

ON THE ENHANCEMENT OF EMG-DRIVEN NEUROMUSCULAR MODELS FOR THE RUNTIME CONTROL OF POWERED ORTHOSIS

Massimo Sartori¹, David G. Lloyd³, Monica Reggiani², Elena Ceseracciu¹, Zimi Sawacha¹, Enrico Pagello¹, Claudio Cobelli¹

¹Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione, Università di Padova
(massimo.sartori@dei.unipd.it)

²Dipartimento di Tecnica e Gestione dei Sistemi Industriali, Università di Padova
(monica.reggiani@unipd.it)

³School of Sport Science Exercise and Health, University of Western Australia
(David.Lloyd@uwa.edu.au)

Topic 3. Quantitative evaluation (motion analysis and clinical scales)

Abstract

The availability of accurate and comprehensive models of human limbs, combining high reliability and real-time operation, is required to develop seamless and intuitive human-machine interfaces. Biomechanists have developed complex models of the human lower limb, combining kinematics and kinetics data with neural signals for the purpose of studying human motor control strategies. The complexity prevents their application to situations with stringent real-time requirements. We are currently working on the enhancement of an EMG-driven model of the human lower extremity to achieve comprehensiveness, accuracy, and fast runtime execution. Starting from the very complex model developed by Lloyd et al. we have evaluated how this model can be enhanced to achieve higher performances in terms of computation time with no loss of prediction accuracy. The enhanced model will be applied to the control of powered orthosis and to the development of advanced biomimetic control systems for humanoid robots. We started our investigation with the analysis of the impact of modeling the tendon as an infinitely stiff body and quantitatively evaluated the changes in the behavior of the modified model w.r.t. the original one. We also integrated a runtime anatomical model that allowed to execute the whole EMG-driven model at runtime. This is a significant improvement as the previous available model could not entirely be executed at runtime due to the complexity of the original anatomical model.

Experimental set up

Experiments were performed at the Gait Laboratory of the School of Sport Science Exercise and Health of the University of Western Australia. A 12 camera motion capture system (Vicon, Oxford, UK) was used to record dynamic movements. EMG signals were collected from 13 selected muscles using double-differential surface electrodes with a sampling frequency of 2Khz. Ground reaction forces were recorded from 2 force plates with a sampling frequency of 100Hz. A dynamometer (Biodex, New York, USA) was used to perform calibration trials under isometric and isokinetics conditions. Tests involved ground level walking at different paces. A group of 6 male subjects was recruited. For each subject a minimum of 10 gait trials were recorded. The dataset comprised a total of 75 trials.

Results

We evaluated the impact of the introduced changes on both the prediction accuracy and the computation performance. The flexion-extension knee torque computed by the enhanced model was compared to the torque estimated by the original model previously developed. Furthermore, estimated torques were compared to the reference torque recorded by the motion capture system. The stiff tendon model generated significantly better estimated w.r.t. the original model proving that the assumption on tendon stiffness did not compromise the prediction capabilities of the system. Model computation performances were tested on an embedded system that could potentially be used for the control of a powered orthosis. Results prove that the whole system is executed in just a fraction of the trial duration time, resulting in a model suitable for situations with real-time constraints. The enhanced model executed 100 times faster than the original one on average per subject. The experimental results support our hypothesis that high reliability in prediction of joint torques can be achieved from neural excitation within the imposed time limits.

LA VALUTAZIONE DELL'ARTO SUPERIORE IN NEURORIABILITAZIONE: ASPETTI APPLICATIVI DI UN NUOVO SISTEMA D'ANALISI CINEMATICA A DUE FOTOCAMERE

*§Bissolotti Luciano, #§Ometto Marco, *§Calabretto Carla, °§Gobbo Massimiliano, §Daniele Lussignoli, °§Orizio Claudio

§LARIN: Laboratorio di Ricerca Neuromuscolare e dell'Attività Fisica Adattata; *Servizio di Recupero e Rieducazione Funzionale, Casa di Cura Domus Salutis, Brescia; °Istituto di Fisiologia Umana, Dipartimento di Scienze Mediche e Biotecnologie, Facoltà di Medicina e Chirurgia, Brescia; # Dipartimento di Ing. Meccanica e Industriale, Facoltà di Ingegneria, Università di Brescia

Background: I disturbi del movimento dell'arto superiore sono spesso presenti negli esiti di gravi cerebrolesioni. La complessità delle alterazioni neurofisiologiche ha spinto la riabilitazione ad impiegare complessi e costosi sistemi di valutazione cinematica finalizzati alla miglior comprensione degli schemi patologici e dell'efficacia terapeutica della riabilitazione ^(1, 2, 3, 4). La diffusione dei sistemi d'analisi cinematica è ancora limitata dai costi iniziali e dagli oneri gestionali. Ci si propone di descrivere le applicazioni per l'arto superiore derivanti da un nuovo sistema di misura del movimento costituito da due sole videocamere (Gemini, BTS spa, Milano, Italia); descrivere alcuni protocolli di analisi cinematica; proporre l'uso di indicatori per la valutazione pre e post-trattamento robotico dell'arto superiore.

Materiali e Metodi: la ricostruzione tridimensionale del movimento deriva dal campionamento a 30 Hz delle posizioni dei marker. Successivamente si ricavano i valori di velocità e accelerazione dei marker stessi e le grandezze angolari che descrivono i movimenti dell'arto superiore (angoli di abd-add e fles-est). Efficienza e precisione del gesto sono definite quantitativamente da parametri calcolati dalle grandezze cinematiche in precedenza esposte, anche con l'analisi in frequenza delle stesse, mentre l'affaticabilità di un gesto è determinata confrontandone più ripetizioni.

La definizione dei protocolli di analisi è condizionata dalla peculiarità del sistema: il movimento studiato deve essere contenuto in un piano il più possibile parallelo al piano verticale e congiungente gli obiettivi delle videocamere per garantire la precisione e affidabilità delle misurazioni, nonché la costante visibilità dei marker.

Per ridurre gli errori di misura derivanti dal posizionamento relativo tra il sistema Gemini e il soggetto analizzato, si è aggiunto un sistema di riferimento definito da più marker e posizionato in prossimità del soggetto stesso.

Risultati: sono stati creati protocolli di analisi dei movimenti tipici della neuroriabilitazione (reaching con target, mano-bocca, prono-supinazione alternata mani, finger tapping, analisi tremore).

Conclusioni: l'integrazione fra sistema di riferimento esterno e Gemini BTS permette di valutare con discreta precisione molti dei tipici gesti funzionali studiati in ambito riabilitativo. Il costo contenuto di questo sistema permetterà la maggiore diffusione possibile della cinematica nei Centri di Riabilitazione contribuendo al miglioramento dei percorsi diagnostico terapeutici per la rieducazione dell'arto superiore.

Bibliografia

1. J.M. Wagner, A.W Dromerick, S.A. Sahrman, C.E. Lang. Upper Extremity Muscle Activation during Recovery of Reaching in Subjects with Post-stroke Hemiparesis. Clin Neurophysiol. 2007 January; 118 (1): 164–176.
2. Caimmi M, Carda S, Giovanzana C, Maini ES, Sabatini AM, Smania N, Molteni F. Using kinematic analysis to evaluate constraint-induced movement therapy in chronic stroke patients. Neurorehabil Neural Repair. 2008 Jan-Feb;22(1):31-9. Epub 2007 Jun 26
3. Wu CY, Chou SH, Chen CL, Kuo MY, Lu TW, Fu YC Kinematic analysis of a functional and sequential bimanual task in patients with left hemiparesis: intra-limb and interlimb coordination. Disabil Rehabil. 2009;31(12):958-6
4. Messier S, Bourbonnais D, Desrosiers J, Roy Y. Kinematic analysis of upper limbs and trunk movement during bilateral movement after stroke. Arch Phys Med Rehabil. 2006 Nov;87(11):1463-70

VALUTAZIONE DEL RECUPERO MOTORIO DEL PRIMO DORSALE INTEROSSEO IN PAZIENTI EMIPARETICI DURANTE TRATTAMENTO RIABILITATIVO

Massimiliano Gobbo^{1,3}, Luciano Biscolotti^{2,3}, Carla Calabretto^{2,3}, Paolo Gaffurini^{3,4}, Veronica Sani¹, Claudio Orizio^{1,3}.

¹ Università degli Studi di Brescia, Brescia

² Servizio di Recupero e Rieducazione Funzionale, Casa di Cura Domus Salutis, Brescia

³ Laboratorio di Riabilitazione Neuromuscolare e delle Attività Fisiche Adattate, Brescia

⁴ Università di Verona, Verona

BACKGROUND

Il lavoro propone una metodica obiettiva di valutazione del controllo motorio di muscoli distali dell'arto superiore, in particolare del Primo Dorsale Interosseo (PDI), con l'obiettivo finale di studiare il recupero motorio in pazienti emiparetici.

MATERIALI E METODI

Sono stati studiati: gruppo di controllo di 10 maschi, età 25-53 anni, non affetti da patologie neuromuscolari; gruppo di soggetti emiparetici in esiti di ictus cerebrale in fase subacuta, 6 maschi e 3 femmine, età 49-86 anni.

Avambraccio e mano sono stati alloggiati in un ergometro appositamente modellato con il secondo dito connesso ad una cella di carico per rilevare la forza prodotta dal PDI. Dopo aver registrato la massima contrazione volontaria isometrica (MCV), al soggetto era richiesto di seguire un target visivo secondo rampe incrementali e decrementali con tre livelli di sforzo massimo (10%, 50%, 100% MCV): tramite il feed-back visivo il soggetto poteva verificare l'adeguatezza della forza esercitata e correggerla durante l'esecuzione del compito. Per i pazienti, sotto trattamento riabilitativo, sono state effettuate tre sessioni sperimentali a cadenza settimanale.

RISULTATI

La MCV media dei controlli (2.1 ± 0.4 Kg) è risultata maggiore ($p < 0.05$) dei pazienti (0.6 ± 0.3 Kg). Nello studio longitudinale i pazienti hanno aumentato la MCV media: 0.6 ± 0.3 ; 0.9 ± 0.6 ; 1.1 ± 0.7 Kg rispettivamente nelle tre settimane.

Dall'analisi dei tracciati di forza acquisiti durante le contrazioni a rampa è emerso: un errore nell'esecuzione inferiore ($p < 0.05$) per i controlli rispetto ai soggetti emiparetici, soprattutto per le intensità di contrazione più basse, e una velocità di correzione dell'errore inferiore ($p < 0.05$) per gli emiparetici studiati; inoltre, longitudinalmente, l'errore di forza commesso dai pazienti rispetto al target richiesto e la velocità di correzione dell'errore si sono ridotti nelle sessioni successive alla prima.

CONCLUSIONI

I parametri proposti hanno permesso, in pazienti emiparetici in fase subacuta, di quantificare numericamente il recupero motorio del PDI in termini di entità di forza sviluppata, di precisione e di velocità di correzione durante l'esecuzione di un compito motorio. Tale metodica, dato il tipo di compito funzionale richiesto e la applicabilità a diversi distretti muscolari, potrebbe in futuro essere inserita all'interno di protocolli riabilitativi nell'ottica di sviluppare sistemi integrati di riabilitazione e valutazione della funzione motoria.

VERSO UNA INTEGRAZIONE TRA FISIOTERAPIA E ROBOT-TERAPIA IN PAZIENTI EMIPLEGICI

Psiche Giannoni

Docente Concetto Bobath (IBITA/EBTA)
ART srl Genova

L'intervento riabilitativo verso una persona con un problema motorio di origine neurologica è un atto molto complesso che ha come obiettivo non solo la riacquisizione del movimento bensì il riapprendimento di funzioni che portino il paziente ad una buona qualità della sua vita. Questo è quanto evidenzia anche l'attuale modello concettuale-antropologico WHO-ICF. La necessità di strutturare a livello gestionale l'intervento nel modo più efficiente possibile richiede che tutti coloro che intervengono nel processo riabilitativo seguano modelli di intervento omogenei e rendano disponibili all'esterno le modalità ed i risultati del loro intervento. Questo richiede l'utilizzo di scale cliniche specifiche mirate per la valutazione del danno fisico, per le attività funzionali che la persona può svolgere e per la sua possibilità di partecipazione sociale.

Nella ricerca sperimentale si presenta un'ulteriore problematica, soprattutto per la molteplicità e disparità/unicità di fattori che ruotano attorno al paziente e che lo caratterizzano come persona unica, rendendo quindi difficile identificare dei gruppi di studio e di controllo che siano sufficientemente uniformi. Questo vale sia per le tecniche tradizionali sia per le nuove tecnologie robotiche. Il dibattito al riguardo è molto acceso e lungi dall'essere arrivato a inquadramenti consolidati e condivisi. Tuttavia due punti importanti sembrano emergere: 1) il trattamento fisioterapico tradizionale e quello basato su sistemi robotici non possono essere alternativi ma devono essere pensati come complementari, 2) in entrambi i casi gli interventi vanno integrati con momenti di misura e/o di valutazione quantitativa.

In questo intervento viene riassunta l'esperienza derivante dall'utilizzo di un manipolando robotizzato per la rieducazione dell'arto superiore in un gruppo di pazienti emiplegici cronici. La collaborazione di fisioterapisti e bio-ingegneri, iniziata con la messa a punto del robot per la facilitazione al movimento dell'arto superiore, ha prodotto non solo uno strumento di training ma anche una macchina utile per aumentare l'informazione sensoriale propriocettiva nel paziente e come strumento di misura del suo potenziale.

- [1] Casadio M, Giannoni P, Morasso P, Sanguineti V (2009) A proof of concept study for the integration of robot therapy with physiotherapy in the treatment of stroke patient. *Clinical Rehabilitation* 23: 217-228.
- [2] Casadio M, Morasso P, Sanguineti V, Giannoni P (2009) Minimally assistive robot training for proprioception-enhancement. *Experimental Brain Research*, 194, 219-231.
- [3] Sanguineti V, Casadio M, Vergaro, E, Squeri V, Giannoni P, Morasso P (2009) Robot therapy for stroke survivors: proprioceptive training and regulation of assistance. *Stud Health Technol Inform.* 145:126-42.
- [4] Squeri V, Casadio M, Vergaro E, Giannoni P, Morasso P, Sanguineti V, (2009) Bilateral robot therapy based on haptics and reinforcement learning: feasibility study of a new concept for treatment of patients after stroke. *J Rehabilitation Medicine* 41: 961-965.
- [5] Masia L, Casadio P, Giannoni P, Sandini G, Morasso P (2009) Performance adaptive training control strategy for recovering wrist movements in stroke patients: a preliminary, feasibility study. *J of NeuroEngineering and Rehabilitation*, *in press*.
- [6] Vergaro E, Casadio M, Squeri V, Giannoni P, Morasso P, Sanguineti V (2009) Self-adaptive robot-training of stroke patients for continuous tracking movements. *J of NeuroEngineering and Rehabilitation*, *in press*.

MODIFICAZIONI DELLE SINERGIE MUSCOLARI DELL'ARTO SUPERIORE INDOTTE DALL'EMIPARESI E DALLA RIABILITAZIONE MEDIATA DA ROBOT, ANALIZZATE DURANTE L'ESECUZIONE DI MOVIMENTI PLANARI

Peppino Tropea¹, Stefano Mazzoleni¹, Federico Posteraro², Silvestro Micera^{1,3}

¹ARTS Lab, Scuola Superiore Sant'Anna, Pontedera (PI), Italia,

²Unità Gravi Cerebrolesioni Acquisite, Ospedale Auxilium Vitae, Volterra (PI), Italia

³Institute for Automation, Swiss Federal Institute of Technology, Zurigo, Svizzera

Background

La coordinazione motoria consiste nell'attitudine del Sistema Nervoso Centrale (SNC) a controllare l'elevato numero di gradi di libertà del sistema muscolo-scheletrico durante l'esecuzione di movimenti volontari [1]. In particolare, il SNC riduce la complessità dell'azione di controllo attivando in modo coordinato e sinergico più muscoli [2-5]. Le patologie neuromotorie influenzano il reclutamento dei muscoli e, di conseguenza, alterano le sinergie muscolari [6,7]. L'obiettivo di questo lavoro è analizzare le modificazioni indotte dall'emiparesi e dalla successiva riabilitazione nelle sinergie muscolari dell'arto superiore durante l'esecuzione di movimenti planari mediati da robot.

Materiali e Metodi

Cinque soggetti affetti da episodio ictale unilaterale sono stati sottoposti ad un ciclo di terapia riabilitativa per l'arto superiore mediata da robot. L'attività di 12 muscoli dell'arto superiore (Bicipite, Brachiale, Brachioradiale, Deltoide anteriore, Deltoide mediale, Deltoide posteriore, Latissimo dorsale, Pettorale, Teres maior, Trapezio superiore, Tricipite) è stata registrata all'inizio e alla fine della terapia durante l'esecuzione di movimenti planari mediati dalla macchina. Cinque soggetti sani hanno partecipato ad una sessione di registrazione e rappresentavano il gruppo di controllo.

Il segnale EMG grezzo è stato rettificato, filtrato passa basso (Butterworth, 4° ord., 20 Hz) e normalizzato rispetto al valore massimo. Le sinergie muscolari sono state estratte mediante l'algoritmo "Non-Negative Matrix Factorization"; pesi e fattori sono stati comparati nei casi 'pre' e 'post' trattamento e patologici e sani mediante prodotto scalare e coefficiente di correlazione [7].

Risultati

Risultati preliminari mostrano come all'incremento di capacità motorie a seguito della terapia riabilitativa robot mediata viene riscontrata poca diversificazione dei muscoli agenti sulle sinergie.

Le variazioni riguardano solamente le sinergie con minore espressione di varianza.

Questo comportamento probabilmente si può imputare ad un consolidamento delle strategie motorie.

In questa prima fase di analisi si evidenzia anche come i soggetti sani presentano raggruppamenti muscolari che incidono su ciascuna sinergia più cospicui e differenti rispetto ai soggetto colpiti da ictus. Questo tende a rafforzare l'ipotesi delle modificazioni indotte dall'evento ictale.

Considerazioni finali

Il presente lavoro vuole sia migliorare le conoscenze neurofisiologiche ma anche definire un nuovo approccio riabilitativo basato sull'analisi delle sinergie e su protocolli finalizzati al rafforzamento delle attività sinergiche residue.

Bibliografia

- [1] Bernstein N, The co-ordination and regulation of movements. 1967 Oxford:Pergamon.
- [2] Bizzi E, Mussa-Ivaldi FA, Giszter S, Computations underlying the execution of movement: a biological perspective, Science 1991; 253:287-291.
- [3] Tresch MC, Saltiel P, d'Avella A, Bizzi E, Coordination and localization in spinal motor system, Brain Res Brain Res Rev. 2002; 40(1-3):66-79.

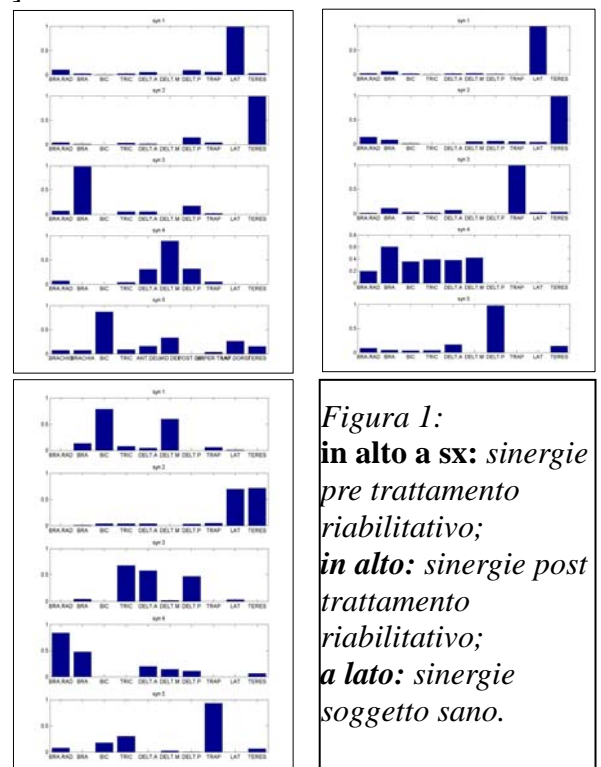


Figura 1:
in alto a sx: sinergie pre trattamento riabilitativo;
in alto: sinergie post trattamento riabilitativo;
a lato: sinergie soggetto sano.

- [4] d'Avella A, Saltiel P, Bizzi E, Combinations of muscle synergies in the construction of a natural motor behavior. *Nat Neurosci* 2003; 6:300 –308.
- [5] d'Avella A, Bizzi E, Shared and specific muscle synergies in natural motor behaviors. *Proc Natl Acad Sci USA* 2005; 102:3076 –3081.
- [6] Grasso R, Ivanenko YP, Zago M, Molinari M, Scivoletto G, Castellano V, Macellari V, and Lacquaniti F. Distributed plasticity of locomotor pattern generators in spinal cord injured patients. *Brain* 2004, 127: 1019-1034.
- [7] Chung VC, Piron L, Agostini M, Silvoni S, Turolla A, Bizzi E. Stability of muscle synergies for voluntary actions after cortical stroke in humans. *Proceedings of the National Academy of Science (USA)*. Oct 19 2009.

DESIGN DI GIUNTI ROTOIDALI PER ROBOT INDOSSABILI NON ANTROPOMORFI

Autori: GIORGIO CARPINO, FABRIZIO SERGI, DINO ACCOTO, ENRICA FISCHETTI, NEVIO LUIGI TAGLIAMONTE, EUGENIO GUGLIEMELLI

Laboratorio di Robotica Biomedica e Biomicrosistemi, CIR, Università Campus Bio-Medico di Roma, Roma

Background

I robot esoscheletrici sono sempre più utilizzati in ambito neuroriabilitativo per la loro capacità di assecondare i movimenti degli arti e per il loro basso peso e ingombro [1].

Lo sviluppo di esoscheletri non antropomorfi è un approccio promettente sia per evitare incompatibilità cinematiche tra il robot e gli arti umani, che per migliorare l'ergonomia del sistema [2]. A tale scopo è stata sviluppata una metodologia di sintesi cinematica per robot indossabili e progettato un kit robotico che implementa la struttura cinematica ottimale in modo compatibile con i requisiti di basso peso e ingombro, specifici della robotica indossabile.

Materiali e Metodi

Il processo di sintesi cinematica di robot indossabili non antropomorfi è basato sull'esplorazione delle matrici delle adiacenze allo scopo di ottenere la totalità delle topologie indipendenti con determinati DoFs.

La scelta di una struttura non antropomorfa implica l'aumento del numero di link e giunti. È stato quindi progettato un kit robotico per realizzare un giunto rotoidale modulare a ridotto peso e ingombro. Tale giunto implementa il grado di libertà di rotazione tra link la cui forma è stata scelta in modo tale da minimizzarne lo spessore, presentando una resistenza flessionale e torsionale compatibili con il carico previsto per il robot.

Risultati

I risultati dell'algoritmo di enumerazione delle possibili topologie fino a 8 link a 1 DoF hanno prodotto un atlante delle topologie che descrivono tutte le catene cinematiche costituite dal parallelo di arti umani e link del robot. L'atlante ha come scopo quello di individuare la topologia ottimale a cui corrisponderà un'unica morfologia per il robot. Il gran numero di giunti necessario ad implementare tale morfologia è alla base della progettazione di un nuovo concept di giunto rotoidale con geometria a "puzzle". I link a sezione rettangolare presentano alle loro estremità dei moduli sagomati concavi o convessi tali da permettere una rotazione relativa tra le due parti. Il modulo a profilo convesso è stato studiato così da poter essere adattato in varie configurazioni così da incrementare il range di moto (per ogni configurazione il massimo range di moto è di circa 90°). È stata condotta infine un'analisi FEM in modo da dimensionare il giunto (spessore 5 mm, diametro 45 mm).

Conclusioni

La metodologia di sintesi cinematica e la progettazione di un kit robotico facilmente assemblabile sono state le basi per la realizzazione di un concept di giunto rotoidale per robot indossabili non antropomorfi.

Bibliografia

[1] Pons J. L., *Wearable Robots: Biomechatronic Exoskeletons*. Wiley, 2008.

[2] Schiele A., van der Helm F. C. T., "Kinematic Design to Improve Ergonomics in Human Machine Interaction," *IEEE Trans. on Neur. Sys. and Rehab. Eng.*, December 2006, vol. 14(4), pp. 456-469.

Alessandra Sciutti, Valentina Squeri, Monica Gori, Lorenzo Masia, Giulio Sandini, Jürgen Konczak
The role of predicted sensory feedback derived from motor commands for haptic sensitivity

When humans explore an object in the environment with their hands, several sources of information are combined to arrive at a single, unified haptic percept of the object. Two of these sources, tactile and proprioceptive cues, are based on afferent sensory feedback from the periphery. A third potential sensory source for haptic perception is predicted sensory feedback (PSF), which is the information derived from a copy of the motor commands that give rise to the exploratory hand movements. The role of efference copy signals for haptic perception is not clearly understood. Theoretically, PSF leads to a higher redundancy of information, which should improve haptic sensitivity. To investigate the effect of PSF on haptic precision, we tested haptic acuity in curvature perception during active and passive exploration of virtual objects. METHOD A 2-joint robotic manipulandum generated appropriate boundary forces for subjects to actively explore a range of virtual curved contours with their hand. Alternatively, their hand was moved passively along the same contours. Vision was occluded. In the active condition afferent sensory information and PSF were present, while in the passive condition subjects relied solely on sensory information. In each trial two stimuli of different curvature were presented. Subjects needed to indicate which of the two was more “curved” (forced choice). For each condition, the detection (i.e. the minimum curvature needed to distinguish a curved surface from a straight one) and three discrimination thresholds were computed. RESULTS Human haptic perception of hand path curvature is highly precise both during active exploration and passive touch; on average, a lateral deviation around 7 mm over a 200 mm linear distance was sufficient to distinguish a curved line with respect to a straight line. When asked to discriminate between two curved contours, haptic sensitivity decreased as the base curvature increased—a result consistent with the Weber–Fechner law. The main finding is that absence of efference copy information did not systematically degrade haptic acuity. Because redundancy was higher during the active condition (afferent + PSF input) than in the passive condition (only afferent information), haptic sensitivity should have been higher during active exploration. However, we found no clear systematic trend that active sensing was superior to passive sensing. This indirectly implies that PSF does not aid or enhance haptic perception. CONCLUSION In situations where a high degree of haptic sensitivity is required to explore novel objects, the perceptual system relies primarily on the integration of afferent sensory information (tactile and proprioceptive) and PSF has no added effect on the precision of the perceptual estimate.

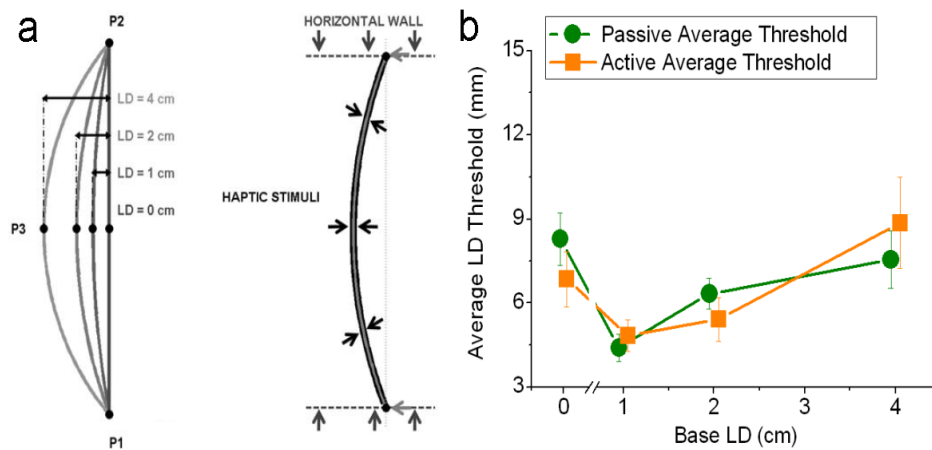


Figure: a) Dimensions of the standard curved virtual contour for detection and discrimination experiments (left) and construction of the virtual path for active exploration (right). The curvatures are expressed in terms of maximum lateral deviation from a straight line (LD). b) Average active (orange squares) and passive (green circles) thresholds for all the detection and discrimination experiments. The data reveal no discernible trend that active haptic sensing is superior to passive sensing.

Sciutti A, Squeri V, Gori M, Masia L, Sandini G, Konczak J (2009) Predicted sensory feedback derived from motor commands does not improve haptic sensitivity. *Exp Brain Res*

Konczak J, Li K-Y, Tuite PJ, Poizner H (2008) Haptic perception of object curvature in Parkinson’s disease. *PLoS One* 3:e2625

von Holst E, Mittelstaedt H (1950) Das Reafferenzprinzip. *Naturwissenschaften* 37:464–476

Vaziri S, Diedrichsen J, Shadmehr R (2006) Why does the brain predict sensory consequences of oculomotor commands? Optimal integration of the predicted and the actual sensory feedback. *J Neurosci* 26:4188–4197

Lillis KP, Scheidt RA (2003) Sensitivity to hand path curvature during reaching. In: 25th international conference of IEEE EMBS, vol 2, Cancun, Mexico, pp 1754–1757

RICOSTRUZIONE CINEMATICA DEL MOTO DELL'ARTO SUPERIORE DURANTE UN COMPITO DI RIABILITAZIONE ROBOT-MEDIATA

F. Paradisi^a, F. Sergi^a, L. Zollo^a, E. Gallotta^b, D. Accoto^a, S. Sterzi^b, E. Guglielmelli^a

^a Laboratorio di Robotica Biomedica e Biomicrosistemi, CIR, Università Campus Bio-Medico di Roma.

^b Unità di Medicina Fisica e Riabilitazione, Università Campus Bio-Medico di Roma

BACKGROUND

Nella terapia riabilitativa robot-mediata dell'arto superiore mediante macchina operativa, il contatto tra macchina e paziente avviene all'organo terminale della macchina, consentendo al robot di intervenire sul moto eseguito dall'arto del paziente (guidandolo o assistendolo) soltanto nello spazio operativo [1]. L'obiettivo di questo studio è pertanto quello di monitorare il moto di tutte le articolazioni dell'arto superiore durante la terapia per rilevare eventuali posture innaturali o errate, permettendo in questo modo di mettere a punto azioni correttive mirate alle singole articolazioni.

MATERIALI E METODI

Per monitorare il moto delle singole articolazioni dell'arto durante la terapia, e quindi procedere alla ricostruzione della cinematica del movimento, è stato utilizzato il sistema ad induzione elettromagnetica Liberty Polhemus 240/8 con 4 ricevitori.

L'arto è stato modellato come una catena cinematica aperta a 3 link rigidi e 7 gradi di libertà (3 per la spalla, 2 per il polso e 2 per il gomito). I parametri geometrici della catena cinematica (posizione dei centri di rotazione, orientamento degli assi di rotazione e lunghezze dei link) sono stati determinati attraverso una procedura preliminare di calibrazione, ripetuta per ciascun soggetto. Tale procedura è simile a quella descritta in [1], ma consente di ricavare gli orientamenti anche della terna anatomica di spalla, secondo gli standard definiti dall'ISB [2]. Il sistema Liberty è stato poi utilizzato per l'acquisizione di posizione ed orientamento dei 4 ricevitori posizionati sull'arto e per la ricostruzione del moto dei 7 giunti rotoidali.

La procedura è stata applicata preliminarmente a 8 soggetti sani per verificare la bontà e l'affidabilità del metodo di misura. E' stata quindi portata avanti una sessione sperimentale con 1 soggetto post-ictale cronico sottoposto a terapia robot-mediata tramite l'ausilio della macchina operativa MIT-Manus [3], [4].

Figura 1: Set-up sperimentale



RISULTATI

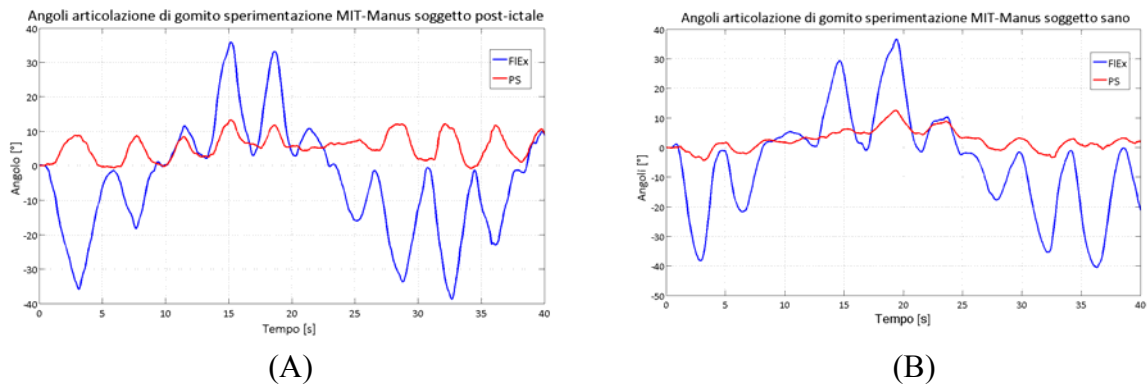
In Tabella 1 sono riportati i parametri geometrici relativi ai 9 soggetti analizzati, con relativo errore di misura.

Tabella 1: Parametri del modello cinematico ottenuti in fase di calibrazione per i 9 soggetti coinvolti nelle prove sperimentali. l_1 e l_2 lunghezze anatomiche di braccio e avambraccio, Δr_s errore di individuazione della posizione del centro di rotazione di spalla, α_e e α_w angoli di skew di gomito e polso, h_e e h_w skew distance.

PARAMETRI CINEMATICI	MEDIA	MAX	MIN	DEV. STD.
l_1 (mm)	125.5	170.6	103.8	21.1
l_2 (mm)	250.0	267.3	226.6	14.0
Δr_s (mm)	8.1	15.5	5.0	3.7
α_e (°)	92.4	99.2	87.4	3.9
$ h_e $ (mm)	7.4	11.7	4.6	2.3
α_w (°)	97.4	106.4	86.2	7.3
$ h_w $ (mm)	2.4	6.6	0.6	1.8

Infine in Fig.2 sono mostrati gli andamenti degli angoli di gomito (flesso-estensione e pronosupinazione) di un soggetto sano rappresentativo della normativa e di un soggetto post-ictale durante l'esecuzione di un esercizio di moto punto-punto con il robot MIT-Manus.

Figura 2: Profili degli angoli di gomito in un task motorio planare alla macchina MIT-Manus in un soggetto post-ictale (A) e sano (B)



CONCLUSIONI

In questo studio è stata proposta una procedura di ricostruzione cinematica dell'arto superiore basata sull'utilizzo del sistema ad induzione elettromagnetica Liberty Polhemus. La procedura è stata applicata allo studio della cinematica dell'arto superiore in pazienti post-itali cronici, per individuare e correggere eventuali posture innaturali durante compiti di riabilitazione robot-mediata con macchine operative. Le attività future si concentreranno su un'estensiva applicazione della procedura in riabilitazione robot-mediata e l'integrazione con sistemi di stimolazione sensoriale localizzati, allo scopo di effettuare azioni correttive durante la terapia.

REFERENCES

- [1] Guglielmelli E., Johnson MJ, Shibata T, Guest Editorial, Special Issues Rehabilitation Robotics, IEEE Transactions on Robotics, 2009, Vol. 25(3), pp. 477-480.
- [2] Biryukova EV, Roby-Brami A, Frolov AA, Mokhtari M, Kinematics of human arm reconstructed from spatial tracking system recordings. Journal of Biomechanics, 2000, 33(8): 985-995.
- [3] Wu G, van der Helm FC, Veeger HE, Makhsous M, Van Roy P, Anglin C, Nagels J, Karduna AR, McQuade K, Wang X, Werner FW, Buchholz B, ISB recommendation on definitions of joint coordinate systems of various joints for the reporting of human joint motion—Part II: shoulder, elbow, wrist and hand, Journal of Biomechanics, 2005; 38: 981-992
- [4] N. Hogan, H.I. Krebs, A. Sharon, J. Charnnarong, "Interactive robotic therapist", Massachusetts Inst. Technol., Cambridge, U.S. Patent #5466213, 1995.
- [5] E. Gallotta, G. Magrone, A. Romanelli, M. Milazzo, L. Zollo, D. Formica, E. Guglielmelli, S. Sterzi, "Neurorehabilitation of the upper limb using robotic systems", Journal of Rehabilitation Medicine, 2008, suppl. 47, p. 276.

CONTROLLO DI FORZA DI UN ROBOT PER LA NEURORIABILITAZIONE DEL POLSO PER IL RISPETTO DEI VINCOLI DI NATURA NEURALE

Nevio Luigi Tagliamonte, Maria Scorcìa, Domenico Formica, Domenico Campolo, Eugenio Guglielmelli

Laboratorio di Robotica Biomedica e Biomicrosistemi, CIR, Università Campus Bio-Medico di Roma, Roma

Background

Gli ultimi anni hanno visto la nascita di nuovi scenari di assistenza in cui la terapia motoria e cognitiva in campo neuroriabilitativo viene fornita attraverso sistemi robotici in grado di consentire un ruolo attivo del paziente.

Caratteristica importante dei robot destinati alla neuroriabilitazione è la capacità di non perturbare i movimenti volontari del paziente e di assisterlo qualora non sia in grado di completare un compito in modo autonomo. Studi relativi ai movimenti del polso [1] hanno evidenziato che oltre agli “hard” constraints (vincoli biomeccanici), i robot che interagiscono fisicamente con l’uomo devono rispettare i cosiddetti “soft” constraints, vincoli di natura neurale imposti dal cervello per far fronte a task cinematicamente ridondanti. Il sistema robotico InMotion³, stato dell’arte nella riabilitazione del polso, si è rivelato non in grado di rispettare tali vincoli neurali [2].

Per risolvere tale problema si propone un algoritmo di controllo di forza che aumenti la trasparenza del robot in pron-supinazione, il GdL con la maggiore inerzia apparente.

Materiali e metodi

Si è implementato sul sistema InMotion³ un algoritmo di controllo che ne compensa le dinamiche e lo movimentata in modo tale da annullare istante per istante la forza d’interazione con il paziente misurata da un sensore di forza/coppia alloggiato alla base della maniglia impugnata dal paziente. Per verificare l’efficacia del controllo si sono confrontate le forze/coppie d’interazione durante compiti di puntamento in diverse condizioni operative (come mostrato in [3] relativamente al sistema InMotion²).

Risultati

Dal confronto tra le condizioni in cui il robot è a motori spenti oppure controllato in forza si è potuta rilevare una netta diminuzione delle forze/coppie di interazione dimostrando l’effettiva possibilità di aumentarne la trasparenza. Si è mostrata inoltre la capacità dell’algoritmo di controllo di reiettare disturbi quali masse aggiuntive o forze elastiche agenti sul robot.

A partire da tali risultati sarà possibile effettuare un’analisi dettagliata per verificare la possibilità di rispettare i vincoli di natura neurale.

Conclusioni

La legge di controllo proposta può risultare utile per comprendere gli effetti che diversi livelli di trasparenza del robot possono avere sulle strategie motorie umane al fine di definire indicazioni utili alla progettazione di macchine riabilitative di nuova generazione, in grado di ottimizzare l’interazione con soggetti umani nel rispetto dei vincoli biomeccanici e neurali.

Bibliografia

- [1] D. Campolo, D. Formica, E. Guglielmelli, F. Keller, “Kinematic analysis of the human wrist during pointing tasks”, *Experimental Brain Research*, 2009, *in press*.
- [2] D. Campolo, D. Accoto, D. Formica, E. Guglielmelli, “Intrinsic Constraints of Neural Origin: Assessment and Application to Rehabilitation Robotics”, *IEEE Transactions on Robotics*, 2009, vol. 25, pp. 492-501.
- [3] N. L. Tagliamonte, D. Formica, D. Campolo, E. Guglielmelli, “Coping with Intrinsic Constraints of Neural Origin in the Design of Rehabilitation Robots: a Preliminary Study”, *The 4th International IEEE/EMBS Conference on Neural Engineering*, Antalya, Turkey, 2009, pp. 124–127.

CONTROLLO DI IMPEDENZA BASATO SULLA MISURA DELLE CORRENTI DI UNA MACCHINA ROBOTICA PER LA RIABILITAZIONE DELL'ARTO SUPERIORE CON ATTRITO NON TRASCURABILE

Antonino Salerno^a, Loredana Zollo^a, Massimo Vespignani^a, Dino Accoto^a, Eugenio Guglielmelli^a
^a Laboratorio di Robotica Biomedica e Biomicrosistemi, CIR, Università Campus Bio-Medico di Roma

BACKGROUND

Il presente lavoro affronta due temi molto delicati nell'ambito della robotica riabilitativa:

- Identificazione e compensazione dell'attrito statico e dinamico di un robot concepito per lavorare in stretta interazione con l'uomo;
- Ricostruzione delle forze d'interazione uomo-macchina, durante la terapia robot mediata dell'arto superiore, basata sulla lettura delle correnti ai motori.

Per ovviare al problema dell'attrito, che riduce le prestazioni e la controllabilità della macchina robotica^{[1],[2]}, tipicamente si procede alla linearizzazione parametrica del fenomeno non lineare in questione (*Liu et Al*, 2001), considerandolo come un disturbo da reiettare (*Panteley et Al*, 1997). Si usano quindi schemi di controllo robusti o adattativi (*Bona et Al*, 2005) con conseguente incremento del carico computazionale, limitandone fortemente l'applicabilità su sistemi reali. La soluzione più adoperata in robotica riabilitativa è quella di adottare una meccanica più sofisticata e costosa, con particolare cura alla riduzione degli attriti^[3].

Per quanto riguarda invece la misura delle forze di interazione uomo-macchina, l'approccio tradizionale prevede un sensore di forza montato all'organo terminale del robot, aumentando però le masse in movimento e il costo complessivo della macchina. In [4] è proposta una modellizzazione neuro-fuzzy della forza di taglio di una macchina utensile per applicazione in ambito industriale.

MATERIALI E METODI

Per risolvere i due problemi di compensazione dell'attrito e misura delle forze di interazione senza peggiorare l'inerzia della macchina, è stato formulato e sviluppato un sistema di controllo di impedenza basato sulla lettura delle correnti elettriche. Il sistema è stato implementato e validato sperimentalmente sul robot planare per riabilitazione dell'arto superiore CBM-Motus^[5] (Fig. 1).

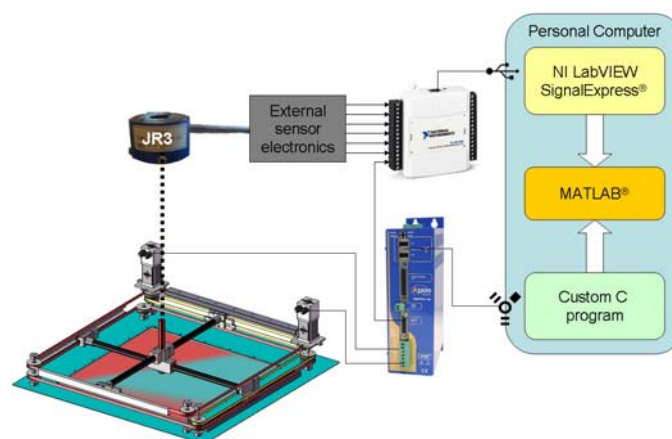


Figura 1: Setup sperimentale per l'analisi delle correnti

L'attrito statico è stato valutato misurando la minima corrente necessaria a movimentare l'organo terminale in 20 diversi punti del workspace. I valori dei coefficienti di attrito dinamico vengono invece stimati attraverso una procedura automatica di calibrazione iniziale del sistema che implementa una tecnica di identificazione parametrica ai minimi quadrati^[6].

Per l'analisi delle forze d'interazione, è stata effettuata una caratterizzazione della relazione forze/correnti sia a vuoto che con carichi noti applicati all'end effector, acquisendo in maniera

sincrona le forze di interazione all'handle (tramite sensore di forza/coppia) e le correnti elettriche ai due motori del robot. Lo studio della correlazione forza/corrente attraverso regressione lineare ha consentito di estrarre 4 relazioni lineari in grado di caratterizzare l'intero workspace.

RISULTATI E CONCLUSIONI

Per validare sperimentalmente il sistema di controllo proposto, sono state effettuate delle prove di interazione tra il robot e un ambiente con caratteristiche note (Fig. 2). Il sistema di controllo basato sulla misura delle correnti riesce a compensare l'attrito statico $F_s = [2.91 \ 3.80]^T$ N e dinamico $F_v = [4.67 \ 10.29]^T$ N s m⁻¹ e a percepire il carico con un errore medio di ± 0.2 N. E' inoltre in grado di conferire al robot una maggiore adattabilità (rispetto all'assenza del feedback di forza/corrente) durante l'interazione, aumentando così la sicurezza della macchina.

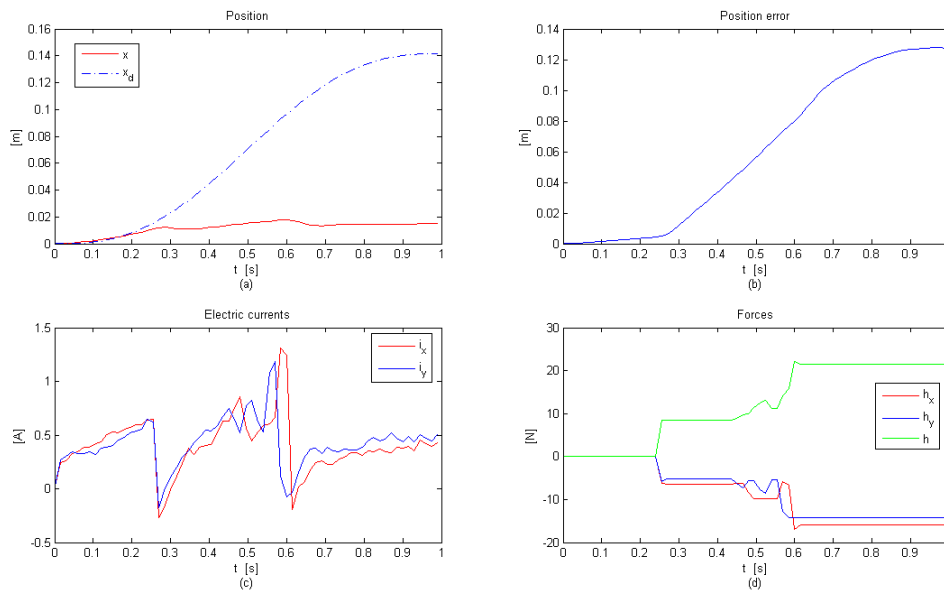


Figura 2: Traiettoria nello spazio operativo (a), errore di posizione (b), correnti ai motori (c) e forze stimate (d) durante un movimento punto-punto di 14 cm con l'applicazione di un peso di 2 kg all'organo terminale

REFERENCES

- [1] Armstrong-Helouvry B., P. Dupont, and C. Canudas de Wit, "A Survey of Models, Analysis Tools and Compensation Methods for the Control of Machines with Friction," *Automatica*, Vol. 30, No. 7, 1994, pp. 1083-1138.
- [2] C. B. Baril. Control of Mechanical Systems Affected by Friction and Other Nondifferentiable Nonlinearities. PhD thesis, Technion, Israel Institute of Technology, Haifa, Israel, 1993.
- [3] Alexandre Deneve, Said Moughamir, Lissan Afilal, Janan Zaytoon, "Control system design of a 3-DOF upper limbs rehabilitation robot", *computer methods and programs in biomedicine*, vol. 89, pp. 202-214, 2008
- [4] Xiaoli Li, Han-Xiong Li, Senior Member, IEEE, Xin-Ping Guan, and R. Du, "Fuzzy Estimation of Feed-Cutting Force From Current Measurement—A Case Study on Intelligent Tool Wear Condition Monitoring", *IEEE TRANSACTIONS ON SYSTEMS, MAN, AND CYBERNETICS*, Vol. 34, N. 4, November 2004
- [5] D. Accoto, F. Torchiani, E. Guglielmelli, L. Zollo, E. Cecchini, M. Orsini, "Dispositivo per la terapia motoria robot-mediata dell'arto superiore", *domanda di brevetto RM2008A000242 depositata il 6 maggio 2008*
- [6] Lorenzo Sciavicco, Bruno Siciliano, "Robotica Industriale Modellistica e Controllo di Manipolatori", McGraw-Hill, 2000

MODELLAZIONE E CONTROLLO DI UN ATTUATORE DIFFERENZIALE AD IMPEDENZA VARIABILE PER ROBOT ESOSCHELETRICI

Nevio Luigi Tagliamonte, Fabrizio Sergi, Dino Accoto, Giorgio Carpino, Eugenio Guglielmelli
Laboratorio di Robotica Biomedica e Biomicrosistemi, CIR, Università Campus Bio-Medico di Roma, Roma

Background

Requisito fondamentale dei robot per la neuro-riabilitazione dell'arto superiore è la capacità di garantire un'elevata adattabilità dell'assistenza durante lo svolgimento di un task riabilitativo e un'elevata trasparenza in fase di assessment. Per via di questo requisito, ma anche per ragioni di efficacia e di sicurezza, un ruolo cruciale è assunto, specialmente per ciò che riguarda i robot esoscheletrici, da giunti ed attuatori la cui impedenza meccanica, in termini di rigidità e smorzamento percepiti da un utilizzatore, possa essere regolata dinamicamente così da ottimizzare l'interazione fisica con la componente umana. In questo contesto è stato sviluppato un nuovo attuatore (VIDA, Variable Impedance Differential Actuator) in grado di fornire coppie elevate con la possibilità di regolare l'impedenza in uscita.

Materiali e metodi

Il sistema VIDA si compone di due attuatori, uno per la regolazione della posizione (PR) e uno per la regolazione dell'impedenza (IR) calettati sui due ingressi di un Harmonic Drive (riduzione 100:1) in configurazione differenziale. Allo scopo di garantire un'ottimizzazione energetica e una cedevolezza intrinseca del sistema, l'IR è realizzato mediante un Series Elastic Actuator (SEA) [1]. Entrambi i moduli incorporano un motore DC (Maxon EC-flat 90W), montato in serie a una molla torsionale (150 Nm/rad) nel caso dell'IR.

Il PR è controllato in posizione. La modulazione dell'impedenza, invece, è ottenuta mediante tre loop di controllo in cascata: a basso livello il modulo IR è controllato in velocità [2]; la misura della deformazione dell'elemento elastico è usata per un controllo di coppia [3]; un loop più esterno consente la regolazione dell'impedenza. Per valutare le prestazioni del VIDA è stato realizzato un modello dinamico del sistema.

Risultati

Le simulazioni di task di posizionamento hanno dimostrato la capacità del VIDA di comportarsi in modo visco-elastico, con regolazioni di posizione e impedenza simultanee ma indipendenti. Il limite di banda è dato dal controllore della coppia (3.4 Hz). Lo stesso tipo di comportamento è stato validato anche in presenza di disturbi di coppia atti a simulare un'interazione con la componente umana.

Conclusioni

Sulla scorta dei risultati ottenuti è possibile ottimizzare gli algoritmi di controllo e dimensionare il sistema (motori ed elemento elastico) in modo da ridurre al minimo dimensioni e peso rispettando i requisiti (coppia e impedenza) necessari a soddisfare numerose applicazioni di neuroriabilitazione dell'arto superiore.

Bibliografia

[1] G. A. Pratt and M. M. Williamson, "SeriesElasticActuators", IEEE/RSJ International

- Conference on Intelligent Robots and Systems, Pittsburg, PA, USA, 1995, pp. 399–406.
- [2] G. Wyeth, “Control Issues for velocity Sourced Series Elastic Actuators”, Australian Conference on Robotics and Automation, 2006.
- [3] H. Vallery, R. Ekkelenkamp, H. Van der Kooij, M Buss, “Passive and Accurate Torque Control of Series Elastic Actuators”, IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, San Diego, CA, USA, 2007, pp. 3534–3538.

ROBOTICS AND BOTULINUM TOXIN IN POST STROKE: A CASE REPORT

C.Delconte, R.Colombo*, M.A.Tommasi, A. Cavalli, D.Pianca, A.Mazzone*, G.Minuco*, F.Pisano

*Divisione di Neurologia Riabilitativa, *Servizio di Bioingegneria
Fondazione Salvatore Maugeri, I.R.C.C.S., Istituto Scientifico di Veruno (NO)*

We present a 44-year-old male patient affected by left pyramidal hemisyndrome as a consequence of previous head injury (2 years prior). At the upper limb, spastic hypertonia was present with limited functional use: moderate in the proximal and intermediate sites (modified Ashworth scale 2), marked distally (modified Ashworth Scale 3); voluntary flexion of the shoulder was extremely limited (10°); antigravity voluntary activity in abduction was possible for only 30°; antigravity flexion-extension of the elbow was complete; dorsal flexion of the wrist was possible only in the absence of gravity; voluntary movement of the fingers was absent.

The aim of the rehabilitation program was to improve the motor control and reduce hypertonia; thus the patient underwent sessions of neuromotor re-education (using a global approach according to notions of Bobath, Maitland and Mézières) and, due the presence of residual motility, a cycle of robot therapy (1) aimed at recovery of shoulder and elbow movement and strength.

At the end of the first 3 weeks we observed clinically an increase in the range of voluntary motion of shoulder flexion (30°) and abduction (50°) with a relative increase of strength (MRC from 2 to 3).

We subsequently infiltrated the patient with botulinum toxin (Dysport) in the brachial biceps (350UI), brachioradial (300UI), and deep flexor of finger (400UI) muscles (2). The patient continued with the robot treatment for another week under the myorelaxing effect of the toxin. During week 4 the motor tasks performed with the robot therapy were executed with greater speed and precision than in the preceding period (i.e. an increase was observed in the kinematic indexes relating to score, accuracy, and speed of movement) while at the clinical assessment the voluntary activity remained unchanged with respect to that registered at the end of week 3.

1 - Colombo R, Pisano F, Micera S, Mazzone A, Delconte C, Carrozza MC, Dario P, Minuco G. Assessing mechanism of recovery during robot-aided neurorehabilitation of the upper limb. *Neurorehabil Neural Repair*. 2008 Jan-Feb;22(1):50-63

2 - Miscio G, Del Conte C, Pianca D, Colombo R, Panizza M, Schieppati M, Pisano F. Botulinum toxin in post-stroke patients: stiffness modifications and clinical implications. *J Neurol*. 2004 Feb;251(2):189-96.

ROBOT-AIDED REHABILITATION IN SEVERE BRAIN INJURY

C.Delconte, F.Pisano, , D.Pianca, A.Mazzone*, Dario Carrozza Micera
G.Minuco*, R.Colombo*

Divisione di Neurologia, Fondazione “Salvatore Maugeri”, IRCCS, Veruno,(NO)

**Servizio di Bioingegneria, Fondazione “Salvatore Maugeri”, IRCCS, Veruno,
(NO)*

Techniques of robot-aided rehabilitation, based on the voluntary, repeated execution of motor acts, are now among the strategies available for motor recovery in patients with consequences of stroke or head injury. Our group has developed a robotic device (R) with two degrees of freedom for the treatment and evaluation of motor disturbances of the shoulder and elbow (1). The R-patient interaction consists of a handle, at the top of which a force transducer is fixed, that the patient must grip and shift in a horizontal plane by executing point to point reaching movements; the R evaluates interactively the movement and force exerted and if necessary (fatigue and/or weakness) intervenes to complete the task. We applied this device in a rehabilitation protocol in a group of 34 patients affected by a single cerebrovascular lesion compared to a control group of 13 subjects who underwent double physiotherapy treatment. The robot treatment was carried out in addition to conventional physical therapy for 3 weeks: twice daily for 5 days/week. All patients were evaluated with standardized clinical scales (Fugl-Meyer scale, MRC, Motor Status Score and Motor Power Score). The two groups resulted homogeneous at the baseline evaluation; comparing the values pre-post treatment for range of movement (ROM), no significant changes emerged in the control group excepting for shoulder flexion, but the robot group showed important improvements both in elbow flexion-extension and in shoulder abduction and flexion (with an average increase of 27° and 22° respectively) (2) . Comparing the two groups, a significant difference emerged, in favour of the robot group, both for flexion ($p \leq 0.005$) and abduction ($p \leq 0.02$) of the shoulder. These results suggest

that robot-aided systems have a positive effect and support the findings of other studies. There are various possible mechanisms underlying the motor recovery obtained with a robot-aided treatment: the coming back into play of perilesional areas rendered temporarily inactive by the acute injury, the activation of regions on the contralateral (healthy) hemisphere, the reorganization of synaptic connections.

1 - Colombo R., Pisano F., Micera S., Mazzone A., Delconte C., Carrozza M.C., Dario P., Minuco G. Robotic Techniques for Upper Limb Evaluation and Rehabilitation of Stroke Patients. *IEEE Trans on Neural Sys Rehab Eng.* Sept; 13, 3, pp. 311-324, 2005.

2 - Colombo R, Sterpi I, Mazzone A, Delconte C, Minuco G, Pisano F. Measuring changes of movement dynamics during Robot-aided neurorehabilitation of stroke patients. *IEEE Trans Neural Syst Rehabil Eng.* 2009 Aug 7.