 & 368561.17 \\ 330234.57 & 4128626.67 & 2824947.69 \end{bmatrix}$$



شکل۱۰-شبیه سازی ربات در سیمولینک

می گیرد، قبل از شکستن خم می شود و تغییر شکل می دهد، در حالی که  $\operatorname{PLA}$  به سرعت می شکند.

یکی از چالش های پروژه، وجود سیم ها و نویز پتانسیومتر بود که تاثیر نامطلوبی بر سیگنال فیدبک موتور می گذاشت. جهت رفع این مشکل در سیمولینک متلب، سیگنال فیدبک قبل از ورود به حلقه کنترل از یک فیلتر عبور داده می شود. اگرچه وجود فیلتر باعث تاخیر می شود اما عملکرد کلی ربات را بهبود می بخشد.

#### منابع

- [1] Mark W. Spong, Seth Hutchinson and M. Vidyasagar, Robot Modeling and Control, 1st ed, Dec 12, 2022.
- [2] John J. Craig, Introduction to Robotics Mechanics and Control, Third Edition, Pearson Education International.

Control, Third Edition, Pearson Education International.

## VII. نتيجه گيري

در این پروژه یکربات را از ابتدا پیاده سازی کردیم و موقعیت موتورهای استفاده شده در ربات را کنترل کردیم تا با دقت بالا و حداقل تاخیر مسیر مورد نظر را ردیابی کنیم.

در هنگام پرینت قطعات، ربات را از جنس فیلامنت ABS چاپ کردیم. از مزایای فیلامنت ABS این است که این ماده قابلیت ذوب شدن و سرد شدن را بدون تغییر زیاد خواص شیمیایی دارا میباشد. بنابراین، این جنس فیلامنت ایدهآل برای چاپگرهای سهبعدی در نظر گرفته می شود. اینفیلامنت به استحکام، سختی و دوام بالا شهرت دارد. همچنین مقاومت قابل قبولی در برابر خراشهای سطحی، حرارت و خورندههای شیمیایی رایج دارد؛ بنابراین فیلامنت ABS برای چاپ اجسام در معرض استهلاک یا فشار مناسب است. وقتی ABS تحت فشار قرار