

ساخت ربات شبیه ساز حرکت بازوی انسان (HACRA) با استفاده از ARDUINO

حامد پورمحمدی امامیه^۱، لاریسا خدادادی باشبلاغ^{۲،۱}

۱- دانشجو، گروه مکترونیک، واحد تبریز، دانشگاه آزاد اسلامی، تبریز، ایران

۲- استادیار، هیئت علمی، گروه مکترونیک، واحد تبریز، دانشگاه آزاد اسلامی، تبریز، ایران

چکیده

در این مقاله ربات شبیه ساز برای حرکت بازوی انسان بوسیله آردوینو طراحی و پیاده سازی شده است. در زندگی روزمره ارتباط بین انسان و ربات در زمینه های مختلفی بوسیله جوی استیک یا کنترلرهای خاص انجام می شود و همچنین برای انسان کار در محیط های خطرناک مانند محیط های شیمیایی یا سرکار داشتن با مواد منفجره سخت است. برای حل چنین مشکلی در این مقاله هدف این است که از حالت بازوی انسان برای کنترل بازوی ربات استفاده شود چراکه حالت بدن طبیعی ترین راه برای برقراری ارتباط بین انسان و کامپیوتر در سیستم های واقعی است. در این مقاله از برد آردوینو مگا ۲۵۶۰ برای پردازش استفاده شده است که دارای ۱۶ ورودی آنالوگ می باشد و می تواند همزمان ۴۶ سرو موتور را کنترل کند. دقت بازوی ربات ساخته شده بخاطر استفاده از ۷ سروموتور بسیار بالا می باشد. همچنین در ساختاری که بازوی انسان را شبیه سازی می کند پتانسیومترهایی نصب شده تا زاویه آنها را شناسایی کنند و برای پردازش به برد آردوینو انتقال دهند و برای تشخیص زاویه مچ هم از سنسور IMU که بر روی دست کاربر نصب می شود استفاده شده است. سیستم طراحی شده هیچ گونه تاخیر زمانی با دستور صادر شده را ندارد و بصورت همزمان با دستورات کاربر، خروجی مطلوب را می دهد و خود را با حرکات بازوی کاربر کاملاً وفق می دهد.

کلمات کلیدی: آردوینو، شبیه ساز بازوی انسان، سروموتور، آی ام یو، HACRA ROBOT

¹ Corresponding author: Larisa khodadadi
Email: Lkhodadadi@iaut.ac.ir

۱. مقدمه

همگام با افزایش دانش بشر از ساختار عصبی و سازوکار مغز، پژوهش ها در حوزه علوم رایانه ای و رباتیک نیز پیشرفت چشمگیری کرده است و با این حساب شاید دیگر ایده ساخت رباتی با توانایی های مغز انسان فقط در داستان های علمی - تخیلی محدود نباشد. ربات ها برای انجام کارهای مورد نیاز انسان باید برنامه ریزی شوند و برای درک محیط پیرامون خود از سنسورهای مختلفی مانند ژيروسکوپ ها ، شتاب سنج ها ، انکودرها و ... استفاده می کنند . همچنین بازو های رباتیکی که کاربردهای خاصی دارند اکثرا بصورت دستی کنترل می شوند و برنامه ریزی نمی شوند و در هر موقعیت بر حسب نیاز بوسیله انسان هدایت می شوند. برای مثال می توان به ربات هایی که در محیط های خطرناک کار می کنند که برای انسان قابل تحمل نیست و یا برای کنترل موازی چند ربات و انجام کارهای از راه دور، اشاره کرد. ربات هایی که بوسیله کاربر کنترل می شوند عمدتا بوسیله یک کنترلر یا جوی استیک^۱ که در دست کاربر است دستورات لازم را دریافت می کنند که این روش مشکلاتی را در بردارد که به عنوان اصلی ترین مشکل می توان به این مورد اشاره کرد که اگر تعداد موتورها یا همان مفاصل بازوی رباتیک زیاد باشد باید به تعداد آنها کنترلر در اختیار کاربر قرار گیرد که باعث سخت شدن کنترل بازو می شود. از اینرو اگر کنترل ربات به گونه ای باشد تا کاربر با ساده ترین روش و در عین حال دقیق بتواند به بازو فرمان دهد این مشکل بزرگ حل خواهد شد. همانطور که اشاره شد یکی از اصلی ترین چالش ها در این زمینه ، کنترل هرچه انعطاف پذیر تر بازوی ربات و کاربرپسند کردن آن است و کاربرپسندترین روش کنترل برای انسان، استفاده از حالت های بدن خود برای صادر کردن فرمان به سیستم است . فرمان دادن به بازو های رباتیکی به صورت های مختلفی انجام می شود. در برخی از این سیستم ها از کنترلر های دستی یا همان جوی استیک^۲ برای هدایت بازوی رباتیک استفاده می شود [7] و [8] که در این روش هم اگر تعداد درجه آزادی سیستم بالاتر از دو درجه باشد ، مشکلاتی از نظر هدایت همزمان لینک ها بوجود می آید . در نوع دیگر از دوربین استفاده می شود که بوسیله پردازش حرکات کاربر ، دستورات لازم را به بازو صادر می کند [5] . پردازش تصویر هم اکثرا با نرم افزار متلب انجام می شود [3] که نیاز به کدنویسی دارد . در سیستم هایی هم کینکت^۳ جایگزین دوربین شده است که آن هم نیازمند برنامه نویسی است [6] . سیستم هایی که در این زمینه وجود دارند اغلب از دوربین یا کینکت^۴ استفاده کرده اند که علاوه بر نیاز به برنامه نویسی پیچیده ، هزینه بالایی دارند و در ضمن نیازمند محیط خاص با شرایط جوی خاص (مثل نور ، رنگ و ...) هستند. نوع دیگر این سیستم ها از تکنولوژی های پوشیدنی^۵ استفاده می کنند [10][11] که شامل حسگرهایی بر روی خود هستند که فرمان های لازم را صادر می کنند و در عین حال از قیمت بالایی برخوردارند چون سنسورهای استفاده شده در آنها حساس هستند. نمونه ای از این روش را در شکل ۱ مشاهده می کنید.



شکل ۱ - سنسورهای خمشی استفاده شده در دست کاربر

¹ joystick

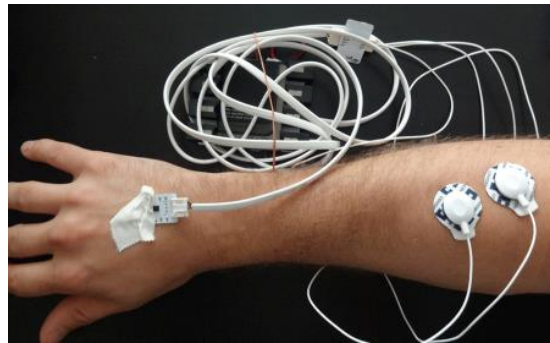
² joystick

³ kinect

⁴ kineckt

⁵Wearable technology

در تکنولوژی های پوشیدنی از سنسورهای مختلفی استفاده می شود که می توان به مقاومت های خمشی، ژيروسکوپ و شتاب سنج، سنسورهای بیولوژیکی^۱ اشاره کرد [11]. در شکل ۲ از سنسورهای بیولوژیکی برای تشخیص حرکت استفاده شده است.



شکل ۲ - استفاده از سنسورهای بیولوژیکی

از جمله مشکلات تکنولوژی های پوشیدنی که در شکل ۱ نشان داده شده می توان به این مورد اشاره کرد که برای هر شخص باید متناسب با سایز وی طراحی شوند. همچنین استفاده از شتاب سنج و ژيروسکوپ [2] به دلیل اینکه در تلفیق داده ها از فیلترهای مختلفی استفاده می شود، هم کار برنامه نویسی را مشکل می کند و هم با خطاهایی خروجی خود همراه است. در این سیستم مهم ترین چالش انتخاب سنسور برای تشخیص زوایای قرارگیری بازو یا دست کاربر است که همانطور که اشاره شد هر کدام از روش های انتخاب شده بالا دارای معایبی هستند. لذا برای برطرف کردن این مشکلات در سیستم طراحی شده در این مقاله از سنسورهای مقاومتری برای تشخیص زوایای قرار گیری بازوی کاربر استفاده شده که علاوه بر ارزان قیمت بودن، دقیق نیز هستند و خروجی آنها نیز با دقت ۱۰ بیت میتواند پردازش شود. همچنین در این بازو یک درجه آزادی برای مچ هم در نظر گرفته شده است و بوسیله یک سنسور قطب نما که بر روی دست کاربر نصب می شود، میزان چرخش مچ وی را بر حسب درجه به بازو منتقل می کند. مزیت استفاده از قطب نما به جای ژيروسکوپ و شتاب سنج برای تشخیص زاویه این است که خروجی قطب نما نیاز به فیلتر و تلفیق با داده های سنسور دیگری ندارد و همچنین حجم برنامه نوشته شده را زیاد نمی کند. بزرگترین مزیت این سیستم نسبت به سیستم های مشابه نداشتن تاخیر در اجرای دستورات است. در سیستم های پردازش تصویر همواره کمی تاخیر در دستور صادر شده و اجرای آن وجود دارد همچنین در مواردی که از ژيروسکوپ استفاده شده نیز این تاخیر قابل مشاهده است اما در سیستم پیشنهادی این تاخیر از بین رفته است. این مقاله از چهار قسمت تشکیل شده است که عبارتند از: اجزای ربات، ساختار ربات^۲، HACRA، روش کنترل بازو و نتیجه گیری.

۲. اجزای ربات

سیستم طراحی شده در کل دارای سه قسمت مکانیکی، الکتریکی و نرم افزاری است. قسمت مکانیکی شامل بازوی فرمان دهنده، بازوی اصلی و گریپر است. قسمت الکتریکی شامل سروموتورها، برد کنترلر اصلی و سنسورها است و قسمت نرم افزاری شامل برنامه نوشته شده است.

¹ EMG

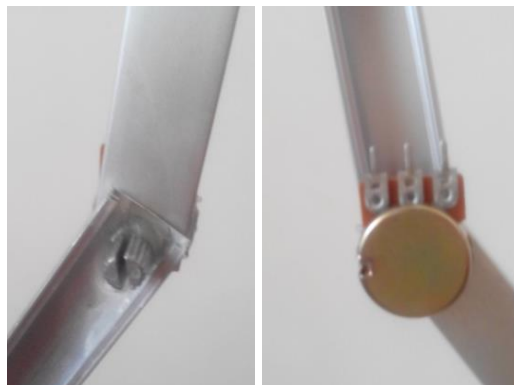
² Human Arm Controlled Robotic Arm

بازوی فرمان دهنده طوری طراحی شده که به تعداد مفاصل بازوی انسان دارای مفصل است تا از لحاظ ساختار بیشترین شباهت را با بازوی انسان داشته باشد. همانطور که در شکل ۳ مشاهده می شود در هر مفصل یه مقاومت متغیر قرار داده شده است تا متناسب با حرکت بازو، ولتاژهای مختلفی در خروجی خود ایجاد کند تا پردازش آنها زاویه بازوی کاربر محاسبه شود.



شکل ۳ - بازوی فرمان دهنده

همانطور که اشاره شد در مفاصل از مقاومت های متغیر استفاده شده است که نحوه نصب آنها در شکل ۴ آمده است.



شکل ۴ - نحوه نصب مقاومت متغیر در مفاصل

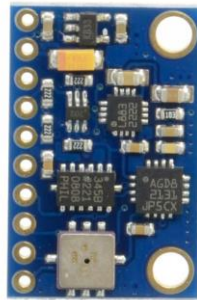
بازوی اصلی که شامل سروموتورها است، پس از طراحی در نرم افزار کورل^۱ از جنس پلکس ۳ میلی متری و توسط برش لیزری ساخته شد که در شکل ۵ آمده است.

¹ Corel draw



شکل ۵ - بازوی اصلی

در این بازو پس از بررسی های انجام شده از بین موتورهای موجود که شامل موتورهای دی سی، استپر موتورها و سرو موتورها هستند، به خاطر نحوه عملکرد بازو که میبایستی زوایای دلخواه را پوشش دهد و تحت بار هم شفت خود را در این زوایا حفظ کند، با توجه به ویژگی های مناسب سرو موتور که خواسته های ما را برآورده می کند، لذا تصمیم به استفاده از آن گرفته شد. در این بازو از ۷ سرو موتور استفاده شده است که در مفاصل شانه و آرنج برای قدرت بیشتر از دو سروموتور استفاده شده است و ۳ سروموتور دیگر یکی در قسمت تحتانی متصل به شاسی برای چرخاندن کل بازو، یکی برای مچ و دیگری برای گریپر استفاده شده است. سنسورهای مورد استفاده در مفاصل همگی از نوع مقاومتی هستند به غیر از سنسور استفاده شده در مچ که از بخش قطب نمای ماژول آی ام یو^۱ GY-80 استفاده شده است که در شکل ۶ آمده است.

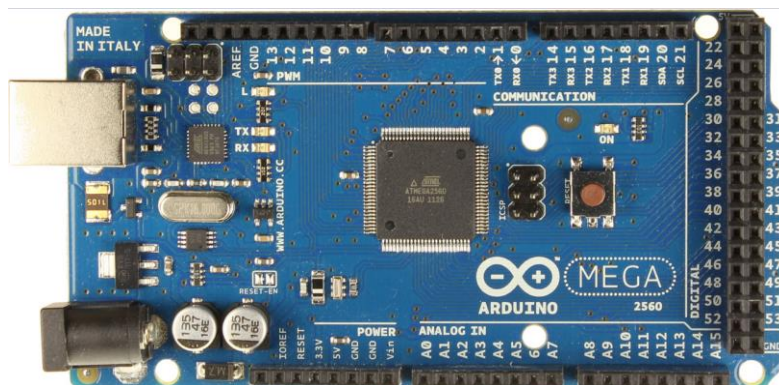


شکل ۶ - ماژول GY-80

این ماژول دارای سنسورهای متعددی از جمله شتاب سنج، ژيروسکوپ، بارومتر و قطب نما است و بوسیله دو سیم و با پروتکل I2C به کنترلر متصل می شود. در این سیستم بعد از بررسی های انجام شده و در نظر گرفتن تمامی جوانب از جمله قیمت مناسب، در دسترس بودن، سطح برنامه نویسی و امکانات جانبی تصمیم به استفاده از بوردهای آردوینو گرفته شد. این بوردها محصول سال ۲۰۰۵ می باشند و خیلی سریع جای خود را از لحاظ محبوبیت و کارایی و امکانات در میان کاربران و برنامه نویسان در دنیا باز کردند. این بوردها دارای نرم افزار اپن سورس هستند که زبانی شبیه به زبان سی برای

¹ IMU : Inertial Measurement Unit

برنامه نویسی دارند و شامل کتابخانه هایی برای انواع سنسور ها و عملگرها هستند که دقت و راحتی را برای استفاده کنندگان از این بوردها در پی دارند. باتوجه به نیاز، برد آردوینو مگا ۲۵۶۰ از میان بوردهای مختلف آروینو انتخاب شد که به نوبه خود از کاملترین بوردهای این کنترلرها به حساب می آید که در شکل ۷ آمده است.



شکل ۷ - آردوینو مگا ۲۵۶۰

از مشخصات این برد می توان به موارد زیر اشاره کرد :

| | |
|-----------------------------|---|
| Microcontroller | ATmega2560 |
| Operating Voltage | 5V |
| Input Voltage (recommended) | 7-12V |
| Input Voltage (limits) | 6-20V |
| Digital I/O Pins | 54 (of which 15 provide PWM output) |
| Analog Input Pins | 16 |
| DC Current per I/O Pin | 40 mA |
| DC Current for 3.3V Pin | 50 mA |
| Flash Memory | 256 KB of which 8 KB used by bootloader |
| SRAM | 8 KB |
| EEPROM | 4 KB |
| Clock Speed | 16 MHz |

با توجه به مشخصات، تعداد ورودی خروجی های بالا، تعداد ورودی های آنالوگ و حافظه از بزرگترین مزایای این برد می باشد. همچنین این برد توانایی کنترل ۴۶ سروموتور را بصورت همزمان دارد که از این نظر به بهترین گزینه برای سیستم طراحی شده به حساب می آید.

۳. ساختار ربات HACRA

در بخش قبل دیدیم که روش های ارائه شده هر کدام دارای ایراداتی بودند و با توجه به اهمیت قسمت کنترلر در بازوهای رباتیک، ما در این مقاله ایرادات موجود را تا حد زیادی از بین برده ایم. ربات HACRA از دو بخش تشکیل شده که بازوی سمت کاربر که وظیفه فرمان دادن به بازوی اصلی را دارد در شکل ۲ آورده شده است. با توجه به ساختار آن مشاهده می شود که در هر مفصل ولومی نصب شده است تا کوچکترین تغییرات بازو را بصورت ولتاژ به پردازنده ارسال کند و در قسمت پردازنده با دقت ۱۰ بیت پردازش شود و لذا کوچکترین تغییرات هم توسط پردازنده حس می شوند و به عملگرها که سرو موتورها می باشند انتقال می یابند و این باعث می شود تا کوچکترین حرکت در بازوی کاربر باعث عکس العمل و حرکت در بازوی اصلی شود. برای کنترل سروموتورها، مقدار ولتاژی که از حرکت مفاصل از صفر درجه تا ۱۸۰ درجه بدست می آید تبدیل به درجه می شود و به سروموتور اعمال می شود. بوسیله این روش که از دقت بالایی برخوردار است به سه مفصل و همچنین سروموتو گریپر دستور داده می شود. برای محاسبه دقت روش استفاده شده می توان به این موارد اشاره کرد که ورودی آنالوگ پردازنده استفاده شده که با دقت ۱۰ بیت سیگنال ورودی را پردازش می کند، به ازای ۵ ولت مقدار ۱۰۲۳ را در نظر میگیرد و ۵ ولت وقتی به پردازنده اعمال می شود که بازو در زاویه ۱۸۰ درجه قرار گیرد پس به ازای ۱۸۰ درجه تغییر، ۱۰۲۴ پله در طرف پردازنده خواهیم داشت پس داریم:

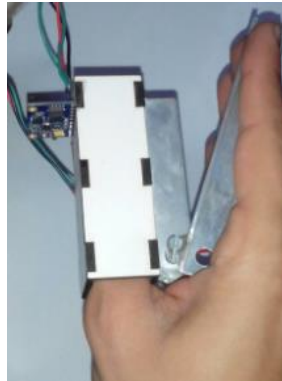
$$\frac{1024}{180} = 5.688 \quad (1)$$

$$\frac{5}{1024} = 0.0048 \quad (2)$$

$$5.688 * 0.0048 = 0.0277 \quad (3)$$

با توجه به فرمول (1) مشاهده می کنیم که به ازای هر درجه، ۵.۶۸۸ واحد در قسمت مبدل آنالوگ به سیگنال پردازنده تغییر ایجاد می شود و با توجه به فرمول شماره (2) هر یک واحد افزایش مقدار مبدل آنالوگ به دیجیتال برابر با ۴.۸ میلی ولت است. از فرمول (3) این نتیجه بدست می آید که به ازای هر درجه تغییر در بازوی کاربر، ۲۷.۷ میلی ولت تغییر در خروجی ایجاد می شود که مستقیماً به سروموتور اعمال می شود و این ولتاژ خروجی و زاویه شفت سرو موتور بوسیله تابعی به هم نگاشت شده اند که منجر به سنکرون شدن حرکت بازوی کاربر و بازوی اصلی می شود. پردازنده استفاده شده با کریستال ۱۶ مگاهرتز کار می کند که مکمل برنامه نوشته شده می شود و باعث می شود تا حرکت بازوی کاربر و بازوی اصلی کاملاً همزمان^۱ باشد درحالیکه در کارهای انجام شده مشابه که از پردازش تصویر یا آی ام یو استفاده شده است با کمی تاخیر در بازوی اصلی مواجه هستیم. برای قسمت مچ از یک قطب نما بر روی دست کاربر استفاده شده است که زاویه هدینگ آن طوری تنظیم شده است که وقتی دست در حالت عادی قرار دارد زاویه ۹۰ درجه را نشان می دهد و با چرخش مچ دست به چپ و راست، زوایای ۱۸۰ و صفر درجه می دهد و این زوایا مستقیماً به سرو موتور مربوطه اعمال می شود. در شکل ۸ نحوه قرار گیری سنسور نشان داده شده است.

¹ Real time



شکل ۸ - نحوه قرارگیری ماژول IMU

با توجه به مسائل ذکر شده و مقایسه با سایر روش ها، روش استفاده شده دارای دقت بالایی نسبت به روش های دیگر است و مهمترین مزیت آن سنکرون بودن حرکت بازوی اصلی با بازوی کاربر است و هیچ گونه تاخیری در حرکت آن وجود ندارد لذا برای کارهایی که نیاز به دقت و همچنین همزمانی حرکت را دارد بهترین گزینه می تواند باشد. شکل ۹ ساختار کلی ربات HACRA را نشان می دهد.



شکل ۹ - ربات HACRA

۴. روش کنترل بازو

برای کنترل بازو از ولتاژ متغیری که از طرف کاربر توسط بازوی طراحی شده ارسال می شود استفاده می شود. در برنامه کنترلی نگاشتی ایجاد شده تا مقدار ولتاژ ۰ تا ۵ ولت را که به ازای تغییر مختصات بازوی کاربر به پردازنده فرستاده می شود به ۰ تا ۱۸۰ درجه تبدیل کند و بدین ترتیب بازو حرکت خود را با حرکت بازوی کاربر منطبق می کند. همانطور که در قسمت قبل توضیح داده شد این روش از دقت بالایی نیز برخوردار است. با استفاده از این روش حرکت بازو و دست کاربر تا سرعت $0.13\text{sec} / 60\text{ degrees}$ کاملاً بطور همزمان حرکت می کنند. برای دستیابی به سرعت های بالاتر باید از سروموتورها با فیدبک انکودری استفاده کرد که تا سرعت^۱ 67 rpm (مانند سروموتور MX-28 از سری سروموتورهای داینامیکسل) قابلیت حرکت دارند. برای کنترل مچ نیز با استفاده از زاویه هدینگ^۲ ماژول استفاده شده، که بر روی مچ

¹ Rotation per minute

² Heading angel

کاربر نصب شده به سرو موتور مربوطه فرمان داده می شود که خود را با مچ کاربر در یک زاویه قرار دهد. سنسور استفاده شده به دلیل اینکه مانند ژيروسکوپ و شتاب سنج برای تشخیص زاویه نیاز به فیلتر ندارد، بصورت کاملا همزمان با کاربر حرکت می کند و تاخیری در حرکت ندارد.

۵. نتیجه گیری

هدف در این مقاله رسیدن به ساختار کنترلی بود که بتواند با الهام گیری از حالت و ژست بازوی انسان، حرکت کند و خود را آن منطبق سازد. با استفاده از ساختار طراحی شده و سنسورهای نصب شده در مکان های مناسب و استفاده از پردازنده مناسب، نتیجه مطلوب حاصل شد و در کنار کارایی خوب، دقت کافی هم در جابجایی بدست آمد. با استفاده از سنسور قطب نما در دست کاربر، توانایی حرکت مچ بازوی اصلی همانند مچ انسان نیز به سیستم اضافه شده است. سیستم طراحی شده هیچ گونه تاخیری در همزمانی نسبت به دستور کاربر ندارد و از این نظر از مزیت خوبی نسبت به سایر سیستم های مشابه برخوردار است. این سیستم علاوه بر محیط های آزمایشگاهی می تواند در محیط هایی که برای انسان مضر است مانند محیط های آلوده به مواد رادیواکتیو یا محیط هایی که مواد منفجره در آنها وجود دارد نیز بکار برده شود و این موضوع اهمیت ربات طراحی شده را بالا می برد. برای بهبود این سیستم می توان از سرو موتورهای با دقت و قدرت بالا برای انجام کارهای سنگین استفاده کرد و یا از پردازنده های ۳۲ بیتی که با سرعت بالاتری برنامه نوشته شده را اجرا می کنند استفاده کرد تا راندمان سیستم افزایش یابد.

1. SH.Verma, (2013), "Hand Gestures Remote Controlled Robotic Arm" Advance in Electronic and Electric Engineering., Volume 3 , pp 601-606
2. K Pavan Kumar¹, N Abid Ali Khan², V Karthik Reddy (2012), "Design and Implementation of Electronic Gesture Recognition Unit Using Accelerometer to Control Robotic Arm Powered With Cortex-M3 Core" International Journal of Engineering Research and Development , Volume 2, pp 14-18
3. B. N Shruthi, S Sumathi (2014), "Handgesture Based Direction Control of robocar using Arduino Microcontroller" International Journal of Recent Technology and Engineering , Volume-3 , pp 21-25
4. J Rosell, R Suárez, C Rosales, A Pérez (2011) , "Autonomous motion planning of a hand-armroboticsystembased on captured human-like hand postures" Autonomous Robots, Volume 31, pp 87-102
5. H Cheng , Z Sun , P Zhang (2011), "Real-Time Imitative Robotic Arm Control for Home Robot Applications", Pervasive Computing and Communications Workshops (PERCOM Workshops), pp 360 – 363
6. B-H Shih , C. Luo, T-W Lin (2013), "Real Time Human Motion Imitation of Anthropomorphic Dual Arm Robot Based on Cartesian Impedance Control" Robotic and Sensors Environments (ROSE), 2013 IEEE International Symposium on , pp 25 – 30
7. G Katal, S Gupta, S Kakkar (2013), "DESIGN AND OPERATION OF SYNCHRONIZED ROBOTIC ARM", International Journal of Research in Engineering and Technology , Volume 02 ,pp 297-301

8. A Elfakhany, E Yanez, K Baylon, R Salgado (2011) , “*Design and Development of a Competitive Low-Cost Robot Arm with Four Degrees of Freedom*” Modern Mechanical Engineering, Volume1 , pp 47-55
9. X. Tran, H Phan, V. Dinh, J Ellen, B Berg, J Lum, E Alcantara, M Bruch , M G. Ceruti , C Kao, D Garcia, S Fugate, and L Duffy (2009) , “*Wireless Data Glove for Gesture-Based Robotic Control*” , Human-Computer Interaction, volume 2, pp. 271–280
10. M Dascalu, M S Teodorescu, A Plavitu, L Milea, E Franti, D Coroama, D Moraru (2014), “*Tele-operated robotic arm and hand with intuitive control and haptic feedback*” , American Journal of Aerospace Engineering, volume1, pp 21-27
11. J. Leitner, M. Luciw, A. Forster, J. Schmidhuber (2014), “*Teleoperation of a 7 DOF Humanoid Robot Arm Using Human Arm Accelerations and EMG Signals*” Proceedings of the 12th International Symposium on Artificial Intelligence, Robotics and Automation in Space, volume 1, pp 102-109