

Fig 1.

SISTEMA APTICO MASTER-SLAVE PER NEUROCHIRURGIA ROBOTIZZATA

Un sistema di supervisione e controllo basato su LabVIEW e CompactRIO permette di movimentare in condizioni di massima sicurezza un robot destinato ad applicazioni di neurochirurgia minimo-invasiva

Il campo medico è un settore in cui la robotica ha cominciato a cimentarsi da più di quarant'anni. Tuttavia, nonostante gli indubbi vantaggi derivanti dall'utilizzo del robot, la robotica in questo settore ha trovato notevoli difficoltà d'integrazione e di sviluppo. Queste sono da imputarsi principalmente ai vincoli di sicurezza richiesti. Se, infatti, nelle classiche applicazioni industriali il robot si trova a operare in celle di lavoro vietate al personale umano, in campo medico esso deve operare in diretto contatto con il paziente e con lo staff medico. Le richieste di sicurezza sono perciò notevolmente più complesse e stringenti rispetto al caso industriale.

Robotica medica

Il progetto descritto si inserisce nell'attività decennale del gruppo Mechatronics (<http://www.mechatronics.it>) nel campo della robotica medica e in particolare dei sistemi robotici master-slave aptici per operazioni di neurochirurgia minimo-invasiva.

Le operazioni di neurochirurgia richiedono infatti elevatissime precisioni di posizionamento e sono il settore ideale per

l'applicazione della robotica nel campo chirurgico. La precisione e la ripetibilità raggiungibili dal robot risultano infatti notevolmente superiori a quanto potrebbe mai realizzare il più esperto dei neurochirurghi. Tuttavia il robot non è in grado di rispondere in modo immediato e autonomo ad eventi pericolosi ed inattesi. Di conseguenza, ad oggi, non è immaginabile demandare al robot l'intera procedura chirurgica e la soluzione che generalmente si adotta consiste in un approccio di tipo master-slave. Il chirurgo, agendo su un opportuno dispositivo, detto master, impone i movimenti del robot (detto slave) che movimentata gli utensili chirurgici. In questo modo la precisione di posizionamento è realizzata tramite il robot ma la decisione delle operazioni è demandata ancora al chirurgo.

Poiché l'approccio master-slave scollega fisicamente il chirurgo dai propri utensili è necessario che quest'ultimo mantenga un certo grado di aderenza con il processo operatorio. Ciò può essere ottenuto grazie a particolari sensori in grado di riprodurre sul chirurgo tutte le sensazioni tipiche di un'operazione di tipo manuale. Da qui la necessità di disporre di dispositivi master innovativi, detti aptici, in grado

cioè di riprodurre sensazioni di forza sul dispositivo di comando. Questa soluzione permette di aumentare notevolmente le condizioni di sicurezza in cui opera il robot poiché ogni suo movimento è controllato opportunamente dal chirurgo.

Il tool chirurgico

Nel progetto in esame, il tool chirurgico è rappresentato da un particolare dispositivo per la terapia di lesioni tumorali: il PRS (Photon Radio-Surgery System - Zeiss). Il PRS è una sorgente miniaturizzata di raggi x a bassa energia. Tale sorgente, emettendo raggi x dall'estremità di una sonda che viene inserita all'interno della cavità cranica, permette di localizzare la dose di radiazione alle sole lesioni tumorali, evitando di colpire le rimanenti regioni sane del tessuto cerebrale. Il trattamento è minimo-invasivo in quanto il foro per il passaggio della sonda risulta di dimensioni ridotte (dai tre ai sette millimetri). Questo comporta notevoli vantaggi in termini di trauma per il paziente e di degenza post-operatoria.

Nella procedura manuale la sorgente viene posizionata su di un'opportuna struttura metallica, detta casco stereotassico (fig. 1) e l'avanzamento della sonda emettitrice all'interno della cavità cranica è realizzato mediante un accoppiamento a cremagliera. La struttura metallica funge da riferimento tridimensionale per il posizionamento degli strumenti neurochirurgici.

La precisione ottenibile con l'avanzamento manuale risulta notevolmente limitata. Il maggior problema deriva, però, dal grado di applicabilità del PRS. La distribuzione di dose della sonda, infatti, è pressoché sferica e il PRS si presta quindi a terapie nelle quali la forma della lesione tumorale è di tipo sferoidale. Tuttavia la forma sferica ha una casistica molto ridotta. L'efficacia di questo strumento sarebbe quindi molto limitata e limitati sarebbero di conseguenza i pazienti che potrebbero beneficiarne.

Un aumento cospicuo del campo di applicabilità è rappresentato dall'estensione alle lesioni tumorali di forma oblunga. In questi casi infatti è sufficiente distribuire la dose lungo l'asse principale della lesione e fare in modo che l'inviluppamento delle sfere di radiazione possa coprire l'intera lesione tumorale. Chiaramente questo tipo di movimento può essere realizzato solamente mediante un sistema robotico perché richiede un'elevata precisione di movimento. A questo scopo è nato il progetto Lans (Linear Actuator for NeuroSurgery).

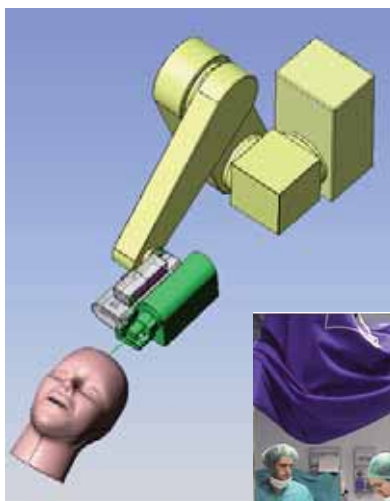


Fig 2.

Il progetto Lans

Il Lans è un dispositivo robotico progettato appositamente per il movimento lineare della sorgente PRS in modalità master-slave aptica. Un robot commerciale, il NeuroMate (Renishaw, UK), viene utilizzato come posizionatore spaziale per il Lans, in modo tale che l'asse di avanzamento della sorgente sia disposto lungo l'asse principale della lesione tumorale (fig. 2).

Il movimento della sonda all'interno della cavità cranica viene determinato dal chirurgo che opera nel master aptico. Il chirurgo è quindi in grado di sentire le forze di interazione tra la sonda e i tessuti cerebrali ed agire di

conseguenza. Inoltre, al fine di migliorare la precisione dell'intervento, un opportuno ambiente virtuale serve da guida per il chirurgo durante ogni fase dell'intervento.

Il sistema di controllo dell'intero sistema robotico master-slave aptico richiede elevata robustezza e affidabilità nella gestione dell'intervento chirurgico.

Il primo prototipo era stato realizzato con più dispositivi di controllo home-made che, interagendo tra di loro, garantivano ridondanza nel controllo e quindi le indispensabili condizioni di sicurezza. Tuttavia, tale prototipo di controllore soffriva di notevoli limitazioni, quali l'ingombro e la portabilità e i lunghi tempi per la riprogrammazione dei moduli di controllo e di quelli di supervisione.

La soluzione attuale risulta molto più snella, affidabile e flessibile nella programmazione.

Il cuore del controllore è realizzato su un sistema cRIO e relativi moduli di I/O. Il sistema master-slave aptico è gestito in real-time con anelli di controllo a 1 kHz, mentre i sistemi di controllo di ridondanza sono realizzati da due applicativi FPGA che monitorano e supervisionano l'intero processo operativo, intervenendo laddove si verificano un'emergenza.

Il sistema è attualmente in fase di ottimizzazione. Seguiranno a breve i primi test pre-clinici.

Note sugli autori

Vanni Zanotto, Alessandro Gasparetto, Paolo Boscarol, Albano Lanzutti, Renato Vidoni: Università di Udine; Aldo Rossi: Università di Padova