روبات شبیه سازی از دست انسان با پنج درجه آزادی

حسین چالشی[1*]، مهدی بامداد[2]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مکاترونیک، گروه مهندسی مکانیک، واحد سمنان، **دانشگاه آزاد اسلامی** ، سمنان، ایران
۲- استادیار، گروه مهندسی مکانیک، دانشگاه شاهرود ، شاهرود ، ایران
* سمنان،صندوق پستی: ۱۷۹-۳۵۱۴۱، hossein@chaleshi.ir

چکیده

در پژوهش حاضر با در نظر گرفتن اینکه ربات همانند دست انسان است و از نوع ربات های بازو می باشد. این دست روباتیک بسیار ساده بوده و می تواند در زمینه های مختلفی کاربرد داشته باشد، از بهبود یافتن اندامهای مصنوعی گرفته تا پیاده سازی و قطعه قطعه کردن مواد منفجره، نیازمند کنترل حرکت پنجه روبات بر روی مسیری با معادله نامعین است. قابلیت خاص این روبات، شباهت اندامی بسیار زیاد آن به دست انسان می باشد. در این تحقیق حل مساله مورد نظر به منظور بررسی الگوریتم مناسبی برای هدایت پنجه روبات با توجه به قابلیت های انسانی پیشنهاد شده است. امتیاز دیگری که در این طرح یافت می شود نرمی حرکت انگشتان می باشد. در این مقاله سعی شده نوع طراحی روبات را با پروتکل های موجود روباتیک از قبیل، برنامه ریزی مسیر پیوسته برای روبات مقایسه و بررسی نمائیم.

کلیدواژگان

معادله مسیر نامعین، هدایت، مسیر پیوسته

۱- مقدمه

طراحی دست یکی از بزرگترین دغدغه های متخصصان روباتیک است زیرا دست روباتها باید مانند دست انسانها از چالاکی و ظرافت برخوردار باشد تا بتوانند اجسامی به شکنندگی تخم مرغ را نیز حمل کنند، یک سکه را به دست بگیرند و اجسام سنگین را در اتاق جا به جا کنند.

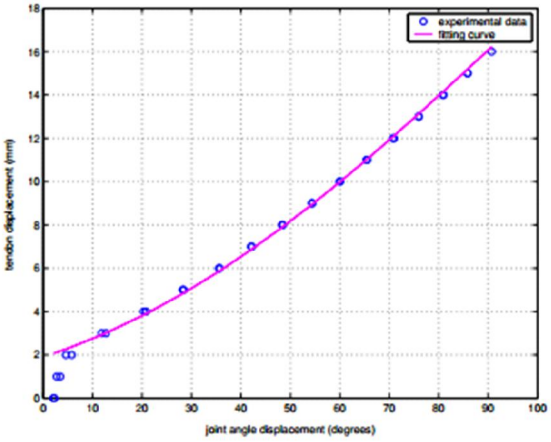
به همین دلیل است که دانشمندان در اسلوونی به روباتها اجازه می دهند به آنها مشت بزنند و یا دیگر دانشمندان برای بهترین دست دادن روباتیک جایزه تعیین می کنند، زیرا برای فراگیر شدن و موثر بودن روباتها، باید برای آنها دستهایی کارامد طراحی کنند.

از این رو در این مقاله به معرفی روبات شبیه سازی شده از دست انسان می پردازیم، در این مقاله به اصلاح مکانیک پیچیده، کنترل حرکت ساده تر، درجه آزادی بیشتر نسبت به موارد مشابه در جهان می بپردازیم.

سازه هایی از نوع گیره های دست نما در جهان طراحی شده است که می توانیم به مطالعه لوتی و گروهش در دانشگاه بولونیا در سال ۲۰۰۵ با هدف مکانیک پیچیده و حفظ کامل ویژگی جنبه های انسانی اشاره کرد [۱]. منظور از مکانیک پیچیده استفاده از یک سیم (مانند تاندن های دست انسان) برای هر بند انگشت، که باعث پیچیدگی مکانیکی و کنترلی بیش از حد گردیده است، در اصطلاح سیستم تک اثر[1] به اصطلاح زمانی که بروی هر کدام از مفاصل کنترل کننده ای نصب شود یک درجه آزادی به هر مفصل الاستیکی داده شده، و این کار باعث می شود مکانیک پیچیده تری و همینطور کنترل کننده های پیچیده تری مورد استفاده قرار گیرد، برای جلوگیری از ساختار های غیرمتعارف[2] و غیر سیستماتیک ملزم به استفاده از سنسور های اثر هال[3]، فشارسنج[4]، پیزو مقاومتی[5]، سنسور نوری[6]، و حتی ساخت سنسور مختص یک سلول (مفصل)، سنسور موقعیت[7]، شده است، محقق در مقاله فوق رابطه ای[8] بدست آورده میان کشیدگی تاندون (h) و جابجایی زاویه (θ) با خطای نسبتا کم : رابطه (۱)

$$h = h_0 - \sqrt{r^2 + d^2 - 2rd\cos(\theta_0 - \theta)} \quad (۱)$$

و میتوان در نمودار شکل (۱) رابطه استاتیک بین کشیدگی تاندون و زاویه مفاصل را به صورت نمودار نشان داد.



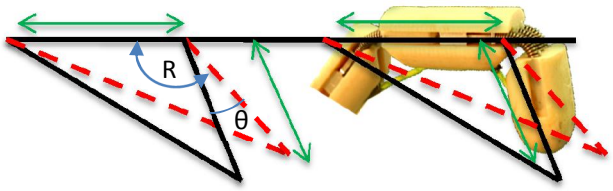
شکل ۱ کشیدگی تاندون و زاویه مفاصل

از طرفی می توان به سطح خوبی از مهارت و چابکی روبات شارما و همکارانش در سال ۲۰۱۲ اشاره کرد[۲]. یکی از ویژگی های پروژه شارما اشاره به پنج انگشت که هر انگشت دارای ۱ متحرک یا تاندون می باشد که ۵ تاندون وظیفه کنترل پنج انگشت را دارند، این سازه از قابلیت الاستیکی

[1] single-acting system
[2] non-conventional
[3] hall-effect sensors
[4] strain-gauge
[5] piezo-resistive
[6] optical sensors
[7] ad hoc position sensors
[8] بدیهی است که با توجه به حضور موتور دوار، بیشتر رابطه θm h = R معرفی شده است، که در آن موقعیت θm موتور است و R = 6mm به شعاع قرقره است.

بالایی برخوردار است، تعداد موتور ها کاهش یافته ولی برای گرفتن اجسام بسیار ضعیف می باشد و همچنان دارای سیستم کنترل پیچیده ای می باشد[۲].

شارما برای تعیین مدل حرکتی از انگشتان دست ربات، با استفاده از رابطه دناویت هارتنبرگ توضیح داده است، در بررسی شارما محاسبه سینماتیک معکوس از انگشتان دست را می بینیم و جابجایی لینک و زاویه در طول خطی را مشاهده می کنیم، کشیدگی و فشار در حدود همان جابجایی خطی را نشان
می دهد (شکل ۲).



شکل ۲ جابجایی لینک و زاویه در طول خطی

که در آن پارامترهای برآمدگی لبه طبقات از لینک نمایش داده شده است. زاویه اولیه گرفته شده به عنوان Yo است چرا که در حالت اولیه، با استفاده از فرمول کسینوس، کشیدگی خطی، ارتباط بین خطی و جابه جایی زاویه ای از لینک ها با هم مرتبط می باشند[۲]. رابطه (۲)

$$l = l_o - \sqrt{S^2 + R^2 - 2RS\cos(\theta_o - \theta)} \quad (۲)$$

$$\theta = -\theta_o + \cos^{-1}\left[\frac{(l_o - l)^2 - R^2 - S^2}{2RS}\right] \quad (۳)$$

در سال ۲۰۰۵ آقای کروت طرح جدیدی را در مقاله خود ارائه کرد با عنوان نیروی همسانگرد[1] در زیر انگشت عملگر[۳].

این بدان معنی است که در هنگام چنگ زدن تمام نیرو به طور متمرکز و مساوی در بند های انگشت منتقل می شود. در حالی که پیشنهاد اکثر محققان به محدود کردن و سادگی طراحی می باشد، در اینجا سعی بر حفظ ویژگی های روباتیکی می باشد (افزایش تعداد نقاط تماس) در این مدل استفاده از قرقره با شعاع متمرکز و بادمک می باشد.این مکانیزم نشان می دهد که چطور روابط ریاضی نیروی همسانگرد[2] منجر به اشتراک گزاری مقدار زور بین انگشتان می شود[۳]. رابطه (۳)

$$T_1 / a_1 = T_2 / a_2 = T_3 / a_3 ,$$

که در آن: $T_i , \hat{i} \in \{1,2,3\} + a_3.\theta_3 = 0 ,$

سه ورودی گشتاور (نیرو) می باشد.

و مکانیزم دیفرانسیل θ زاویه (جابجایی) $a_i , \quad i \in \{1,2,3\}$

در این سیستم به علت تغییر شعاع بادامک در هنگام کشیدگی تاندون ها حرکت مطلوب به دست می آید .

۱-۲-بررسی حرکت روبات:

می توان به ۳ سیستم انتقال نیرو که به آن اشاره شد[۱-۳]، جدولی طراحی کرد

جدول ۱ مقایسه درجه آزادی و مشخصات مکانیکی

	درجه آزادی برای هر بند	تاندون مفصل	سنسور	محرک
مقاله [۱]	۳	۳	فشار سنج	موتورDC
مقاله [۲]	۱	۰	پتانسیومتر	موتورDC
مقاله [۳]	۳	۳	دیسک و بادامک	موتورDC

۱-۳-تحلیل

سیستم کنترل الکترونیکی روباتی که اشاره شد[۱]، بصورت کارت ورودی و خروجی PCI - ۱۴ بیتی و حلقه باز می باشد که میتوان به عنوان معایب این طرح اشاره کرد زیرا به یک رایانه استاندارد نیاز است، ضمنا طراحی غلاف تاندون و طراحی مکانیکی این طرح را میتوان از معایب آن بر شمرد[۱].

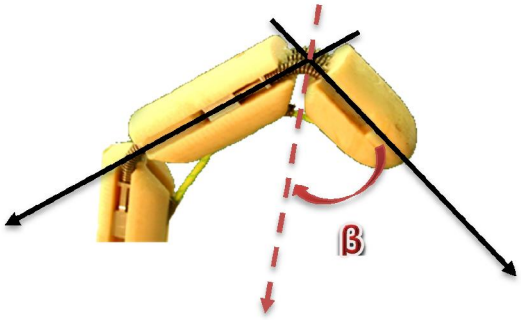
در طراحی شارما تعداد تاندون ها را میتوان یک مزیت نسبت به طرح های دیگر دانست [۲].

همینطور کاهش پیچیدگی مکانیکی را می بینیم که به تبع آن هزینه پایین، تعمیر و نگهداری آسان، قابلیت اطمینان بالا شده است [۲].

کنترل این روبات حلقه بسته بوده و توسط میکروکنترولر انجام می گیرد که مزیتی نسبت به اینترفیس های کارتی PCI می باشد زیرا عملکرد بین زمان پاسخ و ثبات مهم است[۲]. بر خلاف مکانیک ساده نتوانسته جنبه طبیعی و انسانی روبات را پیاده سازی کند این نیز ضعف طراحی شارما و همکارانش می باشد همچنین درجه آزادی انگشتان مخصوصا انگشت شصت بسیار ضعیف می باشد[۲].

۱-۴-اهدف مطالعه :

در این مطالعه سعی بر آن شد دست رباتی طراحی شود که از یکرو جنبه های انسانی فوق حفظ شود و از مکانیک نسبتا ساده بهره می برد، تعداد و غلاف تاندون ها مزیت این طرح می باشد، نوع موتور سروو می باشد و کنترل الکترونیکی حلقه بسته بوده.



شکل ۳ زاویه بین مفاصل با استفاده از غلاف ثابت تاندون

[1] force-isotropic
[2] isotropic

جدول ۲ مقایسه موارد مشابه در جهان

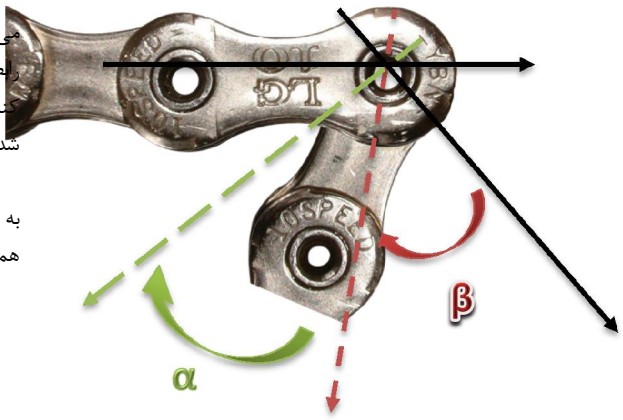
عنوان	مقاله[۱]	مقاله [۲]	مقاله[۳]	سازه حاضر
نوع سنسور	فشارسنج	مقاومتی	دیسک	نیاز ندارد
کنترل *	کارت pci	میکروکنترل	----	میکروکنترل
تاندون**	۳	۱	۳	۱
محرک	موتور DC	موتور DC	موتور DC	موتورسروو
درجه آزادی	۳	۱	۳	۱
هزینه	بالا	پایین	بالا	پایین
نگهداری***	سخت	متوسط	سخت	آسان
طراحی****	عالی	ضعیف	ندارد	خوب

* سیستم کنترل الکترونیکی
** تعداد تاندون برای هر بند انگشت
*** تعمیر و نگهداری
**** حفظ جنبه های انسانی در طراحی

۲- معرفی و روش ساخت

جهت اتصال مفاصل از زنجیر استیل صنعتی که کاربرد آن در راه اندازی دستگاه های صنعتی می باشد استفاده شده است علت آن این است که محدودیتی بین مفاصل نیست در شکل (۳) می بینید نمونه طراحی شده توسط لوتی و همکارانش [۱] محدودیت حرکتی دارد و این موضوع کاملا در طراحی مکانیک آن مشخص است .

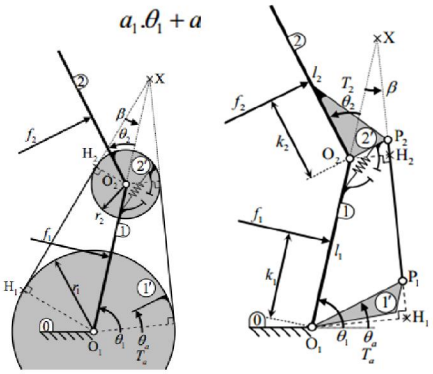
واضح است که در سازه طراحی شده خودمان به دنبال رفع این مشکل هستیم شکل (۴) نشان می دهد زاویه بین مفاصل به اندازه a بهبود پیدا کرده است.



شکل ۴ زاویه بین مفاصل

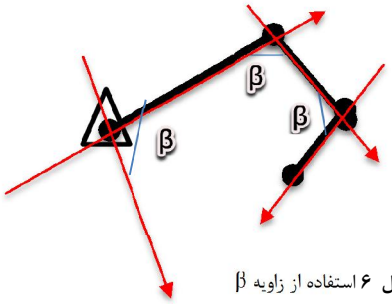
نکته دیگر غلاف تاندون می باشد که محدودیتی برای خمش انگشتان بعد از زاویه β آن پیدا می شود، درواقع راه حل های ارائه شده از طرف آقای کروت جبران زاویه خمش توسط دیسک و بادامک داخل مفاصل با استدلال به مکانیزم دیفرانسیل می باشد [۳] که در شکل (۵) می بینید .

$$T_1 / a_1 = T_2 / a_2 = T_3 / a_3 ,$$
$$a_1.\theta_1 + a$$



شکل ۵ رابطه بین کشش تاندون و بادامک

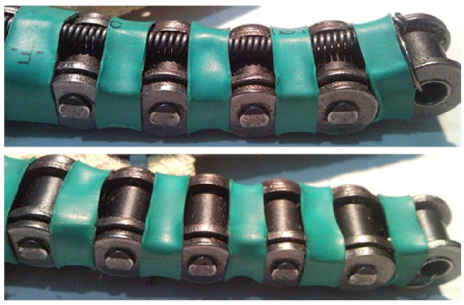
درصورتی که این لینک ها از غلاف مکانیکی ثابت مشابه شکل (۳) استفاده شود همانند شکل (۶) زوایای یکسانی پیدا می شود.



شکل ۶ استفاده از زاویه β

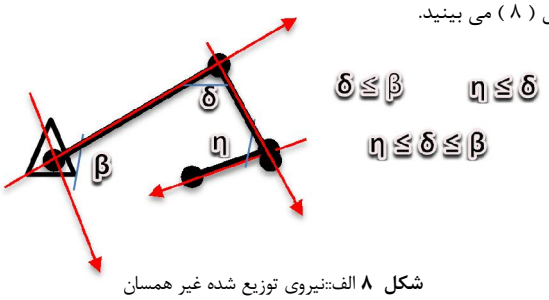
راه حلی که در سازه فوق بکار بردیم استفاده از غلاف تاندون قابل ارتجاع می باشد، همانطور که واضح است درصورتی که کشش تاندون با تغییر زاویه رابطه خطی داشته باشد خمش انگشتان جنبه انسانی بودن خود را حفظ می کند این خاصیت در شکل (۵) به خوبی توسط دیسک و بادامک نشان داده شده است.

حال اگر متناسب با کشش تاندون غلاف آن تغییر طول دهد همین عمل به سادگی انجام می شود، نکته قابل ملاحظه کاهش پیچیدگی مکانیکی و همینطور کاهش هزینه طراحی می باشد که در شکل (۷) می بینیم.



شکل ۷ استفاده از غلاف قابل ارتجاع

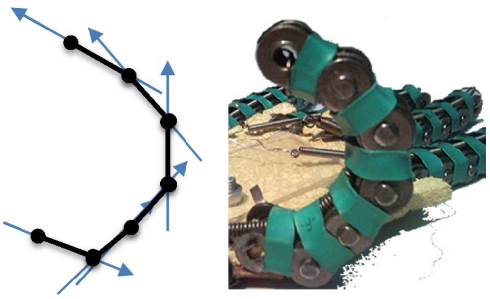
وقتی نیروی کشش تاندون به مفاصل وارد می شود به طور غیر همسان به مفاصل انتقال داده می شود ، یعنی میزان تغییر زاویه مفصل اول به دوم و... متفاوت می باشد و میزان آن به مقدار قابل ارتجاع غلاف بستگی دارد، در شکل (۸) می بینید.



شکل ۸ الف::نیروی توزیع شده غیر همسان

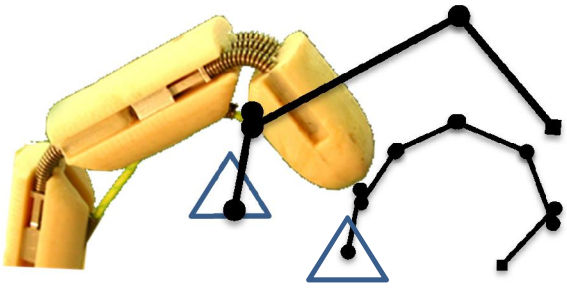
(نام گذاری زاویه های مورد نظر فقط جهت مقایسه باهم می باشد η – δ – β)

همانطور که در شکل (۹) مشاهده میکنید بسته شدن پنجه با استفاده از روش غلاف قابل ارتجاع نسبت به موارد مشابه طبیعی تر می باشد.



شکل ۹ ب::نیروی توزیع شده غیر همسان

راه حل دیگری که در ساخت روبات فوق به کار بردیم استفاده از تعداد بیشتری مفصل و لینک می باشد. یعنی استفاده از ۵ مفصل بجای ۳ مفصل سنتی که در روبات های مشابه استفاده می شود. البته نکته مهم در اینجا کم کردن فاصله بین مفاصل می باشد که در شکل (۱۰) مشاهده می کنید.



شکل ۱۰ تعداد مفاصل

یکی از مسائلی که در رباتیک مورد بحث است برنامه ریزی مسیر پیوست[1] می باشد که موارد مطالعاتی متعددی در مقالات به این موضوع اختصاص دارد که در اینجا به بررسی آقای آلپس و همکارانشان می پردازیم که در سال ۱۹۹۹ به این موضوع اشاره کردند که تداوم انحنا به صورت یک قید جدید[2] می باشد [۴].

البته در مقاله فوق مسیر پیوسته و تداوم انحنای مسیر، جهت حرکت روبات میباشد منظور مسیر حرکت روبات است اما در سازه فوق منظور انحنای مفاصل به طور پیوسته با زاویه های متفاوت درحال تغییر است.

۲-۱-محرک ها :

با توجه به این که همیشه در بحثهای کنترلی ماشین آلات چگونگی کنترل محورها و چگونگی ارتباط سروو درایوها با هسته اصلی کنترلی اهمیت ویژه ای دارد در این سازه سرو درایوها با یک ارتباط فیلد باس ارائه می شوند و به سادگی قابل کنترل، پارامتردهی و برنامه ریزی هستند.

به طور کلی با حذف سنسور روی انگشتان مشکلی که پیش می آید خمش بیش از حد مفاصل می باشد زیرا روبات نمیتواند زمان ارسال دستور حرکت موتور ها را تنظیم کند و نیاز به سنسور می باشد .

برای حل این مسئله از سرو موتور استفاده شده است این کار باعث شده سنسور ها حذف و کنترل مفاصل به راحتی انجام شود، جنبه های قابل ملاحظه :

۱-کاهش هزینه

۲-فرمان پذیری ساده تر (موقعیت مفصل در هر لحظه مشخص می باشد)

۳-کاهش تاخیر تحلیل داده (سرعت فرمان دهی بالا)

۴-دقت بیشتر

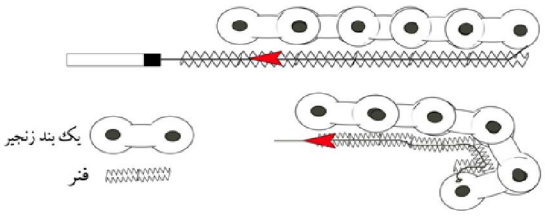
سرعت پاسخ گویی سروو موتور ها به سیگنال خطا بالا بوده و تفاوت اصلی سروو موتورها با موتورهای معمولی را می توان در خواندن فیدبک خروجی دانست.

یک سیستم کنترلی فیدبک دار، سیستم کنترلی است که به نگهداشتن یک رابطه مفروض بین یک کمیت کنترل شده و یک کمیت مرجع ، با مقایسه توابع آنها و استفاده از اختلاف به عنوان وسیله کنترل منجر می شود.

۲-۲-نگهدارنده مفاصل :

[1] continuous path planning robotics
[2] SubOptimal Continuous-Curvature

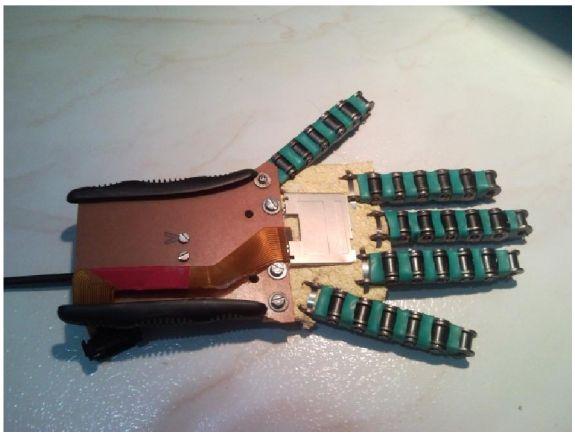
در اینجا بر خلاف نمونه های مشابه از یک نگهدارنده مفاصل یک تکه استفاده شده است علت این کار نزدیکی بیش از حد مفاصل به هم می باشد، این فنر به طول هر انگشت متفاوت بوده و جهت بازگرداندن مفاصل به حالت اولیه قبلی استفاده می شود شکل (۱۱)



شکل ۱۱ تاندون ها و نگهدارنده ها

مزیتی که در این روش می شود به آن اشاره کرد این است که وظیفه تاندون ها را همین فنر نگهدارنده ایفا می کند و تاندون جداگانه ای برای مفاصل استفاده نشده است روشی کاملا ساده و در عین حال مفید می باشد که به سهولت حرکت انگشتان کمک می کند.

درواقع انتهای فنر نگدارنده مفاصل به تاندون وصل شده و از سوی دیگر تاندون به محرک متصل است، با کشش تاندون فنر در طول مفاصل جابجا شده و باعث بسته شدن مفصل می شود. شکل (۱۱)



شکل ۱۲ نمای کامل از ربات

۳- مراجع

[1] Lotti F, Tiezzi P, Vassura G, Biagiotti L, Palli G, Mechiorri C. Development of UB
[2] Sharma A., Mithra Noel M., “Design of a low-cost five-finger anthropomorphic robotic arm
[3] Krut S., “A Force-Isotropic Underactuated Finger” Proceedings of the 2005 IEEE
International Conference on Robotics and Automation
Barcelona, Spain, April 2005
with nine degrees of freedom” Robotics and Computer-Integrated Manufacturing 28 (2012) 551–558
[4] Scheuer A., “SubOptimal Continuous-Curvature Path Planning for Non-Holonomic Robots” Journ´ees des Jeunes Chercheurs 11`eme´edition, 8-9 Avril 1999, Lausann
hand 3: Early results. In: IEEE International Conference on Robotics and Automation. Spain; April 2005