

ABSTRACT

Medical robotic systems strive to make surgical interventions less invasive, less risky for both patients and clinicians, more efficient, less costly, and capable of achieving better patient outcomes. Robotic surgery begins to lead the way in the surgical profession with the emerge of integration between the advanced technology and computer applications. This integration led to what is called Minimally Invasive Surgery (MIS) which is an operation technique in which the surgeon can work with large instruments through small incisions (typically $< 10\text{mm}$) and that without direct access to the operation field as in open surgery. For these reasons, robotic surgery dominated the field of MIS for its dexterity, precision and repeatability. Increasing the targeting accuracy during robot-assisted minimally invasive surgical procedures require the integration of pre-operative plans and intra-operative control. This integration requires the development of robust models of the surgical instruments and their environment, while the controllers generally rely on image-guided feedback from a clinical imaging system, such as Computed Tomography (CT), Magnetic Resonance (MR), and ultrasound images. The field of brain tumors is one of the prime important applications of MIS in which MR imaging is utilized. This is because Magnetic Resonance Imaging (MRI) provides detailed information about the targeted brain tumor anatomy and is considered the ideal source for detecting; identifying and classifying the right infected regions of the brain which will guide the surgeon to the correct decision regarding tumor treatment protocols and / or surgery.

Based on the above introduction, this thesis aims to propose and develop a brain tumor automated diagnosis system, surgical instrument model and their integration system. The first objective has been fulfilled by designing and developing an integrated image processing system which uses the patients' MRI and is able to detect and identify the infected regions. This system had been extended by developing a robust brain tumor classifier that is based on Probabilistic Neural Network (PNN) approach. Adding the latter PNN model to the image processing system enabled the utilization of tumors features extraction that is used for tumors classification beside detection and identification. The simulation results of this part showed the ability of the proposed system to detect, identify and classify brain tumors with accuracy greater than 98% with an

increase of approximately 20% than the latest published similar approaches. These simulation results also showed the remarkable increase of the proposed system accuracy and its processing time compared with similar published results which assure its promising ability to impact the field of brain tumor detection and classification.

Thesis second objective which is related to the surgical instrument model had been accomplished by proposing a generic medical probe motion model. This model was later modified by merging it with a medical probe tip control system for smoothen and accurately control the impact force of the probe. Different controllers have been studied to accomplish these requirements among them we found that the PID controller is the best in regard to the response time, accuracy and motion smoothness.

The last objective of this thesis is to integrate the image processing, PNN classifier, and the probe control system. In this thesis we successfully accomplished this objective and the integrated system was able to in situ detect the brain tumor, identify their locations for each MRI slice, and then guide the probe tip to reach the center of the region of interest and finally track the tip during the operation. The proposed system was able to perform these operations and repeat them for all the subsequent MRI slices in a complete closed loop.

Taking all together, the simulation results of fully integrated system showed a promising ability of the proposed integrated system to improve the brain tumor robotic surgery with less invasive, less risky, and more efficiency.

الملخص العربي

تسعى أنظمة الروبوت الطبية الى جعل التدخلات الجراحية اقل غزوا و اقل خطورة لكل من المرضى والاطباء المعالجين اضافة الى قلة التكلفة بحيث تضمن مخرجات افضل للمرضى، لذا فان الجراحة بالروبوت قد بدأت تاخذ طريقها في التخصصات الطبية معتمدة على التقنيات الحديثة والمساعدة على ذلك، وتعتمد اساليب " الجراحة الاقل غزوا " على تقنيات تتيح للجراح العمل باستخدام ادوات جراحية طويلة تنفذ خلال شقوق ضيقة (في حدود 10 مم) وذلك لتجنب النفاذ المباشر الى مجال العملية الجراحية كما هو الحال في الجراحات المفتوحة، وفي حقيقة الامر فانه من الافضل استخدام جراحات الروبوت في اساليب " الجراحة الاقل غزوا " نظرا لتميزها بالدقة والمهارة مع امكانية تكرارها، وحتى تتحقق درجة الدقة المستهدفة جراء استخدام اساليب الجراحة بالروبوت الاقل غزوا فان الامر يتطلب التكامل بين التدابير التي تتخذ قبل الجراحة واجراءات التحكم اثناء الجراحة، وهذا يعني ضرورة تطوير نماذج الادوات الجراحية وكذا المناخ المحيط بها ، مع اعتماد اجراءات التحكم على التغذية الراجعة المعتمدة على الصور والتي يتم الحصول عليها من أنظمة التصوير الطبي مثل التصوير المقطعي والرنين المغناطيسي والتصوير بالموجات فوق الصوتية ، وتعتبر "اورام المخ" من اهم المجالات التي تستخدم اساليب "الجراحة الاقل غزوا" معتمدة على التصوير بالرنين المغناطيسي والذي يتميز بانه يعطى معلومات تشريحية تفصيلية عن اورام المخ، ولهذا السبب فان الصور التي يتم الحصول عليها منه تعد مصدرا مثاليا لرصد وتحديد وتصنيف المناطق المصابة من المخ ، ومن الواضح ان تشخيص الورم الذي يصيب المخ يعد خطوة اولى اساسية لاتخاذ القرار المناسب: اما اسلوب العلاج الملائم او التدخل الجراحي.

وبناء على ماتقدم فإن هذه الرسالة تهدف الى تقديم نظام مقترح لتشخيص اورام المخ بطريقة آلية وكذا اقتراح نموذج لاداة جراحية مناسبة واخيرا اقتراح نظام متكامل يجمعهما ، ولقد تم تحقيق الهدف الاول من خلال تصميم ومحاكاة لنظام متكامل لمعالجة الصور يتم فيه الاستعانة بصور رنين مغناطيسي للمريض وذلك لرصد الاماكن المصابة والتعرف عليها ، وقد تم تصميم هذا النظام بحيث يمكنه تصنيف اورام المخ معتمدا على تقنية الشبكة العصبونية الاحتمالية والتي امكن من خلالها استخلاص ملامح الورم التي تمكن من تصنيفه بعد عمليات الرصد والتعرف، ولقد اوضحت نتائج محاكاة هذا النظام المقترح على الحاسب مقدرته على تصنيف اورام المخ بدقة بنسبة تعدت 98% وذلك بنسبة زيادة تقرب من 20% عن احدث مانشر من أنظمة مقترحة مماثلة، ولقد اوضحت نتائج المحاكاه ايضا عن ازدياد ملحوظ في دقة النظام المقترح واستغراق عملياته لوقت اقل عن احدث ما نشر من أنظمة مقترحة مماثلة مما يؤكد انه يعد واعدا في مجال رصد وتصنيف اورام المخ.

أم الهدف الثانى للرسالة والمتعلق باقتراح نموذج لأداة جراحية مناسبة فقد تم تحقيقه من خلال تقديم نموذج عام لحركة مسبار جراحى والذي تم تعديله بادماجه مع نظام تحكم فى حركة طرف المسبار وذلك لتلبيين ولدقة التحكم فى القوة المؤثرة على المسبار، وقد تم دراسة المتحكمات المختلفة وذلك لتحقيق تلك المتطلبات، وقد اتضح من تلك الدراسة أن المتحكم المعتمد على مشتقة التكامل النسبى هو الافضل من حيث زمن الاستجابة والدقة ولين الحركة.

اما الهدف الثالث من الرسالة فهو تحقيق التكامل بين نظام معالجة الصور و المحدد المبني على تقنية الشبكة العصبونية الاحتمالية مع نظام التحكم فى طرف المسبار، ولقد تم تحقيق هذا الهدف عن طريق اقتراح نظام متكامل يمكنه رصد ورم المخ والتعرف على مكانه لكل شريحة من شرائح صور الرنين المغناطيسى ثم توجيه طرف المسبار حتى يصل الى مركز منطقة الورم ثم تعقب هذا الطرف اثناء اجراء العملية الجراحية اثناء تنفيذها ، كما ان لدى هذا النظام القدرة على اجراء العملية الجراحية وتكرارها للشرائح التالية وذلك من خلال دائرة كاملة مغلقة، واخذا فى الاعتبار النظام المتكامل ككل فقد اظهرت نتائج المحاكاة مقدرته على تحسين جراحات اورام المخ بتدخل جراحى اقل ونسبة مخاطرة اقل مع كفاءة اعلى.