طراحی و پیاده‌سازی سیستم رباتیکی جراحی مغز و اعصاب

مهدی خالقیان علی‌رضا آخوندی اصل مجید نیلی احمدآبادی حمید سلطانیان‌زاده
mnili@ut.ac.ir hszadeh@ut.ac.ir

دانشگاه تهران، دانشکدهٔ فنی، گروه برق و کامپیوتر

چکیده

در این مقاله سیستم رباتیکی جراحی مغز و اعصاب که در دانشگاه تهران طراحی و پیاده‌سازی شده است معرفی می‌گردد. این سیستم شامل یک بازوی مکانیکی پنج درجهٔ آزادی بدون موتور جهت تعیین مختصات شش بعدی پروب جراحی، یک کارت واسط مبتنی بر FPGA برای سنجش زوایای ربات، نرم‌افزار نمایش سه بعدی و پردازش تصاویر پزشکی (مانند MRI) مبتنی بر زبان برنامه‌نویسی TCL/TK و کلاس‌های پردازش تصویر VTK است. برای محاسبهٔ دقیق موقعیت نوک ربات نیاز به دانستن پارامترهای دقیق سینماتیک بازو است. بدین منظور نرم‌افزار کالیبراسیون ربات نیز توسعه یافته است. مراحل مقدماتی آزمایش این سیستم در اتاق عمل انجام گرفته است.

۱ – مقدمه

با توجه به اینکه جراحی مغز و اعصاب و نمونه برداری از بافتهای توموری نیاز به دقت و ظرافت خاصی دارد، امروزه سیستم‌های کامپیوتری برای کمک کردن به جراح در هدایت جراحی و نمونه برداری تومورهای مغز و اعصاب و همچنین برنامه‌ریزی جراحی قبل از عمل و همینطور تجزیه و تحلیل سه بعدی اطلاعات تصویری مورد استفاده قرار می‌گیرند [۱] [۲] [۳] [٤]. با اینگونه سیستم‌ها جراح قادر خواهد بود بهترین مسیر را برای جراحی و نمونه برداری پیدا کرده و آسیب‌رسانی به مغز را به حداقل ممکن برساند.

به علت دقت و پایداری خوب بازوهای مکانیکی و همچنین آسان بودن عمل انطباق تصاویر فیزیکی و پزشکی و مناسب بودن قیمت آنها، برای ارتباط پروب جراحی با سیستم کامپیوتری از ربات استفاده شده است [٥]. ربات‌ها در دههٔ اخیر در اعمال جراحی مغز به کمک جراحان آمده‌اند [٦] [۷]. پیش از آن در حدود یک سده استفاده از چارچوب‌های استریوتاکسی رایج بوده‌است، که هم‌اکنون نیز از آنها استفاده می‌گردد.

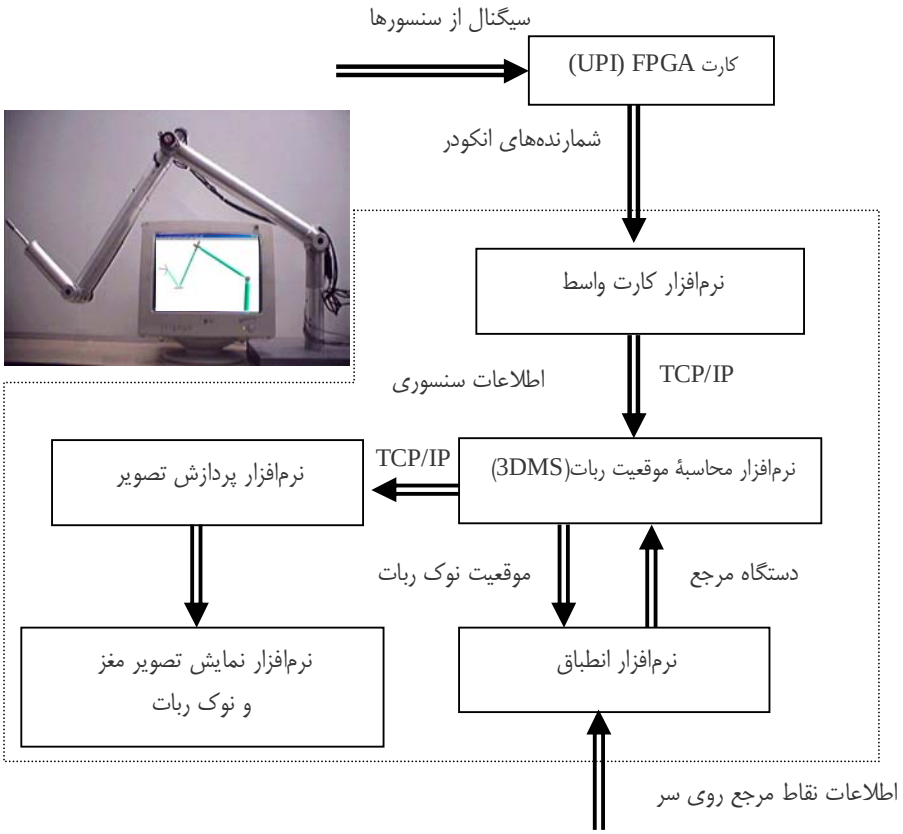
به‌طور کلی یک جراحی مدرن شامل مراحل مختلفی است که هر یک از آنها دارای اهمیت بسزایی هستند. این مراحل عبارتند از:

طراحی عمل: قبل از عمل اطلاعات تصویری موجود در Data set های مختلف که شامل تصویر برداری‌های T1-Weighted MRI، T2-Weighted MRI، MRA، fMRI، CT، PET، SPECT می‌شود، به وسیلهٔ روش‌های معمول برای انطباق تصاویر جمع شده و به صورت یک دسته داده واحد در می‌آید. سپس این اطلاعات بدست آمده می‌توانند برای نمایش سه برش از زوایای گوناگون و همچنین نمایش یک محیط سه‌بعدی مورد استفاده قرار بگیرند. نکتهٔ مثبت در این روش‌ها نمایش همهٔ اطلاعات در یک محیط واحد است که باعث ایجاد درک بهتر از وضعیت و در نتیجه افزایش کیفیت جراحی می‌شود. اطلاعات حجمی موجود را می‌توان جداسازی کرد.

بعد از این مرحله می‌توان برای بافت‌های مختلف رنگ‌های مختلفی انتخاب کرد تا جراح را در تشخیص این بافت‌ها کمک کند. به این ترتیب امکان نمایش اطلاعات حجمی موجود می‌باشد. در نتیجه فاصله‌ها و زوایا و شرایط به صورت بسیار عالی نمایش داده می‌شوند. همانطور که قبلاً گفته شد مهمترین عامل در جراحی مغز و اعصاب تشخیص بهترین مسیر برای انجام عمل جراحی است. اهمیت قضیه در این است که در مغز قسمت‌های بسیار مهمی قرار دارند که به هیچ وجه نباید آسیبی به آنها وارد شود. این قسمت‌ها شامل قسمت‌های مربوط به حس‌های پنج‌گانه و حرکتی می‌شود.

هدایت جراحی و نمونه برداری: با استفاده از روش‌هایی که برای تعیین محل وسیلهٔ جراحی یا نمونه برداری وجود دارد، بعد از تعیین موقعیت وسیلهٔ جراحی در هنگام عمل در محیط سه‌بعدی شکل وسیلهٔ جراحی مجدداً ساخته می‌شود و تصاویر دوبعدی نمایش داده شده نیز تغییر پیدا کرده و با توجه به موقعیت جدید وسیلهٔ جراحی، تصویر متناسب با آن نمایش داده می‌شود. اگر از اطلاعات تصویری بدست آمده در هنگام عمل استفاده شود، نیاز به ترکیب کردن آنها با تصاویر قبل از عمل است و این کار باید با سرعت و دقت بالایی انجام شود.

آنالیز حجمی: برای انجام کارهایی که مربوط به اندازه‌گیری حجمی بوده و از تصاویر برای انجام آنها استفاده می‌شود نیز از این سیستم‌ها استفاده می‌شود. در واقع در این اینجا می‌توان برای قسمت‌های مختلف مورد بررسی مدل‌های مناسبی بدست آورد. همچنین می‌توان از نظر کمی پارامترهایی مثل اندازه و حجم قسمت‌های مختلف را مورد بررسی قرار داد.



شکل ۱- تصویر ربات ساخته‌شده و نمودار بلوکی کل سیستم.

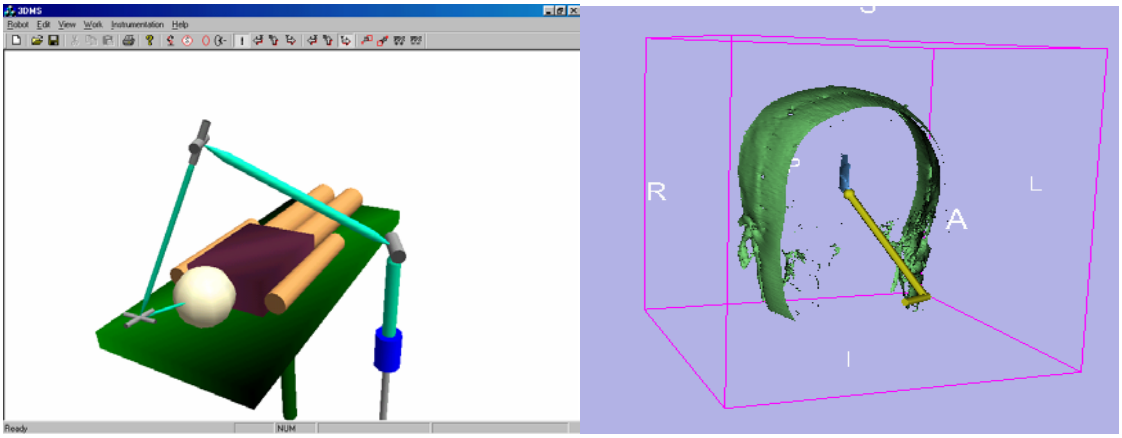
در این مقاله ابتدا به بررسی اجزای سخت افزاری تشکیل دهندهٔ سیستم جراحی پرداخته می‌شود. در این بخش نحوهٔ طراحی سینماتیکی بازو بیان شده سپس آزمایش‌هایی که برای تعیین سنسورهای زوایای ربات انجام گرفته است مطرح می‌گردد. برای محاسبهٔ زوایای ربات کارت واسطی طراحی شده است که پالس‌های انکودرهای ربات را شمرده از طریق گذرگاه ISA در اختیار نرم‌افزار قرار می‌دهد. با استفاده از نرم‌افزار MAX PLUS II فیلتر دیجیتالی طراحی شده است که احتمال خطا در تعیین زوایای ربات را به حداقل می‌رساند. در ادامه، طراحی این فیلتر دیجیتال مطرح می‌گردد و در پایان با بررسی زبان برنامه نویسی TCL/TK و کلاس‌های VTK به بررسی نرم‌افزار نمایش سه بعدی و پردازشی پرداخته و نحوه استفاده از این نرم‌افزار برای جراحی مغز و اعصاب بیان می‌شود.

۲- نمودار بلوکی سیستم جراحی مغز

همان طور که در شکل ۱ مشاهده می‌شود، ابتدا سیگنال انکودرهای ربات توسط کارت UPI (Universal Peripheral Interface) تبدیل به زوایای مطلق شده به نرم‌افزار کارت واسط ارسال می‌شود. نرم‌افزار محاسبه کنندهٔ موقعیت نوک ربات از طریق پروتکل TCP/IP اطلاعات سنسوری را از نرم‌افزار کارت واسط دریافت کرده، موقعیت شش بعدی پروب جراحی را در دستگاه مختصات تصویر محاسبه می‌کند و سپس این موقعیت را به نرم‌افزار پردازش تصویر ارسال می‌کند. نرم‌افزار پردازش تصویر با توجه به مکان و جهت پروب جراحی، سه تصویر عمود برهم دو بعدی (Sagittal, Coronal, Axial) را به دست آورده و پس از بازسازی سه بعدی تصویر مغز و پروب جراحی از زاویهٔ دید مورد نظر تصاویر را نمایش می‌دهد. در ابتدای عمل جراحی برای یکسان سازی دستگاه‌های مختصات ربات و تصاویر پزشکی احتیاج به انطباق دو فضا می‌باشد

۳- اجزای رباتیکی

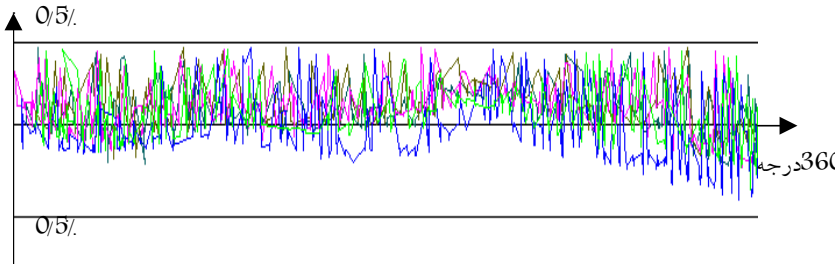
برای آن که بتوانیم تشخیص دهیم یک ربات برای جراحی مغز مفید می‌باشد یا نه، عمل جراحی مغز شبیه‌سازی شده است. در نرم‌افزار 3DMS یک انسان که روی تخت عمل جراحی قرارگرفته است در شکل ۲ نشان داده شده است. در این شبیه‌سازی نوک ربات به سمت مغز بیمار حرکت می‌کند و پس از آن به صورت حلزونی سطح مغز را پویش می‌کند، در هر جایی که بخواهیم می‌توانیم پویش حلزونی ربات را متوقف کرده، جهات مختلف وارد شدن پروب جراحی به داخل مغز را نشانه‌گیری کنیم.



شکل ۲-شمای نرم‌افزار 3DMS و تصویر بازسازی شدهٔ متناظر با آن در نرم‌افزار 3DUT Slicer.

رابط	D(cm)	A(cm)	α(deg)	θ(Off)	β
۱	۳۲/۲٦۷	۰/۱۹۸	۸۹/۸۵۹	۹۰/۱۲۵	
۲		۵۰/۵۳۲	۰/٤۷۷	۲۸/۳۷	۰/۰۰٤
۳	-۰/۱۸۲	-۰/٤۱۲	۸۹/۸۱۲	۱۵۵/۷۷۲	
٤	٤۹/۰۰٤	۰/۰٤۳	۹۰/۹٤۵	۱۹۱/۹۰۸	
۵	۳/۷۳۱	۲۹/۷۳۰	۰	-۹/۷٦۱	

جدول۱- پارامترهای Denavit-Hartenberg-Hayati ربات جراحی ساخته شده.

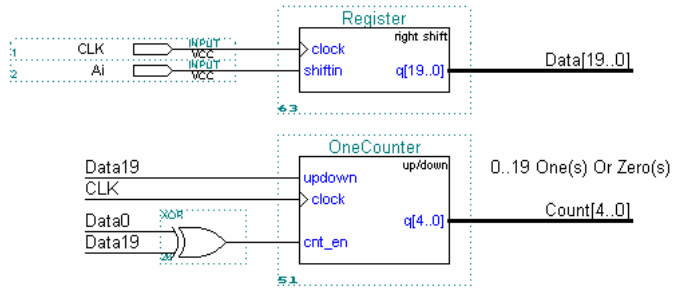


شکل۳- محور افقی زاویه و محور عمودی تفاضل زوایای حاصل از خروجی‌های پتانسیومتر و انکودر می‌باشد.

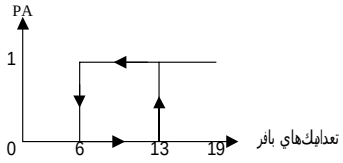
پس از این مرحله ربات در جهت مستقیم وارد مغز شده، پس از رسیدن به تومور فرضی مستقیماً به عقب برمی‌گردد. بازوی جراحی باید بتواند سه عمل فوق را به راحتی انجام دهد. پس از شبیه‌سازی رباتهای مختلف و آزمایش حرکات فوق بر روی نقاط مختلف سر، رباتی با پارامترهای جدول ۱ برای جراحی مغز مفید تشخیص داده شد. پارامترهای جدول ۱ مقادیر شناسایی شدهٔ ربات ساخته شده است [۸]. با داشتن سنسور خارجی ایده‌آل و انکودر ۸۰۰۰ پالس بر دور و رباتی که هیچ‌گونه لقی نداشته باشد و نسبت به دما پارامترهای آن تغییر نکند، طبق نتایج شبیه‌سازی به دقت ۱/۵ میلی‌متر می‌توان دست‌یافت.

۳-۱- تعیین سنسورهای زاویه

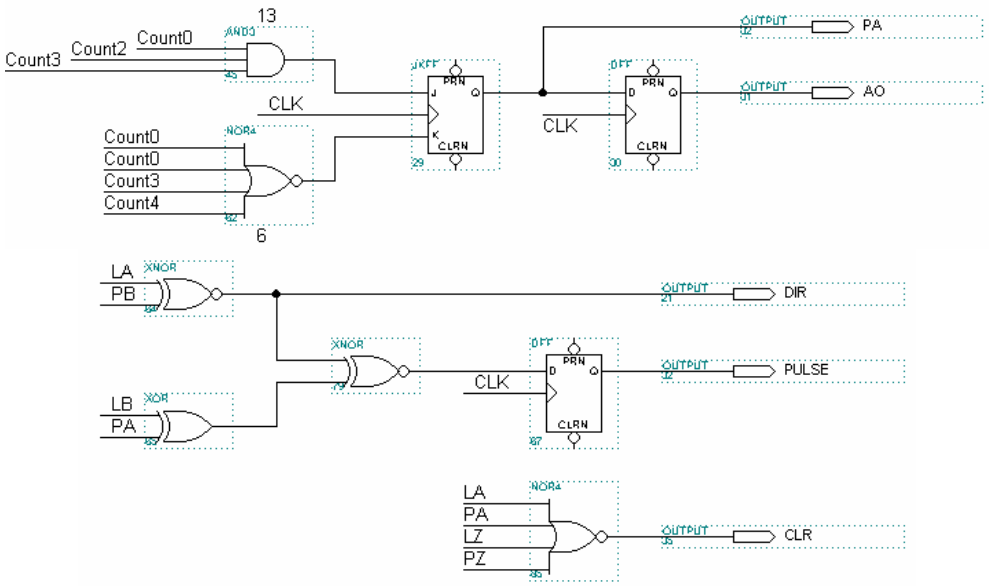
از پتانسیومتر و انکودر می‌توان برای سنجش زوایای ربات استفاده نمود. ابتدا میزان دقت مطلوب زاویه‌سنج مفاصل ربات را محاسبه می‌کنیم. با داشتن رباتی با ابعاد هم‌اندازهٔ انسان در کشیده‌ترین حالت ربات، طول آن حدود ۱/۵ متر خواهدبود. اگر بخواهیم حداکثر خطای مؤثرانتهایی ۱ میلی‌متر باشد احتیاج به یک انکودر درحدود ۱۰۰۰۰ پالس بر دور یا پتانسیومتر با درصد غیرخطی در حدود ۰/۰۱ می‌باشد.



الف- شمارش "1" های داخل بافر



ب- Schmit Trigger



ج- تولید پالس، تعیین جهت شمارش و صفرکردن شمارنده

شکل ٤- فیلتر دیجیتال برای سنجش زاویهٔ انکودر نسبی.

به علت کوچک و ارزان بودن پتانسیومتر در مقابل انکودرهای موجود، آزمایشی انجام گرفت تا امکان کالیبراسیون پتانسیومتر با درصد خطی کمتر از ۰/۰۱ به عنوان زاویه‌سنج بازوی جراحی محک زده شود. برای این منظور چارچوبی حاوی یک انکودر (۸۰۰۰ پالس بر دور) و یک پتانسیومتر (۰/۵٪ غیرخطی) با شفتهای تزویج‌شده ساخته‌شد. یک کارت A/D (۲٤ بیت و ۱۰ هرتز) که روی شیار ISA قرار می‌گیرد طراحی و پیاده‌سازی شد. همچنین یک کارت مبتنی بر تکنولوژی FPGA که برای شیار PC104 جهت خواندن انکودرها طراحی شده بود، تبدیل به کارتی شد تا بتوان بر روی شیار ISA از آن استفاده نمود.

پس از قراردادن این دو کارت در کامپیوتر و اتصال این دو کارت به چارچوب ساخته‌شدهٔ فوق از یک طرف و خواندن خروجی‌های این دو کارت توسط نرم‌افزار 3DMS از طرف دیگر و با حرکت دادن شفت مشترک، اطلاعات مربوطه ثبت گردید. پس از چندین بار چرخش کامل و ثبت اطلاعات، منحنی‌های مختلفی به دست آمد. همان‌طور که در شکل۳ ملاحظه می‌گردد میزان لقی پتانسیومتر تقریباً برابر درصد خطی آن می‌باشد. در نتیجه نمی‌توان پتانسیومتر را به اندازهٔ دلخواه (۱٤ بیت) کالیبره نمود. بنابراین نمی‌توان از پتانسیوتر مورد آزمایش به دقت مطلوب برای این ربات دست یافت. از طرف دیگر چون انکودرهای معمولی، حجم و وزن زیادی (حدود ۱۰۰ گرم) دارند، برای بازوی نهایی یک انکودر سینوسی در نظر گرفته شده است که اولاً دارای خروجی دیجیتال بوده، ثانیاً بسیار کوچک و سبک (حدود ۱۵ گرم) می‌باشد [۹].

۳-۲- فیلتر دیجیتال

برای سنجش زاویه از انکودر با یک نقطهٔ صفر(Z) و دو سیگنال A و B استفاده گردید. برای داشتن زاویه باید لبه‌های بالا و پایین رونده سیگنال‌های A و

B استخراج شده، شمارندهٔ زاویه یکی اضافه و یا کم گردد. برای جلوگیری از شمارش اشتباه (بر اثر نویز موجود در سیگنال‌های انکودر) فیلتر دیجیتال شامل یک فیلتر پایین‌گذر و یک Schmitt Trigger با فاصلهٔ Hysteresis مناسب طراحی و پیاده سازی شد. این عمل توسط نمونه برداری با فرکانس زیاد و Shift Register و شمارنده و مقایسه کننده صورت می‌پذیرد.

با توجه به شکل ٤-الف سیگنال A به یک ثبات ۲۰ بیتی وارد می‌شود. با استفاده از بلوک الف از شکل ٤ تعداد "1" های موجود در ثبات توسط شمارنده به دست می‌آید. هرگاه تعداد "1" های این بافر از ۱۲ بیشتر شود خروجی سیگنال PA "1" می‌گردد، هرگاه تعداد "0"های این بافر از ۱۲ بیشتر شود، خروجی سیگنال PA "0" می‌گردد (شکل ٤-ب).

این فیلتر دیجیتال بر سیگنال‌های B و Z نیز اعمال می‌گردد، پس از آن توسط بلوک ج از شکل ٤ CLK شمارنده و جهت شمارش تولید می‌شوند. حال اگر فرض کنیم انکودر ۲۰۰۰ پالس بر دور بزند و حداکثر با سرعت ۵۰ دور بر ثانیه بچرخد سیگنال‌های A و B حداکثر دارای فرکانس ۱۰۰ KHz خواهند شد. با استفاده از فیلتر فوق باید ۱۳ یک و یا ۱۳ صفر در زمان ۵μs داشته باشیم؛ در این صورت فرکانس نمونه برداری برابر ۲/٤MHz خواهد شد. فیلتر فوق در صورتی خطا می‌کند (یعنی در حالت اشتباه باقی می‌ماند و یا به یک حالت اشتباه می‌رود) که حداقل ۷ بیت خطا در بافر موجود باشد، در نتیجه احتمال خطای فیلتر عبارت است از:

$$P(Error) = \sum_{i=7}^{19} \binom{19}{i} p^i (1-p)^{19-i} \qquad (۱)$$

به طوری که p احتمال بروز خطا در یک بیت می‌باشد. به عنوان مثال اگر p=۰/۰۱ باشد احتمال خطای فیلتر از رتبهٔ $۱۰^{-۱۰}$ می‌باشد. اهمیت این مسأله هنگامی بیشتر درک می‌شود که بدانیم به ازای هر شمارش اشتباه، دقت انکودر به نصف دقت فعلیش تقلیل می‌یابد. البته با دریافت صحیح سیگنال Z هرگونه خطای احتمالی تصحیح می‌گردد.

٤- نمایش و پردازش تصاویر

با بررسی‌های به عمل آمده بر روی نرم‌افزارهای مختلف موجود در زمینه انجام پردازش تصویر و بررسی توانایی آنها برای انجام عملیات خاص برای جراحی مغز و اعصاب و امکان گسترش و افزودن توانایی‌ها و توابع مورد نیاز و همچنین زبان برنامه نویسی مورد استفاده، نرم‌افزار 3D Slicer به عنوان نرم‌افزار پایه‌ای مورد استفاده قرار گرفت و بر اساس آن نرم‌افزار 3DUT Slicer توسعه یافت [۱۰]. زبان برنامه نویسی مورد استفاده در این نرم‌افزار TCL/TK بوده و برای انجام عملیات پردازشی از VTK (Visualization Toolkit) استفاده شده است. این نرم افزار این قابلیت را به کاربر می‌دهد تا امکانات مورد نیاز خود را به سیستم اضافه کند.

در واقع با استفاده از توابع جامع و کاملی که برای انجام عملیات ریاضی و پردازشی در VTK در نظر گرفته شده و همچنین توانایی بالای TCL/TK برای انجام عملیات گرافیکی یک روش مشخص و مناسب برای انجام عملیات مورد نظر در اختیار برنامه‌نویس قرار می‌گیرد که با استفاده از این روش و الگوریتم می‌توان عملیات مورد نظر را بر روی نرم‌افزار پیاده کرد و توانایی مورد نظر را به نرم‌افزار افزود. توابع استفاده شده در قسمت پردازش تصویر دارای دقت بالایی بوده و علاوه بر این سعی شده است که سرعت مناسبی نیز داشته باشند. این توابع یک مجموعه استاندارد بوده و به صورت دایمی بر تعداد آنها افزوده شده و همچنین توابع موجود نیز بهتر می‌شوند.

یک قابلیت مهم این توابع امکان دخل و تصرف در آنها و همچنین افزودن توانایی‌ها و یا تغییر ساختار در آنها است. این توابع بر اساس اصول برنامه نویسی شی‌گرا نوشته شده و در نتیجه در صورت استفاده از فرمت‌ها جدیدتر به راحتی می‌توان عملیات مورد نظر را بر روی آنها بارگذاری کرد و همچنین از خاصیت مهم ارث‌بری استفاده کرد. بنابر این به طور کلی سیستم پردازشی مورد استفاده دارای توانایی‌های اولیه مناسبی بوده که برای انجام عملیات پردازشی بسیار مناسب بوده و علاوه بر این، این امکان را به نرم‌افزار نویس می‌دهد تا امکانات مورد نیاز خود را به سیستم اضافه کند.

از طرف دیگر قسمت گرافیکی نیز به نحوی در نظر گرفته شده است تا امکانات اولیه مورد نیاز به صورت مشخص وجود داشته و بتوان از توابع مربوط به آنها برای انجام کارهای مورد نظر استفاده کرد. در واقع با استفاده از یکی از خواص بسیار مهم و کاربردی TCL/TK که همان امکان استفاده از چند فایل جداگانه برای انجام عملیات مختلف است، این امکان در اختیار برنامه نویس قرار گرفته است تا با استفاده از این قابلیت بتواند توابع خاصی را که فکر می‌کند به آنها نیاز وافری دارد را به صورت مشخص و کلی تهیه کرده و از آنها به صورت دایمی استفاده کند.

برای مثال یکی از مهمترین کارهایی که در یک نرم‌افزار پردازش تصویر و جراحی مغز و اعصاب مطرح است، امکان انتخاب رنگ دلخواه است. این توانایی لازم است در قسمت‌های مختلف وجود داشته و مورد استفاده قرار بگیرد. با استفاده از این نرم‌افزار این امکان برای نرم‌افزار نویس بوجود می‌آید که با استفاده از این قابلیت بتواند برای سیستم خود توابع خاصی را که کاربرد زیادی دارند به صورت مجزا تهیه کرده و از آن در موارد مورد نیاز استفاده کند.

VTK -۱-٤

VTK در واقع مجموعه‌ای از کلاس‌های C++ است که برای انجام کارهای پردازشی بر روی تصاویر نوشته شده است [۱۱]. در بسیاری از کارهای پردازشی که بر روی تصاویر انجام می‌شود از این کلاس‌ها استفاده می‌شود. VTK در

موارد متعددی کاربرد دارد که از آن جمله می توان به 3D Computer Graphics و Image Processing و Visualization اشاره کرد.

VTK بسیاری از الگوریتم های نمایشی را در بر دارد. برای مثال می توان به روش های scalar وvector وtensor وtexture و volumetric اشاره کرد. VTK از الگوریتم های پیشرفته دیگری مثل مدلهای مجازی و روش‌های کاهش تعداد چندضلعی ها (Polygons) و نرم کردن مش و بسیاری از الگوریتم‌های دیگر استفاده می کند. در طراحی VTK اصول برنامه نویسی شی گرا کاملاً رعایت شده است و در نتیجه امکان بنا نهادن روش های جدید بر اساس برنامه های قبلی به راحتی وجود دارد. این کلاسها در سیستم عاملهای Windows وUnix قابل استفاده هستند. به طور کلی VTK دارای بیش از ۲۰۰۰۰۰ خط برنامه است. VTK دارای مزایای بسیار زیادی است که در اینجا به چند مورد اشاره می کنیم :

- بهینه بودن کدها
- ارتباط بسیار راحت با کدها
- آسان بودن گسترش برنامه ها
- در دسترس بودن Help های کامل

TCL/TK –۲–٤

TCL که همان Tool Command Language است یک زبان مفسر است که برای کنترل کردن و نمایش برنامه ها ساخته شده است [۱۲]. در واقع TCL در نهایت به یک مجموعه کد C تبدیل می شود. با روی کار آمدن سیستم عامل ویندوز و برای استفاده مناسب از TCL، TK بوجود آمد. در واقع TK مدل تحت ویندوز TCL است. با کمک TK امکان ایجاد پنجره‌هایی که در سیستم‌های ویندوز متداول هستند وجود دارد. نکته مهم در مورد TCL/TK این است که کدهای نوشته شده برای یک سیستم عامل در یک سیستم عامل دیگر قابل استفاده است. برای مثال کد نوشته شده برای سیستم عامل ویندوز، در سیستم عامل Unix قابل استفاده است و برعکس.

با ترکیب TCL و TK می‌توان به چهار امکان بسیار مهم دست یافت که در این قسمت به این موارد اشاره می کنیم :

یک زبان مفسر بسیار قوی : برای انجام یک کار بسیار حجیم می توان از چند خط برنامه که با TCL/TK نوشته شده استفاده کرد. سپس می توان با مفسر این کد را با برنامه اصلی ترکیب کرد.

رشد بسیار سریع : با استفاده از این مفسر می توان در مدت زمان بسیار کوتاهی برنامه های بسیار کاملی تهیه کرد که در مرحله بعد قابل تبدیل به کد C است. در نتیجه نیازی به استفاده مستقیم از C نیست.

تست آسان : با توجه به اینکه در اینجا از یک زبان مفسر استفاده می شود، برای رفع ایراد برنامه نیازی به Compile مجدد برنامه نیست و در هنگام اجرا می توان ایرادات احتمالی را برطرف کرد.

آموزش راحت : با نوشتن چند برنامه می‌توان از آنها برای نوشتن برنامه های دیگر استفاده کرد. در واقع با بکار بردن چند دستور کلیدی امکان تهیه برنامه های بسیار قوی وجود دارد.

3DUT Slicer –۳–٤

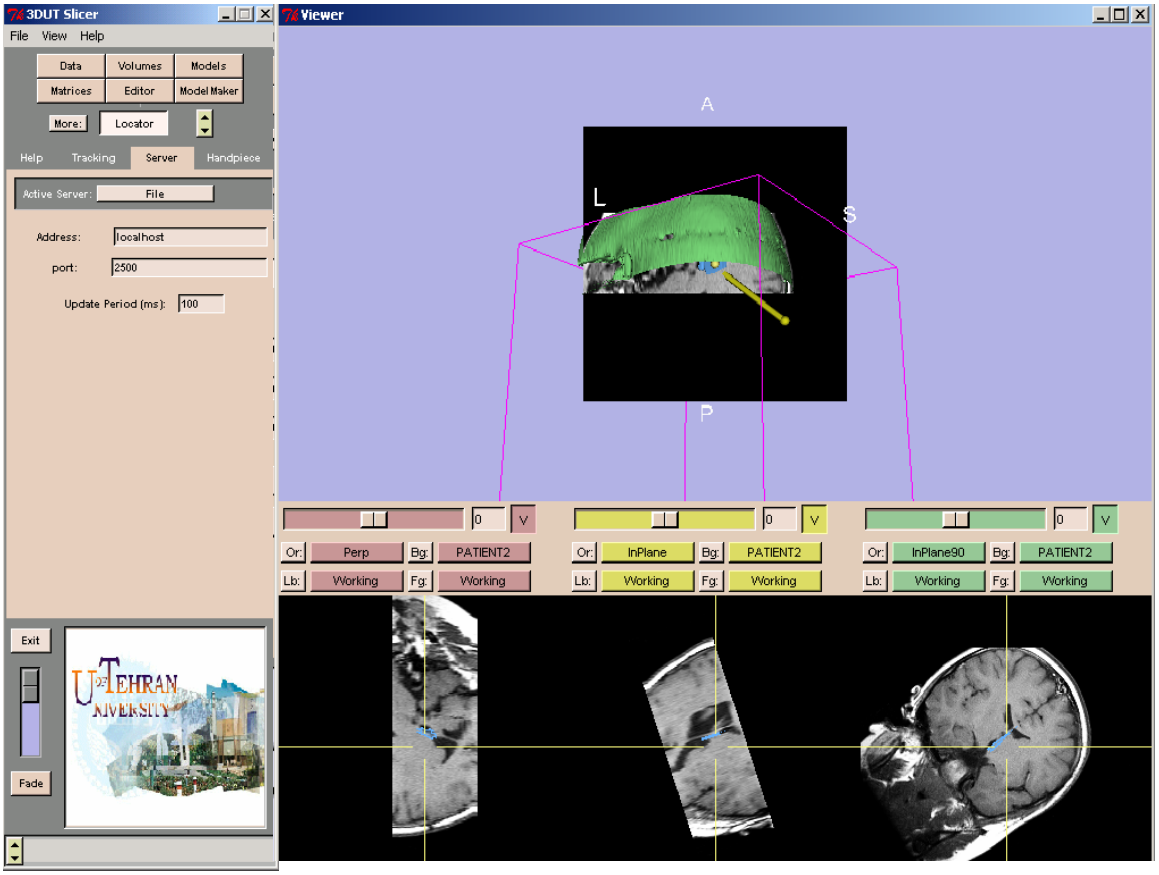
در این قسمت به بررسی قسمت های مختلف نرم افزار 3DUT Slicer می پردازیم. همانطور که در شکل ۵ مشاهده می شود، در این نرم افزار امکان مشاهده سه تصویر دو بعدی و همچنین محیط سه بعدی برای نمایش حجمی جسم در نظرگرفته شده است. اولین اقدام Load کردن اطلاعات مربوط به تصاویری است که بر روی آنها می خواهد عملیات خاصی انجام بگیرد. برای این کار نیاز به استفاده از یک سری داده با فرمت اسمی مشخص است. البته در صورتی که بخواهیم از اطلاعات تصویری DICOM استفاده کنیم، نیازی به استفاده از یک فرمت خاص برای تصاویر نیست و همان استانداردهای DICOM قابل استفاده است. مراحل انجام کار بعد از بارگزاری به صورت زیر است:

Thresholding: در این قسمت با استفاده از دوسطح آستانه امکان انجام این عمل بر روی یک یا همهٔ برش‌های موجود می‌باشد. با استفاده از این روش می‌توان قسمت‌های مختلفی از مغز را به راحتی جدا کرد. به عنوان مثال می‌توان استخوان و مغز را از هم جدا کرد. یک کار بسیار مهم و اساسی که می‌توان با استفاده از این گزینه انجام داد، اعمال سطح آستانه برای همهٔ برش‌ها است. با این کار می‌توان به سرعت یک حجم خاص را جداسازی کرد. البته برای داشتن دقت بسیار زیاد نه تنها استفاده از این روش مناسب نیست، بلکه استفاده از خود Thresholding نیز می‌تواند منجر به کاهش دقت شود. بنابر این استفاده از این روش به کاربرد آن بستگی داشته و باید به آن توجه کرد.

Remove Island: با استفاده از این ابزار بسیار مفید می‌توان در یک یا همهٔ برش‌ها سطوح با مساحت‌های کمتر از حد تعیین شده در داخل یک سطح با یک رنگ مشخص را از بین برد. در واقع این روش بعد از استفاده از Thresholding بسیار مفید بوده و باعث از بین رفتن ناخالصی‌های موجود در سطح مورد نظر می‌شود.

Measure Island: در برخی موارد لازم است که حجم قسمت‌های جدا شده محاسبه شود. برای انجام این کار کافی است داخل بافت مورد نظر موس را فشار دهیم. در نتیجه حجم و تعداد پیکسل‌های موجود را نشان می‌دهد. برای این کار برنامه تعداد پیکسل‌ها در دو جهت را اندازه گرفته و سپس در اندازه پیکسل ضرب کرده و سپس در اندازهٔ ضخامت برش ضرب می نماید.

Erode: از این ابزار برای انجام عملیات مورفولوژیکی Erode/Dilate استفاده می‌شود. در واقع با Erode می‌توان برای حذف پیکسل‌هایی که در اطراف سطح انتخاب شده قرار دارند استفاده کرد. از Dilate برای گسترش دادن یک سطح در اطراف خود استفاده می شود. Erode وقتی مناسب است که که در یک کاربرد خاص نیاز به حذف قسمت‌های میانی برای جدا کردن دو قسمت متفاوت لازم



شکل ۵- صفحهٔ اصلی نمایش نرم‌افزار و نحوهٔ ارتباط از طریق Socket .

باشد. بر عکس، Dilate وقتی مناسب است که دو قسمت که دارای شرایط یکسان هستند و در کنار هم قرار دارند، لازم است با هم ترکیب شوند .

Draw: در برخی موارد برای جداسازی قسمت‌های خاص باید از روش‌های کاملاً غیر خودکار استفاده کرد. در این موارد با استفاده از این ابزار می‌توان سطوح مورد نظر را به صورت دستی مشخص کرد و برای آن از رنگ مورد نیاز استفاده کرد و در پایان با استفاده از دستورهای مشخص تمام سطح داخل محیط انتخاب شده را با رنگ خاص مشخص کرد.

بعد از انجام کارهای جداسازی که در قسمت قبل در مورد برخی از آنها توضیح داده شد، نیاز به بدست آوردن یک مدل سه بعدی از قسمت‌های جدا شده است. برای این کار از Model Maker استفاده می‌شود. برای این کار با انتخاب دسته داده مورد نظر و سپس انتخاب سطوح مشخص شده در آن با رنگ و با استفاده از دستور Create می‌توان یک مدل حجمی بدست آورد.

در مورد همهٔ سطح‌هایی که مشخص شده می‌توان این کار را انجام داد و در نتیجه مجموعه‌ای از مدل‌های مختلف را به شکل سه بعدی مشاهده کرد. در ادامه برای هر یک از قسمت‌های مختلف که مدل برای آنها بدست آمده می‌توان از دستور Smooth برای نرم کردن سطح حاصله استفاده کرد. همچنین می‌توان از ماتریس‌های خاصی که برای تبدیل فضاها به‌کار می‌رود برای تبدیل مدل بدست آمده و انتقال آن در فضای سه‌بعدی استفاده کرد.

بعد از انجام این کار برای انجام عمل انطباق می‌توان از Matrices استفاده کرد. در این مرحله هم می‌توان از روش‌های غیر خودکار یا روش‌های خودکار مبتنی بر Mutual Information استفاده کرد. در هریک از این موارد باید یک ماتریس ٤×٤ مشخص شود که نمایش دهندهٔ تبدیل لازم برای انجام عمل انطباق است. البته می‌توان برای بدست آوردن اطلاعات مربوط به انطباق از اطلاعات موجود در Header تصاویر در دسترس نیز استفاده کرد که این مورد فقط در موارد خاصی قابل استفاده است.

در مرحلهٔ بعد باید از مجموعه اطلاعات بدست آمده برای عمل جراحی استفاده کرد. برای این کار باید بتوان وسیلهٔ جراحی را به شکل مناسبی مدل کرد و در هر لحظه از موقعیت دقیق آن مطلع شد. برای انجام این کار از Locator

استفاده می‌شود. برای انجام این کار می‌توان اندازه و ابعاد و حتی رنگ مناسب را برای وسیلهٔ جراحی مورد نظر مشخص کرد.

سپس بوسیلهٔ روش‌های مختلف می‌توان اطلاعات دقیق از محل ابزار جراحی را بدست آورد و آن را به شکل مناسب در محیط سه بعدی نمایش داد. برای مدیریت محل ابزار نیز می‌توان هم از اطلاعات ذکر شده در مرحلهٔ قبل استفاده کرد و هم می‌توان موقعیت آن را به صورت دستی نمایش داد. در مورد تصاویر برش‌ها نیز می‌توان از روش‌های مختلفی که قبلاً ذکر شد استفاده کرد. در این حالت می‌توان از صفحات عمود بر وسیلهٔ جراحی نیز استفاده کرد.

همانطور که گفته شد مهمترین مساله در جراحی مغز و اعصاب پیدا کردن مسیر بهینهٔ جراحی است. برای مشاهدهٔ مسیر انتخاب شده می‌توان از Guidance استفاده کرد. در این مرحله می‌توان با استفاده از دو هدف مشخص که یکی نقطهٔ ورود و دیگری نقطهٔ هدف را نشان می‌دهد برای مشخص کردن مسیر استفاده کرد. با استفاده از این ابزار می‌توان اطلاعاتی که بر اساس این مسیر در برش‌های مختلف وجود دارد را نمایش داد.

برای ارتباط برقرار کردن با وسیلهٔ جراحی نیاز به دانستن محل و زاویهٔ وسیله جراحی می‌باشد. این نیاز باعث شده است تا روش‌های مختلفی را برای انجام این کار مورد استفاده قرار گیرند . ازجملهٔ این موارد می‌توان به ارتباط با فایل و ارتباط با Socket اشاره کرد. در این مرحله امکان ارتباط بر قرار کردن با فایل و Socket فراهم شده است.

در این مرحله همانطور که نشان داده شده است، برای ارتباط از طریق فایل ابتدا آدرس فایلی که باید از آن به عنوان فایل ارتباطی استفاده شود مشخص می‌گردد. سپس و در مرحله بعد مدت زمان بین هر دو خوانده شدن از فایل مشخص می گردد. برای ارتباط با Socket نیز نیاز به مشخص شدن آدرس و پورت مورد نظر و همچنین فاصله بین هر دو خواندن از Socket است.

۵- نتیجه

با توجه به نیاز کشور به دست‌یابی به تکنولوژی روز برای جراحی مغز و اعصاب، نخستین سیستم رباتیکی جراحی مغز و اعصاب طراحی و پیاده‌سازی شد. پس از طراحی سینماتیکی بازو، طراحی و ساخت مکانیکی ربات توسط شرکت فرافن انجام گرفت. سخت افزار واسط مورد نیاز با نرم‌افزار MAX PLUS II و نرم‌افزار واسط نیز توسط Visual C++ طراحی و پیاده‌سازی شد. نرم‌افزار نمایش و پردازش تصویر این سیستم بر پایهٔ نرم‌افزار3D Slicer توسعه یافته است. آزمایش‌های اولیهٔ این سیستم در بیمارستان شهدا توسط دکتر شهرزادی، جراح مغز و اعصاب و استاد دانشگاه شهید بهشتی صورت گرفت که تقریباً رضایت بخش بوده است. تصحیحات مربوط به بازو از قبیل اصطکاک، وزن و تعادل در حال انجام است.

٦- مراجع

[1] David T. Gering, “A System for Surgical Planning and Guidance Using Image Fusion and Interventional MRI,” *Ms Thesis, Massachuset institute of Technology, boston, USA*, December 1993.

[2] Philipe St-Jean, Abbas F. Sadikot, Louis Collins, Diego Clonda, Reza Kasrai, Alan C. Evans, and Terry M. Peters, “Automated atlas integration and interactive three dimensional visualization tools for planning and guidance in functional neuro-surgery,“ *IEEE Transaction on Medical Imaging*, Vol. 17, No. 5, pp. 672- 680, October 1998.

[3] Wieslaw L. Nowinski, Guo Liang Yang, and Tseng Tsai Yeo, “Computer-aided stereotactic functional neurosurgery enhanced by the use of the multiple brain atlas database, “ *IEEE Transaction on Medical Imaging*, Vol. 19, No. 1, pp. 62-69, January 2000.

[4] H.Schiffbauer, "Neuronavigation in Brain Tumor Surgery", *Oulu University Library*, 1999.

[5] D.A.Simon, "Intra-operative position sensing and tracking devices", 13th Conference of the Irish Manufacturing Committee, pp 713..722, 1996

[6] Y. Kosugi, E. Watanabe, J. Goto, T.Watanabe, S.Yoshimoto, K.Takakura, J.Ikebe, “An articulated neurosurgical navigation system using MRI and CT images”, *IEEE Transactoins on Biomedical Engineering*, pp147..152, 1988.

[7] M. D. Chen, T. Wang, Q. X. Zhang, Y. Zhang, Z. M. Tian, "A robotic system for stereotactic neurosurgery and it’s clinical application", *Proceedings of IEEE Conference on Robotics and Automation*, pp995..1000 , 1998.

[8] M.Khaleghian, M.Nili,” Powered Condition Number: A unified index for optimal pose selection in manipulator kinematic calibration”, *Submitted to Proceedings of IEEE Conference on Robotics and Automation*, 2003.

[9] *http://www.gurley.com* , Last Visited 2002.

[10] *http://www.slicer.org*, Last Visited 2002.

[11] http://www.kitware.com/vtk.html, Last Visited 2002.

[12] http://www.tcl.tk, Last Visited 2002.