

De tecnologia hàptica a percepció tàctil en cirurgia robòtica

Disseny de prova de concepte d'integració de tecnologia tàctil en robot de cirurgia mínimament invasiva Da Vinci

Arturo Yscadar Cos, Antonio Alcaraz Asensio i Manel Puig-Vidal

A mesura que la tecnologia ha anat avançant també ho han anat fent les tècniques quirúrgiques. A dia d'avui, es poden dur a terme procediments mínimament invasius a través d'un robot quirúrgic (com seria el robot Da Vinci) que és capaç de controlar l'instrumental, seguint les ordres donades pels cirurgians i cirurgianes. El principal inconvenient d'operar per mitjà d'aquestes tècniques quirúrgiques és la pèrdua total de percepció tàctil.

El principal objectiu d'aquest projecte és dissenyar una prova de concepte d'una integració de tecnologia hàptica (capaç de generar tactilitat a través de lectures de corrent) amb una eina quirúrgica, per dotar el robot Da Vinci de percepció tàctil.

Introducció

En la cirurgia robòtica mínimament invasiva l'instrumental no es controla directament, sinó a través d'un sistema robòtic esclau que

imita els moviments que duu a terme el cirurgià o la cirurgiana en una consola de comandament. Un exemple seria el robot quirúrgic Da Vinci dissenyat per la companyia Intuitive Surgical© (Freschi *et al.*, 2013).

Una gran mancança d'aquests sistemes és la percepció tàctil, atès que els professionals ja no manipulen l'instrumental amb les seves mans. Aquesta mancança pot causar, per exemple, el trencament no intencionat del fil de sutura quan aquest es tiba.

Aquests robots disposen de servomotors, uns dispositius que no només permeten realitzar un moviment, sinó que també poden llegir el corrent consumit per haver realitzat aquesta tasca. Com més resistència es trobi el motor durant el seu gir, més corrent es consumirà.

Determinats dispositius hàptics permeten traduir lectures de corrent i parell motor (forces de rotació) en percepció tàctil (Li *et al.*, 2017). Aquests dispositius consten d'un llapis connectat a un seguit de motors. Per tal de generar

una tactilitat virtual, els motors s'activen per crear una resistència al moviment del llapis.

El principal objectiu d'aquest projecte és dissenyar una prova de concepte que mostri la viabilitat de la integració entre tecnologia tàctil i el robot Da Vinci i proposar una solució al trencament no intencionat dels filaments de sutura quirúrgica.

Materials i mètodes

Primerament es va avaluar el funcionament del robot en prostatectomies radicals robòtiques, cistectomies robòtiques i trasplantaments robòtics de ronyó de donant viu. Seguidament, es va dur a terme un estudi tècnic de la maniobrabilitat i transmissió de moviment de les eines efectores del Da Vinci, que s'anomenen EndoWrist.

Els principals components del prototip final són: un ordinador, un dispositiu hàptic (Phantom Omni Haptic), un portaagulles EndoWrist, quatre servomotors Dynamixel AX-12, (ROBOTIS, 2019) quatre juntes tòriques, dos braços robòtics Mover4 i Mover6 i estruc-

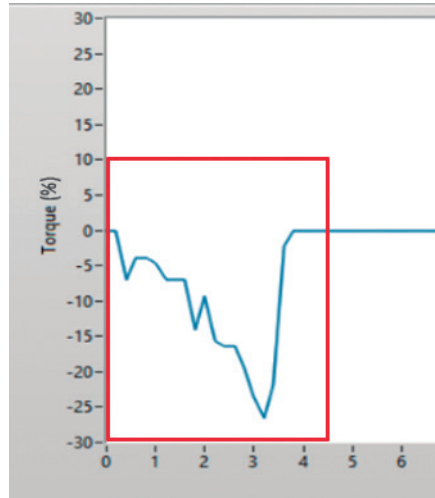


↑ Figura 1. Components del prototip final. Fotografia: autor.



↑ Figura 2. Mòdul mecànic. Fotografia: autor.

De tecnologia hàptica a percepció tàctil en cirurgia robòtica



↑ Figura 3. A l'esquerra, muntatge implementat. A la dreta, gràfica del parell motor fins al trencament del filament. Fotografia: autor.

tures impreses 3D com el marc acoblador i els discs (vegeu la figura 1).

El mòdul mecànic es basa en un marc acoblador que uneix servomotors amb l'eina EndoWrist i uns adaptadors tant per a l'eina com per als servomotors connectats amb unes juntes tòriques (vegeu la figura 2).

Quant als programes controladors, s'ha dissenyat un integrador amb llenguatge LabVIEW. Aquest es basa en una comunicació bidireccional entre els servomotors i el dispositiu hàptic. L'hàptic envia els canvis d'angles d'orientació de l'eina, mentre que els servomotors envien el corrent consumit a l'hàptic per saber així quina resistència virtual crear en el moviment del llapis controlat per l'usuari o usuària.

Finalment, es van dissenyar tècniques d'avaluació del funcionament del prototip i la seva sensibilitat a canvis de força intentant reproduir escenaris de sutura.

Resultats

Primerament es van avaluar els tres moviments d'orientació de l'eina: guixament, capcineig i guinyada (més habitualment coneguts en anglès com *roll*, *pitch* i *yaw*, respectivament). D'aquesta manera es va aconseguir

comprovar que la maniobrabilitat i el moviment de l'eina EndoWrist, subjectant l'agulla, eren els mateixos que el del comandament del dispositiu hàptic.

Seguidament, es va dur a terme una validació experimental de la retroalimentació de força (en anglès *force feedback*). Es va mesurar la resistència a la força de tracció que experimentava un filament així com també la força de rotació exercida pel servomotor. L'experiment

constava d'un sol servomotor Dynamixel AX-12 que estirava un filament de sutura quirúrgica unit a un sensor de força (dinamòmetre). Quan el motor començava a rotar, tibava el filament i la força de tracció indicada pel dinamòmetre s'anava registrant progressivament.

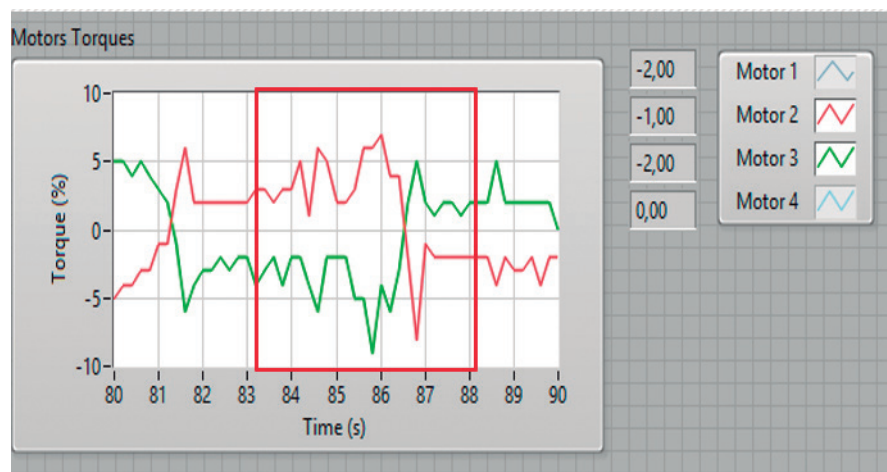
La ruptura del filament es va donar amb una força igual a 2,5 kg, la qual corresponia a un 26% de la força de rotació màxima que pot exercir un servomotor Dynamixel AX-12 (vegeu la figura 3).

Per altra banda, es va tornar a mesurar la força exercida, però aquest cop no d'un sol servomotor, sinó de tot el prototip final, subjectant l'agulla de sutura quirúrgica amb l'extrem lliure del filament unit al dinamòmetre.

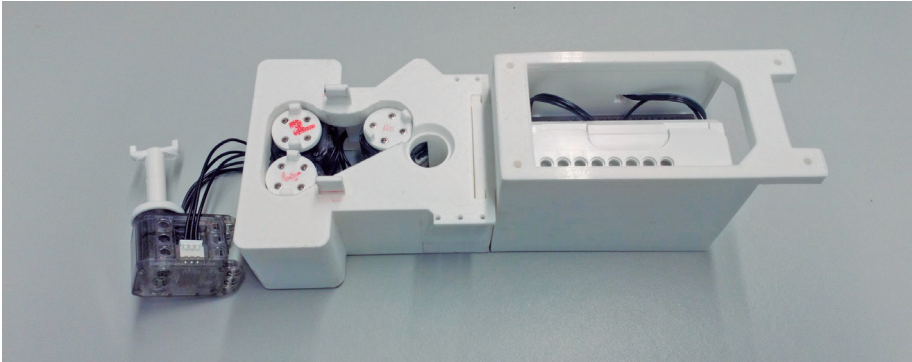
El prototip final era capaç de detectar variacions d'un 10% (o, equivalentment, d'1,2 kg) de força de rotació (vegeu la figura 4). Conseqüentment, el dispositiu detectava variacions de força i parell motor força abans de la ruptura del filament. Per tant, el prototip és capaç de proveir percepció tàctil durant la realització de simulacions de sutures quirúrgiques.

Discussió de resultats

El prototip sempre s'ha de considerar com un pas inicial en una possible futura investigació



↑ Figura 4. Registres dels parells motors fent servir el prototip final.



↑ Figura 5. Disseny alternatiu amb els nous servomotors alineats verticalment. Fotografia: autor.

més extensa. Per tant, tot i que el dispositiu satisfà tots els objectius inicialment plantejats, presenta algunes deficiències tant mecàniques com informàtiques.

Per una banda, hi ha una limitació mecànica en el sistema de transmissió de moviment entre els servomotors i l'eina quirúrgica EndoWrist. L'ús de juntes tòriques i discs 3D suposa un lliscament no desitjat entre ells. Quan se sotmet l'eina quirúrgica a resistències elevades, els servomotors segueixen rotant però no es transmet el moviment a l'instrument.

A més a més, atès que s'han fet servir cargols com a mètode de fixació entre els discs 3D i

l'eina EndoWrist, el sistema ja no és fàcilment desmuntable i per tant no es pot canviar ràpidament d'instrument. Tot això sense considerar l'estrès mecànic que suposa el fet de carregar les peces directament a l'eina.

Per altra banda, estudiant els programes controladors del prototip, seria de gran interès generar un sistema capaç de traduir les forces de rotació dels quatre servomotors en components X, Y i Z del parell motor que requereix el dispositiu hàptic.

Finalment, es van resoldre les deficiències mecàniques, pel que fa a la transmissió de moviment, dissenyant un nou sistema d'acobla-

ment alternatiu. Gràcies a fer servir un model més petit de servomotor, s'ha pogut dissenyar unes estructures columnars que directament connecten els motors amb les parts mòbils de l'eina EndoWrist (vegeu la figura 5); d'aquesta manera ja no és necessari fer servir les juntes tòriques i, per tant, s'elimina l'efecte lliscant entre les juntes i els discs 3D. A més a més, s'ha aconseguit facilitar l'acoblament entre els motors i l'eina quirúrgica.

Conclusió

S'ha pogut dissenyar satisfactòriament una prova de concepte d'una integració de tecnologia hàptica i cirurgia robòtica. El prototip és capaç de controlar adequadament una eina EndoWrist mentre proveeix l'usuari o usuària de percepció tàctil en tot moment, de manera que s'assoleixen tots els objectius plantejats a l'inici del projecte.

Malgrat tot, s'han detectat algunes deficiències en el prototip final. Aquest projecte s'ha d'entendre com un pas inicial en una possible futura investigació més extensa.

Finalment, s'està intentant donar solució a un problema actual en les cirurgies mínimament invasives assistides per tecnologia robòtica. Una solució que suposaria una millora no tan sols per al pacient sinó també per al personal sanitari.

Bibliografia

- FRESCHI, C. [et al.] (2013). «Technical review of the da Vinci surgical telemanipulator». *The International Journal of Medical Robotics and Computer Assisted Surgery*, 9 (4): 396-406.
- LI, L. [et al.] (2017). «Development of an inexpensive tri-axial force sensor for minimally invasive surgery». A: *Proceedings of (IROS) IEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*. Vancouver (Canadà): IEEE, 906-913.
- ROBOTIS (2019). AX-12/AX-12+/AX-12. <http://support.robotis.com/en/product/actuator/dynamixel/ax_series/dxl_ax_actuator.htm> [Consulta: 6 abril 2019].

Arturo Miguel Yscadar Cos (Caracas, Veneçuela, 1997) és llicenciat en enginyeria biomèdica per la Universitat de Barcelona (2019). Ha treballat com a enginyer de projecte, ajudant en la coordinació de la instal·lació d'equipament mèdic en quiròfans, a l'Hospital Maternoinfantil Sant Joan de Déu de Barcelona i a l'Hospital Universitari de Bellvitge. El seu camp d'interès són les tècniques i tecnologies quirúrgiques, la robòtica mèdica i les eines de monitorització i tractament de pacients en estat crític.