مجله مهندسی مکانیک، شماره پیاپی ۸۰، جلد ۴۷، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۶، صفحه ۶۹-۷۵

یک گریپر قابل برنامه ریزی حساس به سفتی برای جابجایی اشیاء در سیستم های هپتیکی و رباتیک

ساناز جبّاری دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی مکانیک، دانشگاه اراک، اراک، ایران
مهدی مدبری‌فر* استادیار، گروه مهندسی مکانیک، دانشگاه اراک، اراک، ایران
مجتبی قدسی استادیار، گروه مهندسی مکانیک و صنایع، دانشگاه سلطان قابوس، مسقط، عمان

چکیده

در این مقاله روشی جدید برای جابجایی یک شیء ارائه می‌شود. این روش مبتنی بر استفاده از گریپری هوشمند جهت تشخیص سفتی جسم و سپس تنظیم قابل برنامه‌ریزی میزان نیروی اعمالی به جسم برای جابجایی آن است. اجزای اصلی این سیستم شامل چهار بخش سنسوری (سنسورهای اندازه‌گیری نیرو و جابجایی)، الکتریکی (مدارات الکتریکی، سیستم پردازش اطلاعات لمسی و کنترل نیروی گیره‌بندی)، مکانیکی (مکانیزم گریپر و سیستم محرکه) و نمایشگر خروجی است. در این سیستم با یک پتانسیومتر مقدار جابجایی گیره گریپر به دست آمده و برنامه ریزکنترل‌گر با لاپس خورد نیروی دریافت‌شده توسط لودسل نصب شده در محل گریپر مقدار سفتی را محاسبه می کند و سپس به موتور گریپر فرمان می دهد دو انگشت گریپر به چه میزان به یکدیگر نزدیک شوند تا بتوانند جسم را با نیروی مشخصی گرفته و جابجا کنند. نتایج آزمایش ها بر روی انواع جسم ها با سفتی های مختلف نشان‌دهنده‌ی موفقیت سیستم در بدست‌آوردن سفتی جسم و اعمال نیروی گیره بندی برنامه ریزی شده بر آن می‌باشد. این گریپر می تواند در انواع واسطه های هپتیکی یا سیستم های رباتیک برای جابجایی اشیا به کار می‌رود.

واژه‌های کلیدی: گریپر، هپتیک، سفتی، رباتیک.

A Programmable Stiffness-sensitive Gripper for Object Handling for Haptic and Robotic Systems

S. Jabbari Department of Mechanical Engineering, Arak University, Arak, Iran
M. Modabberifar Department of Mechanical Engineering, Arak University, Arak, Iran
M. Ghodsi Department of Mechanical and Industrial Engineering, Collage of Engineering, Sultan Qaboos University, Muscat, Oman

Abstract

In this paper a new method for object handling is presented. It is based on the use of an intelligent gripper to detect the object stiffness and then setting a programmable force for grasping the object motion. The main components of this system includes sensors (sensors for measuring force and displacement), electrical (electrical and electronic circuits, tactile data processing and force control system), mechanical (gripper mechanism and driving system for the gripper) and the display unit. The system uses a rotary potentiometer for measuring gripper displacement. A microcontroller using the feedback received by the load cell, mounted on the finger of the gripper, calculates the amount of stiffness, and then commands the gripper motor to apply a certain force on the object. Results of Experiments on some samples with different stiffness show that the gripper works successfully. The gripper can be used in Haptic interfaces or robotic systems for object handling.

Keywords: Gripper, Haptic, Stiffness, Robotic.

۱-مقدمه

سفتی و نرمی یک شیء از ویژگی‌هایی است که در نحوه تماس فیزیکی با آن جسم می بایستی مورد توجه قرار گیرد. همچنین سفتی یا نرمی یک جسم می تواند بیانگر مشخصات فیزیکی آن جسم نیز باشد. بعنوان مثال در مراحل مختلف تشخیص‌های پزشکی، با استفاده از حس لامسه میتوان غده‌های سرطانی، تومور و کیست را در داخل بافت‌های بدن تشخیص داد و معمولاً پزشکان و جراحان برای معاینه و تشخیص چنین مواردی، از لمس کردن بافت مورد نظر کمک می‌گیرند. از سوی دیگر، در جراحی های از راه دور، پزشکان اقدام به گرفتن، بلند کردن و جابجا کردن بافت یا عضوی از اعضای بدن بیمار می‌کنند. در چنین مواردی نیاز است که سفتی بافت مورد نظر احساس شود تا بدون کمترین صدمه به بافت، به آن نیروی متناسب وارد کرده و جابجا کرد. در صنعت نیز مواردی وجود دارد که اهمیت تشخیص سفتی اجسام را روشن می‌سازد. گرفتن، بلندکردن و جابجا کردن اشیاء ظریف و حساس بدون صدمه زدن به آنها و جابجایی اشیاء در محیط‌های مضر برای کاربر (محیط‌هایی مانند اتاق‌های پرتودهی) نیازمند دانستن میزان سفتی شیء مورد نظر است. در تمامی این موارد نیاز به ابزاری است که به عنوان یک حس لامسه مصنوعی عمل کرده و به اپراتور بازخورد سفتی جسم را بدهد.

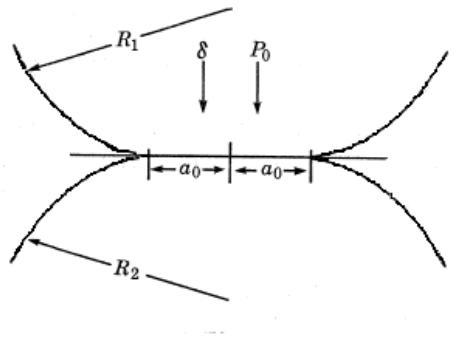
مفهوم حس لامسه مصنوعی بر اساس اندازه گیری نیرو و گشتاور و محاسبات هندسی اولین بار توسط سالیسبری معرفی شد[۱]. در این پژوهش با استفاده از سنسور اندازه گیری نیرو در انگشتان گریپر یک روبات و دانستن هندسه سطح انگشتان، اطلاعات ضروری برای جابجایی

* نویسنده مکاتبه کننده، آدرس پست الکترونیکی: m-modabberifar@araku.ac.ir
تاریخ دریافت: ۹۴/۰۸/۰۲
تاریخ پذیرش: ۹۴/۱۲/۱۵

و مونتاژ قطعات شامل بزرگی نیروی تماسی، محل تماس انگشتان و سطح اجسام و راستای نیروی اعمالی به اجسام مورد جابجایی به روشی ساده و سریع بدست آمد. نوع درون ساختاری[1] این گریپر که نیرو در داخل فضای گریپر و در فاصله ای دورتر از سطح تماسی با اجسام اندازه گیری می شد در [۲] توسعه داده شد. این سنسور درون ساختاری لامسه ای برای جلوگیری و کنترل لغزش اشیا نیز استفاده گردید [۳] .از تکنولوژی حس لامسه‌ای مصنوعی نه تنها در بازوها و گریپرهای رباتیک، بلکه در پاهای رباتها برای کنترل حرکت بر روی سطوح با عوارض سطحی نامشخص نیز استفاده گردید[۴].

عمده پیشرفت های اخیر در تکنولوژی حس لامسه مصنوعی در رباتهای دستیار پزشکی اتفاق افتاده است. از این تکنولوژی برای اعمال جراحی با دسترسی کمینه[2] استفاده شد[۵]. در این روش با استفاده از محرکه هایی مانند پیزوالکتریکها، حس لامسه برای جراح بازتولید میشود. این تکنولوژی امروز به نام هپتیک شناخته می شود. در همین راستا سنسور لامسه‌ای حساس به نیرو در روبات‌های مورد استفاده در این اعمال جراحی به کار برده شد[۶]. از تکنولوژی حس لامسه‌ای مصنوعی در اعمال جراحی تهاجمی کمینه[3] نیز استفاده گردید[۷]. یک سیستم حسگر لامسه‌ای قابل استفاده در پالپیشن‌های مصنوعی جرّاحی در [۸] طراحی و ساخته شد. در این پژوهش با الهام از معاینه فیزیکی جرّاح، عملکرد یک سیستم حسگر لامسه‌ای در تعیین محل دقیق قرارگیری تومور در موارد مشکوک به سرطان سینه مورد تحلیل قرار گرفت. در این پژوهش با استفاده از سنسور نیرو و جابجایی و حرکت پروب حامل این سنسورها بر روی سینه بیمار و اندازه گیری تغییرات سفتی بافت سینه، محل دقیق قرارگیری تومور در سینه تعیین گردید. پژوهش مشابه ای در [۹] نیز برای تشخیص محل سنگ کلیه در بافت کلیه انجام گرفت. در این پژوهش با استفاده از سنسورهای اندازه گیری نیرو و جابجایی، سفتی نقاط مختلف بافت کلیه اندازه گیری شده و محل هایی که دارای سفتی بیشتری هستند به عنوان محل قرار گرفتن سنگ کلیه معلوم گردید.

در این مقاله با استفاده از ایده حس لامسه مصنوعی برای تشخیص بافت سفت از نرم در تشخیص ها و جراحی های



شکل ۱- تماس بین دو جسم کروی الاستیک با شعاعهای R_1 و R_2 تحت نیروی عمود بر صفحه تماس P_0 و جابجایی الاستیک δ متاثر از آن[۱۰]

[1] Intrinsic
2 Minimal Access Surgery
3 Minimally Invasive Surgery

لاپاروسکوپی، یک گریپر قابل برنامه ریزی جدید برای جابجایی اشیاء با توانایی تشخیص میزان سفتی شیء طراحی و ساخته میشود. اگرچه از سنسور نیرو در انگشتان گریپر رباتهای جابجایی اشیا قبلا استفاده شده است ولیکن بازخوردهای دریافت شده محدود به نیرو بوده و تشخیص سفتی و نرمی اجسام با استفاده از این بازخورد انجام میگرفته است نه محاسبه سفتی جسم. با محاسبه سفتی اجسام مورد جابجایی میتوان نیروی گیره بندی را با ضابطه ای مشخص و از پیش تعیین شده به جسم اعمال کرد. در این پژوهش علاوه بر سنسور اندازه گیری نیرو یک سنسور اندازه گیری جابجایی به یک گریپر جابجایی اشیا اضافه شده تا سفتی جسم مورد اندازه گیری محاسبه شده و سپس بر اساس یک استراتژی کنترلی شرطی اعمال نیرو بر اساس سفتی که کاربر مشخص میکند اقدام به گرفتن و جابجایی اشیا میکند. در ادامه به بررسی عملکرد این گریپر پرداخته شده و عملکرد آن در اندازه گیری سفتی اشیا با سفتی مشخص ارزیابی میشود.

۲- طراحی و مدلسازی گریپر حساس به سفتی

۲-۱- مفهوم سفتی

سفتی[4] به میزان صلبیت و یا مقاومت یک جسم در مقابل نیروی بار که می‌تواند فشاری، کششی، خمشی، برشی و یا چرخشی باشد، گفته می‌شود. برای یک جسم الاستیک با یک درجه آزادی (مثلا جسم تحت کشش یا فشار) مقدار سفتی از رابطه زیر بدست می آید:

$$\mathbf{k = \frac{F}{\delta}} \qquad (۱)$$

که در این رابطه F نیروی اعمال شده به جسم و δ جابجایی جسم در راستای اعمال نیرو میباشد. نکته دیگری که می بایست بدان توجه داشت این است که سفتی با مدول الاستیسیته یکسان نیست. مدول الاستیک یک ویژگی از مواد تشکیل دهنده است. در حالیکه سفتی یک ویژگی از یک ساختار است. به عبارت دیگر مدول الاستیسیته یک ویژگی مربوط به فشردگی مواد است در حالیکه سفتی یک ویژگی مربوط گستردگی مواد است و بستگی به مواد، شکل مواد و شرایط مرزی دارد. با این وجود و با توجه به اینکه ساختار اشیا متفاوت بوده و الزاما از مدل خاصی تبعیت نمی کنند، روابط ارائه شده برای محاسبه جابجایی دو جسم در تماس با یکدیگر بر اساس خاصیت الاستیک آنها بیان شده است. اگر دو جسم در تماس با یکدیگر را در حالت کلی دو جسم کروی با شعاعهای R_1 و R_2 در نظر بگیریم که با نیروی P_0 (مطابق شکل ۱) بهم فشرده میشوند شعاع a_0 دایره تماس از رابطه (۲) بدست می آید[۱۰]:

$$\mathbf{a_0^3 = \frac{3}{4}\pi(k_1 + k_2)\frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}P_0} \qquad (۲)$$

که k_1 و k_2 ثابت های الاستیک ماده کره ها هستند که برابر هستند با :

$$\mathbf{k_1 = \frac{1 - v_1^2}{\pi E_1}} \qquad (۳)$$

$$\mathbf{k_2 = \frac{1 - v_2^2}{\pi E_2}} \qquad (۴)$$

[4] Stiffness

که $\mathbf{v}$ ضریب پواسون و $\mathbf{E}$ مدول یانگ مواد مرتبط می باشند. با اعمال نیروی فشاری این دو جسم به یکدیگر، فاصله نقاط متناظر این دو کره نسبت به یکدیگر کمتر شده و جابجایی $\boldsymbol{\delta}$ بدست می آید:

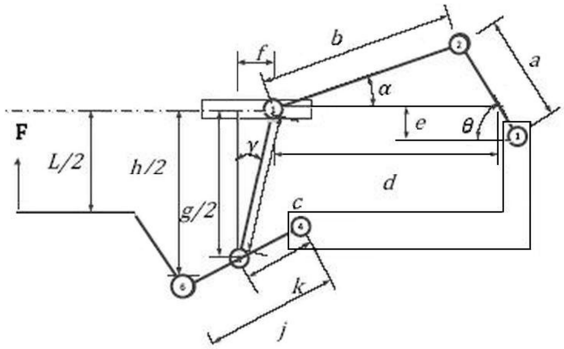
$$\boldsymbol{\delta}^3 = \frac{9}{16}\pi^2(k_1+k_2)^2\frac{R_1+R_2}{R_1R_2}P_0^2 \qquad (۵)$$

در این مقاله اندازه گیری سفتی تنها در راستای اعمال نیرو انجام شده است و از محاسبه سفتی در سایر جهات اجتناب شده است. مدلی که در این مقاله برای اجسام در نظر گرفته شده است یک فنر ساده می باشد که برای اندازه گیری سفتی آن نیاز به اندازه گیری نیرو و جابجایی در راستای اعمال نیرو است. بنابراین محدود کاری گریپر طراحی شده در این مقاله محدود به موادی با مدل فوق است.

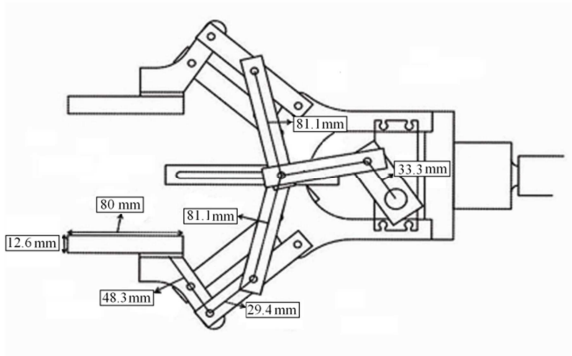
۲-۲- طراحی مکانیکی گریپر

گریپر ها ابزارهایی هستند که در ابتدا برای افزایش قدرت دست انسان جهت گرفتن و بلند کردن اشیا طراحی و ساخته شدند. با پیشرفت علم و پیدایش رباتها وظیفه بلند کردن و جابجایی اشیا در خطوط تولید به رباتها و منیپولاتورها واگذار گردید که این مستلزم طراحی گریپرهای پیشرفته برای انتهای موثر بازوی رباتها، واسطه های هپتیکی و منیپولاتورها بود. در طرّاحی و ساخت یک گریپر حساس به سفتی، تماس فیزیکی بین انگشتان گریپر و شیء از اهمیّت ویژه‌ای برخوردار است و پارامترهایی از تماس به عنوان معیاری برای تحریک انگشتان گریپر انتخاب می‌شود. این پارامترها در این پژوهش نیرو و جابجایی در راستای نیرو می باشد. بنابراین علاوه بر مکانیزم های مرسوم گرفتن و جابجایی اشیا، گریپر مورد طراحی باید قابلیت اندازه گیری نیرو و جابجایی در امتداد نیرو را داشته باشد. این نیاز مستلزم استفاده از سنسورهای اندازه گیری نیرو و جابجایی در داخل بدنه گریپر است. با توجه به مکانیزم های متداول گریپر در روباتها و منیپولاتورها مشخص میگردد که باز و بسته شدن گریپر عمدتا بوسیله یک موتور الکتریکی انجام میشود که با استفاده از یک مکانیزم واسطه انگشتان گریپر را باز و بسته میکند. برای اندازه گیری نیرو لازم است که سنسور اندازه گیری نیرو (لودسل) در نوک انگشتان گریپر و درجایی که با جسم تماس دارد قرار گیرد. اندازه گیری جابجایی نوک انگشتان گریپر به روش های مختلفی امکان پذیر است که بهترین روش آن استفاده از سنسور جابجایی در نوک انگشت گریپر میباشد ولیکن به دلیل هزینه بالای این سنسورها از انکودر یا پتانسیومتر دورانی هم میتوان استفاده کرد و حرکت دورانی موتور را به جابجایی خطی سر انگشتان گریپر تبدیل کرد. یک پردازشگر (میکروکنترلر یا کامپیوتر) نیز لازم است تا با تفسیر اطلاعات بدست آمده از سنسورها مقدار سفتی را بدست آورده و بر اساس شرایطی مشخص نیروی وارد بر جسم را بر اساس سفتی آن اعمال کند. در این پژوهش با توجه به لودسل ها و پتانسیومترهای موجود در بازار یک گریپر قابل نصب بر روی بازوی روباتها طراحی گردید. شکل ۲ مدل ساده و پارامترها و شکل۳ ابعاد و مدل این گریپر را نشان میدهد. ابعاد و اندازه های گریپر و لودسل طوری انتخاب شده اند که نزدیک به ابعاد دست یک انسان بالغ بوده و طول انگشتان آن متناسب با طول لودسل موجود طراحی شده است.

جهت بدست آوردن جابجایی و نیروی وارد شده به اشیا نوک انگشتان گریپر بر حسب زاویه دوران $\boldsymbol{\theta}$ و گشتاور M اعمال شده از طرف موتور از شکل ۲ استفاده میشود.



شکل ۲ - مدل ساده شده و پارامترهای ابعادی گریپر طرّاحی شده



شکل ۳ - مدل و مشخصات هندسی گریپر طراحی شده

$$d_i = b\cos\alpha_i + \left(a - \frac{e}{\sin\theta_i}\right)\cos\theta_i \qquad (۶)$$

که در این رابطه α_i برابر است با

$$\alpha_i = \sin^{-1}\frac{a\sin\theta_i - e}{b} \qquad (۷)$$

از طرف دیگر

$$\gamma_i = \sin^{-1}\frac{f+\Delta d}{c} \qquad (۸)$$

در این رابطه مقدار f در حالت بیشینه بازشدگی دهانه گریپر است که با چرخش موتور از زاویه اولیه (بیشینه بازشدگی دهانه گریپر) $\boldsymbol{\theta_1}$ به زاویه $\boldsymbol{\theta_2}$ مقدار $\Delta d = d_1 - d_2$ به f اضافه میشود. نهایتا مقدار بسته شدن نوک انگشتان گریپر از این رابطه بدست می آید:

$$\Delta L = \frac{j}{k}\Delta g \qquad (۹)$$

که

$$\Delta g = 2c(\cos\gamma_1 - \cos\gamma_2) \qquad (۱۰)$$

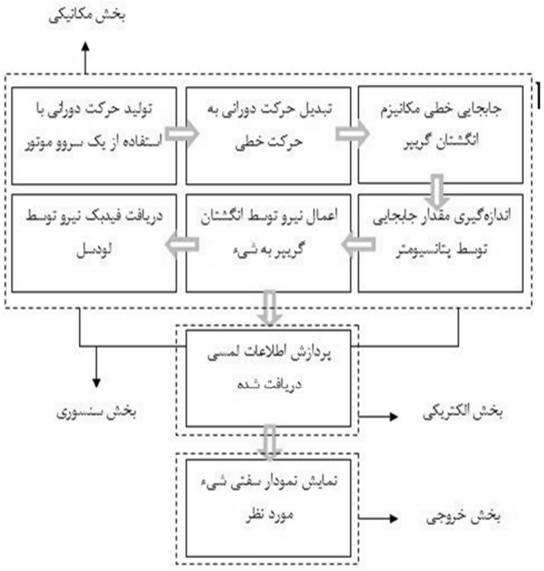
مقدار نیروی F در نوک انگشتان گریپر نیز از رابطه زیر بدست می آید.

$$F = \frac{Mk\sin\theta\cot\gamma}{aj} \qquad (۱۱)$$

برای انجام آزمایشات یک دسته و پایه نیز برای گریپر طراحی گردید تا این گریپر قابلیت گرفتن و بلند کردن اشیا را در مقیاس آزمایشگاهی داشته باشد.

۲-۳- استراتژی عملکردی و کنترلی گریپر حساس به سفتی

شکل ۴ بلوک دیاگرام نحوه‌ی عملکرد گریپر حساس به سفتی برای جابجایی اشیاء را نشان میدهد. همانطور که در این شکل نشان داده شده است اجزای اصلی گریپر حساس به سفتی شامل چهار بخش سنسوری (شامل سنسورهای اندازه‌گیری نیرو و جابجایی)، مکانیکی (شامل سخت افزار سیستم حسگر لامسه ای در برگیرنده‌ی دسته حسگر و انگشتان حسگر)، الکتریکی(شامل مدارات الکتریکی و الکترونیکی و سیستم پردازش اطلاعات لمسی) و خروجی (شامل نمایشگر نتایج)



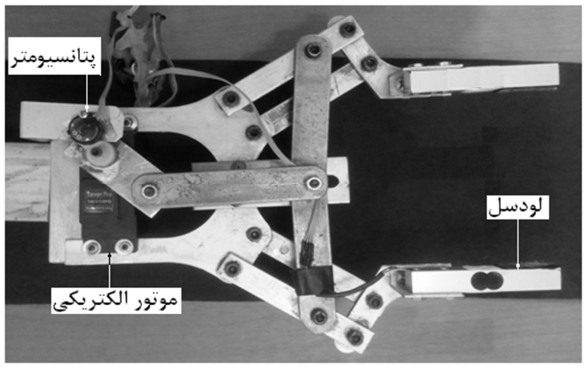
شکل ۴ - بلوک دیاگرام نحوه‌ی عملکرد گریپر حساس به سفتی برای جابجایی اشیاء

است. با ارسال فرمان از اپراتور به گریپر، موتور گریپر عمل کرده و انگشتان گریپر بسته می شوند. با اولین تماس انگشتان گریپر و شی، نیروی حس شده توسط لودسل به پردازنده سیستم ارسال شده و همزمان مقدار جابجایی نوک انگشتان گریپر توسط پتانسیومتر نصب شده بر روی موتور محرکه گریپر اندازه گیری می شود و نتایج آن به پردازنده ارسال میگردد. با توجه به رابطه (۵) مشخص میگردد که با توجه به بزرگتر بودن مدول الاستیسیته لودسل نسبت به فنرهای مورد تست، مقدار جابجایی اندازه گیری شده را میتوان فقط برای فنر در نظر گرفت. پردازشگر سیستم با دریافت اطلاعات نیرو و جابجایی از گریپر به محاسبه سفتی پرداخته و با توجه به استراتژی مشخص شده برای آن نیروی گیره بندی گریپر را در حد خاصی نگه میدارد.

مقدار حدی نیروی گیره بندی برای اشیا با سفتی مختلف متفاوت بوده و بسته به کاربری گریپر قابل برنامه ریزی است. جدول ۱ استراتژی کنترلی بکار رفته در این پژوهش برای اعمال نیروی گیره بندی را نشان میدهد. مقدار نیروی اعمالی به شی در این پژوهش بر اساس لودسل بکار رفته انتخاب گردیده است و بدیهی است که برای کاربرد هایی که نیاز به اعمال نیروی بیشتری می باشد میبایست از لودسل با ظرفیت متناسب با کاربری و موتور الکتریکی با توان بیشتر استفاده کرد.

۴- ساخت گریپر حساس به سفتی

شکل ۵ گریپر ساخته شده را پس از اتمام مراحل ماشینکاری و مونتاژ نشان می‌دهد.



شکل ۵ - گریپر ساخته شده حساس به سفتی برای جابجایی اشیاء در حالت باز

جدول ۱- استراتژی کنترلی نیروی اعمالی به شیء

میزان سفتی شی (نیوتن بر میلیمتر)	تعریف جنس شیء	نیروی اعمالی به شیء (نیوتن)
$k \leq ۰/۲$	خیلی نرم	۳-۲
$۰/۲ < k \leq ۰/۴$	نرم	۵-۳
$۰/۴ < k \leq ۰/۶$	متوسط	۶-۵
$۰/۶ < k \leq ۰/۸$	سفت	۷-۶
$۰/۸ < k$	خیلی سفت	۸-۷

لودسلی که برای این گریپر انتخاب شده، با توجه به شکل لودسل های موجود در بازار و راحتی مونتاژ آن بر روی فک های گریپر، یک نوع لودسل تک پایه با ظرفیت ۵ کیلوگرم (مدل ۱۰۰۲) است. موتور الکتریکی انتخاب شده جهت باز و بسته کردن انگشتان گریپر یک موتور Dc مدل 9805MG میباشد که گشتاور ۲۵ کیلوگرم در سانتی متر با ولتاژ ۶ ولت تواید میکند و یک پتانسیومتر دورانی (B5K) برای اندازه گیری مقدار دوران موتور و تبدیل آن به حرکت خطی نوک انگشتان گریپر برای محور آن نصب شده است. بخش الکتریکی شامل سیستم پردازشگر اطلاعات لمسی می‌باشد که اطلاعات تماسی دریافت

جدول ۲- مشخصات فنرهای استفاده شده برای آزمایشات ارزیابی

	فنر-۱	فنر-۲	فنر-۳
سفتی فنر (نیوتن بر میلی‌متر)	۰/۴۸	۰/۵۳	۰/۴۰

شده از سنسور اندازه گیری نیرو و جابجایی را پردازش کرده و به موتور گریپر و نمایشگر خروجی ارسال می‌کند. پردازشگر این سیستم

یک میکروکنترلر AVR (ATmega 128A) است که الگوریتم عملکرد دستگاه و استراتژی کنترل نیروی گریپر به زبان C در نرم افزار کدویژن نوشته شده و با استفاده از یک پروگرم به میکروکنترلر داده میشود. جهت مانیتورینگ، کنترل و تنظیم پارامترهای گریپر یک برنامه کنترلی به زبان C نوشته شده است. این برنامه به‌گونه‌ای طرّاحی شده که زمانیکه کامپیوتر با استفاده از یک کابل USB به بورد الکتریکی کنترلر گریپر وصل می‌شود، آن را شناخته و به آن وصل میشود. در صفحه نمایشگر این برنامه نمودارهای مقادیر خروجی پتانسیومتر بر حسب زمان، جابجایی انگشتان گریپر برحسب زمان، نیروی اندازه گیری شده توسط لودسل بر حسب زمان و جابجایی (سفتی) نمایش داده شده و امکان راه اندازی مجدد گریپر و کالیبره کردن لودسل در آن وجود دارد. شکل ۶ کل مجموعه آزمایشگاهی گریپر حساس به سفتی را نشان میدهد.

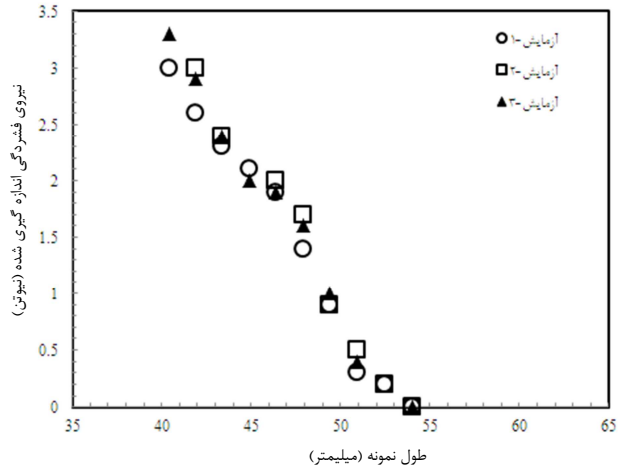
روش کار به این ترتیب است که کاربر، دسته‌ی گریپر را در دست گرفته و گریپر را به سمت نمونه‌ها هدایت می‌کند، با روشن شدن دستگاه و صادر شدن دستور گیره بندی سوی کاربر، انگشتان گریپر ابتدا کاملا باز شده تا فضای لازم جهت قرار گرفتن نمونه بین انگشتان گریپر تامین شود و سپس به یکدیگر نزدیک شده تا نمونه را در دست بگیرد. همزمان، اطلاعات مربوط به سنسورهای نیرو و جابجایی بر روی خروجی به نمایش در می‌آید.

۴- ارزیابی عملکرد گریپر ساخته شده حساس به سفتی

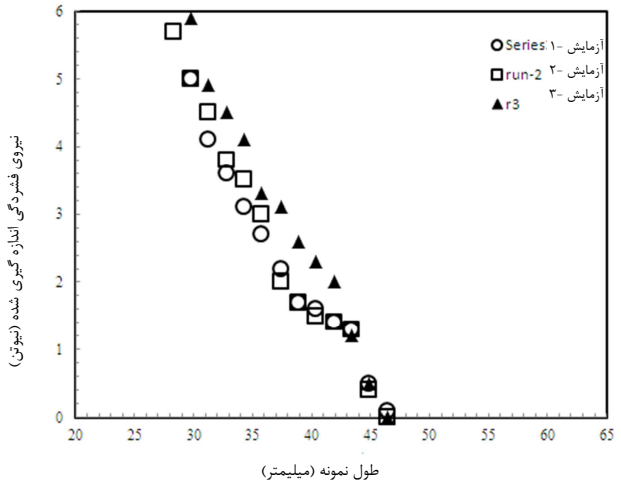
برای ارزیابی عملکرد گریپر ساخته شده به چند نمونه‌ی آزمایشی نیاز است که سفتی آن‌ها مشخص باشد و توسط این گریپر گرفته شوند تا مقدار سفتی اندازه گیری شده توسط گریپر و نیروی اعمال شده جهت گرفتن آنها توسط سیستم ساخته شده مشخص گردد. جهت انجام آزمایشات از ۳ نمونه فنر با سفتی‌های متفاوت استفاده گردید. مشخصات نمونه های انتخاب شده در جدول ۲ نمایش داده شده است.

شکل ۶ - مجموعه آزمایشگاهی ساخته شده گریپر حساس به سفتی

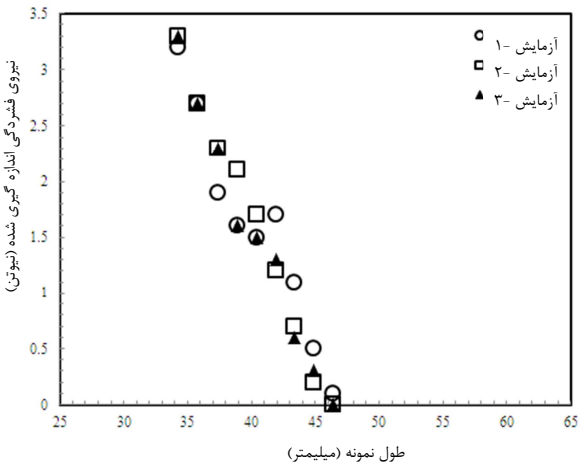
برای ارزیابی عملکرد گریپر حساس به سفتی، مقدار سفتی هر فنر طی سه مرحله (برای نشان دادن تکرار پذیری عمل گیره بندی) مورد ارزیابی قرار گرفت که نتایج آن در شکل‌های ۷-۹ مشاهده می‌شود، محور عمودی در شکلهای ۷-۹ نشان‌دهنده‌ی نیروی اعمالی از طرف انگشتان گریپر به نمونه‌ها و محور افقی نشان‌دهنده‌ی طول نمونه‌ها در هر لحظه است. بسته شدن گریپر بصورت ناپیوسته بوده و با ایجاد هر پالس از سوی سرووموتور یک نقطه در منحنی سفتی ایجاد می‌شود. برای حذف اثر نویزها در اندازه گیری ها، مقدار نیروی فشردگی فنرها از ۰/۳ نیوتن به بالا در مقدار سفتی محاسبه شده و اولین دو نقطه بدست آمده مبنای محاسبه سفتی جسم قرار میگیرد و کنترل نیروی گیره بندی بر مبنای آن صورت می‌گیرد.



شکل ۷ - نمودار سفتی اندازه گیری شده توسط گریپر حساس به سفتی برای فنر-۱



شکل ۸ - نمودار سفتی اندازه گیری شده توسط گریپر حساس به سفتی برای فنر-۲

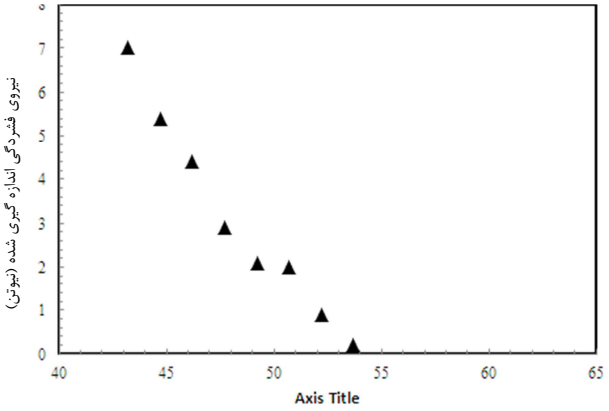


شکل ۹- نمودار سفتی اندازه گیری شده توسط گریپر حساس به سفتی برای فنر-۳

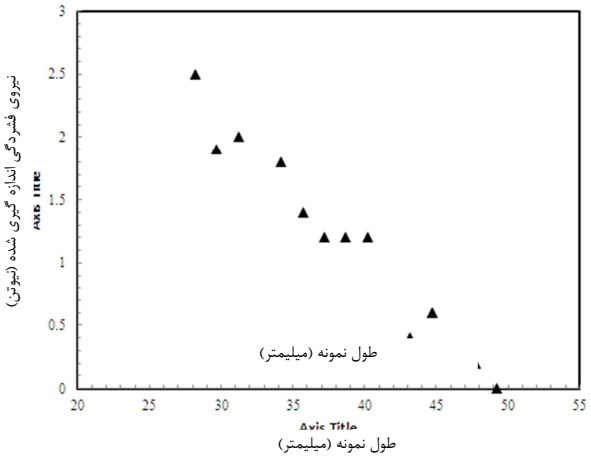
همانطور که در جدول ۳ مشاهده میشود مقادیر اندازه گیری شده سفتی در فنرهای ۲ و ۳ به مقدار واقعی نزدیک بوده و در فنر۱ این فاصله بیشتر بوده بطوریکه کنترلر گریپر این فنر را نرم تشخیص داده است. علت عمده این اختلاف بین مقادیر اندازه گیری شده از گریپر و مقدار واقعی وجود لقی بین اتصالات گریپر است که در بعضی اندازه گیری ها باعث کم شدن شیب منحنی سفتی میگردد. این خطا تا حدی اجتناب ناپذیر بوده و در صورت محکم بست اتصالات گریپر امکان حرکت از آن سلب میشود. با انتخاب سنسور اندازه گیری جابجایی در محل سنسور اندازه گیری نیرو (مثلا با استفاده از سنسور اندازه گیری جابجایی LVDT) میتوان این خطا را به میزان زیادی کاهش داد.از علل دیگر این خطا میتوان به کمانش فنر و خطا در آزمایش اولیه سنجش سفتی اشاره کرد. برای ارزیابی عملکرد گریپر در بازه های سفتی دیگر دو نمونه دیگر انتخاب گردیدند. یک نمونه با سفتی بیشتر از ۸/ نیوتن بر میلیمتر (یک مکعب فولادی) و دیگری با سفتی کمتر از ۰/۲ نیوتن بر میلیمتر (۵ لایه پلاستیک حبابدار) انتخاب گردیدند. شکلهای ۱۰ و ۱۱ نتایج تست اندازه گیری سفتی این دو نمونه را نشان میدهند. همانطور که مشاهده میشود گریپر نمونه فولادی را خیلی سفت تشخیص داده و حداکثر نیروی ۷ نیوتن به آن وارد میکند. همچنین گریپر پلاستیک حبابدار را خیلی نرم تشخیص داده و حداکث نیروی ۲/۵نیوتن به آن وارد میکند. علت پراکندگی نقاط اندازه گیری شده سفتی در نمونه پلاستیکی عدم یکنواختی در ساختار آن می‌باشد.

جدول ۳- سفتی اندازه گیری شده فنرهای نمونه توسط گریپر

	آزمایش-۱	آزمایش-۲	آزمایش-۳
سفتی فنر-۱ (نیوتن بر میلیمتر)	۰/۴	۰/۳۳	۰/۴
سفتی فنر-۲ (نیوتن بر میلیمتر)	۰/۵۲	۰/۵۲	۰/۴۷
سفتی فنر-۳ (نیوتن بر میلیمتر)	۰/۳۸	۰/۳۸	۰/۳۵



شکل ۱۰- نمودار سفتی اندازه گیری شده توسط گریپر حساس به سفتی برای نمونه فولادی



شکل ۱۱ - نمودار سفتی اندازه گیری شده توسط گریپر حساس به سفتی برای نمونه پلاستیکی

۵- نتیجه گیری

در این پژوهش، یک گریپر حساس به سفتی برای جابجایی اشیا در سیستم های رباتیکی و واسطه های هپتیکی معرفی شد. این گریپر با دارا بودن سنسورهای نیرو و جابجایی قادر به محاسبه سفتی اشیا مورد نظر جهت جابجایی بوده و بر اساس یک استراتژی کنترلی قابل برنامه ریزی اقدام به گیره بندی و اعمال نیرو به اشیا مورد جابجایی می‌کند.

عملکرد این دستگاه با استفاده از چند نمونه فنر با سفتی های مختلف مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج آزمایشات نشان دهنده تکرار پذیری سفتی اندازه گیری شده توسط گریپر میباشد. همچنین مقادیر سفتی اندازه گیری شده در اکثر موارد به سفتی واقعی فنرها نزدیک بوده و خطاهایی ناشی از لقی بین اتصالات گریپر و کمانش فنر حین اندازه گیری مشاهده گردید. از این گریپر میتوان در سیستم‌های رباتیک و منیپولاتورها جهت جابجایی اشیا ظریف و حساس استفاده نمود. با استفاده از این سیستم میتوان سفتی اشیا را در محیط هایی دور از دسترس اپراتور (مانند محیط های تحت پرتوهای مضر) اندازه

گیری کرده و نسبت به گیره بندی آنها اقدام نمود. از کاربردهـای دیگـر این گریپر میتوان به استفاده در روباتهای دستیار جراحی برای گرفتن و بلند کردن بافت های حساس بدن انسان اشاره نمود.

۶- سپاسگزاری

نویسندگان این مقاله از معاونت پژوهشی دانشگاه اراک بدلیل حمایت مالی از این طرح طی قرارداد ۹۳/۸۴۵۸ مورخ ۱۳۹۳/۸/۵قدردانی می نمایند.

۷- مراجع

[1] Salisbury J. K., Interpretation of contact geometries from force measurements, in: M. Brady and R. Paul(eds.), Robotics Research: The First International Symposium, pp.567-577, MIT Press, Cambridge, MA, 1984.

[2] Bicch A. i and Dario P., Intrinsic tactile sensing for artificial hands, in: R. Belles and B. Roth (eds.), Robotics Research: The Fourth International Symposium, pp. 83-90, MIT Press, Cambridge, MA, 1987.

[3] Bicchi A., Salisbury J. K. and Dario P., Augmentation of grasp robustness using intrinsic tactile sensing, Proc. IEEE Int. Conf Robotics and Automation, pp. 302-307, Scottsdale, AZ, U.S.A, 1990.

[4] Bicchi A., Bosio L., Dario P., Guiggiani M., Manfredi E. and Pinotti P. C., 'Leg-ankle-foot system for investigating sensor-based legged locomotion, Proc. IEEE IROS'89, pp. 634-638, Tsukuba, Japan, 1989.

[5] Eltaib M. E. H., Hewit J.R., Tactile Sensing technoligy for minimal access surgery-a review, Mechatronics, Vol.13, pp.1163-1177, 2003.

[6] Kattavenos N., Lawrenson B., Frank T.G., Pridham M. S., Keatch R. P., Cuschieri A., Force-sensitive tactile sensor for minimal access surgery, Minimally Invasive Therapy and Allied Technologies, Vol.13, pp. 42-46, 2004.

[7] Schostek S., Ho C. N., Kalanovic D., Schurr M.O., Artificial tactile sensing in minimally invasive surgery- A new technical approach, Minimally Invasive Therapy and Allied Technologies, Philadelphia, Vol.15, pp. 296-304, 2006.

[8] Hosseini S. M., Kashani S. M., Najarian S., Panahi F., Mousavi Naeini S. M., Mojra A., A medical tactile sensing instrument for detecting embedded objects, with specific application for breast examination, The international journal of medical robotics and computer assisted surgery, Vol. 6, pp 73-82, 2010.

[9] Afshari E., Najjarian S., Mazaheri K., Simforoush N., S.hajizadeh farkoush, Design and fabrication of a new tactile sensor system use in laparoscopic surgery to remove kidney stones, Tapesh promoting sientific journal, Vol. 15, No. 27, pp. 6-11, 2013.

[10] Johnson K. L., Kendall K., Roberts A. D., Surface Energy and the Contact of Elastic Solids, Proceedings of the Royal Society of London. Series A, Mathematical and Physical Sciences, Vol. 324, No. 1558, pp. 301-313, 1971.