

Un sistema robotico occhio-braccio per lo studio dei processi neurali sottostanti a compiti di reaching costruito presso il LARAL

Angelo Rega, Dimitri Ognibene, Onofrio Gigliotta, Gianluca Baldassarre

{angelo.rega, dimitri.ognibene, onofrio.gigliotta, gianluca.baldassarre}@istc.cnr.it

Laboratory of Autonomous Robotics and Artificial Life,
Istituto di Scienze e Tecnologie della Cognizione,
Consiglio Nazionale delle Ricerche (LARAL-ISTC-CNR),
Via San Martino della Battaglia 44, 00185 Roma

Introduzione

Lo scopo di questo scritto è illustrare gli aspetti generali di una demo di robotica organizzata in occasione del workshop WIVA3. La demo intende mostrare l'architettura ed il funzionamento di un sistema robotico occhio-braccio costruito presso il "LARAL - Laboratory of Autonomous Robotics and Artificial Life", un laboratorio di ricerca appartenente all'Istituto di Scienze e Tecnologie della Cognizione del Consiglio Nazionale delle Ricerche, situato a Roma.

Gli studi che saranno condotti con il sistema robotico

Il sistema robotico è stato costruito allo scopo di poter realizzare studi con modelli neurali dei processi sottostanti all'esecuzione da parte di scimmie di compiti di raggiungimento di target (*reaching*) mediante gli arti superiori, sulla base di informazioni visive (occhio). Questi tipi di compiti sono spesso condotti da gruppi di (neuro)scienziati interessati a studiare non solo i fenomeni comportamentali legati al *reaching* ma anche i processi neurali sottostanti ad esso. Questi studi sono particolarmente rilevanti per le indagini sul comportamento senso-motorio condotto nell'ambito della vita artificiale per due motivi. Il primo è che consentono di confrontare i dati sul comportamento dei modelli neurali con quelli sul comportamento delle scimmie, e questo è molto importante se i modelli utilizzati sono *embodied*, nel rispetto la "filosofia" della vita artificiale. Il secondo motivo è che questi studi forniscono anche importanti "vincoli" con cui formulare le assunzioni inerenti all'architettura ed agli algoritmi di apprendimento dei modelli neurali utilizzati.

La "filosofia" seguita per lo sviluppo del sistema robotico

Il sistema robotico è stato costruito presso il LARAL cercando di seguire una filosofia di sviluppo costruita sulla base della storia, degli interessi e delle competenze tecniche del gruppo di ricerca. Il gruppo di ricerca risulta avere una lunga e fortissima tradizione nel controllo con reti neurali e nello studio del comportamento in sistemi di vita artificiale (*embodied* e *situated*), che lo pone come leader di livello internazionale in questi settori. Tuttavia finora il gruppo ha condotto tali studi soprattutto attraverso robot simulati e robot commerciali completi (per es., KheperaTM, KoalaTM, PioneerTM, ed e-puckTM).

Il recente rafforzamento del LARAL avvenuto attraverso le risorse ottenute con progetti europei, e la parallela acquisizione di risorse umane con conoscenze e capacità con contenuto tecnico (per es., ingegneristico ed informatico) maggiore rispetto a quanto accaduto finora, ha creato le condizioni per un parziale cambiamento di strategia: l'inizio della "costruzione" di robot presso il laboratorio stesso. L'opportunità di questo cambiamento è legata al fatto che esso porta con se diversi vantaggi: a) possibilità di manipolare come variabili di studio vari aspetti del "corpo" dei sistemi studiati; b) abbassamento dei costi economici per disporre di sistemi robotici; c) possibilità di fronteggiare rapidamente in loco eventuali guasti dei sistemi utilizzati evitando lunghe

pause nelle attività di ricerca dovute al ricorso di assistenza esterna; d) acquisizione di conoscenze tecniche di più basso livello, e conseguente diversificazione del tipo di collaborazioni esterne possibili da parte del gruppo di ricerca; e) maggiore impatto, sia sulla comunità scientifica che sui mass media, delle ricerche effettuate.

Data la tradizione e gli interessi del gruppo si è deciso però di implementare questo cambiamento cercando di non “abbassare” troppo il livello di dettaglio degli interventi sull’hardware realizzati. Infatti poiché gli interessi del gruppo rimangono sul controllo e sullo studio del comportamento, ed i sistemi robotici rimangono uno strumento per la realizzazione di tali scopi, a fronte dei vantaggi detti si vogliono limitare al massimo i costi che la costruzione diretta dei robot comporta, ad esempio: a) necessità di acquisire conoscenze, skills e strumenti per costruire le parti elettroniche e le parti strutturali dei robot; b) lunghi tempi di realizzazione, e quindi notevoli risorse di tempo, da investire nella costruzione dei robot e nella soluzione di problemi “tecnici”.

Sulla base di queste considerazioni, la “filosofia” adottata per la costruzione del robot qui presentato, e per la costruzione di altri robot in futuro, è la seguente:

- **Principio della modularità e del “medio livello”:** più che *costruire* robot, il LARAL deve cercare di *assemblare* robot, utilizzando il più possibile componenti già disponibili sul mercato. Questo ha il vantaggio di abbassare i tempi di produzione e di richiedere meno competenze tecniche ed attrezzature più semplici. Per questo i pezzi utilizzati debbono essere smontabili, intercambiabili, e riasssemblabili con la maggiore facilità possibile. Il gruppo ha potuto già avere esperienza in passato con le potenzialità di questo principio lavorando con i kit robotici della Lego chiamati MindStormTM (questa strada aveva tuttavia molti limiti legati alla semplicità ed livello non professionale dei componenti disponibili nei kit).
- **Principio del possesso di competenze minime per la modifica a “basso livello” di hardware e firmware:** il principio della modularità e del medio livello indicato sopra deve comunque essere accompagnato dal possesso di un minimo di capacità di intervento al “basso livello”, sia in termini di conoscenze che di attrezzature disponibili (per es.: tester, saldatori, seghe e smerigliatrici automatiche e manuali, trapani a colonna, ecc.). Infatti questo comporta *pochi* costi aggiuntivi (in termini di conoscenze, tempo, ed attrezzature necessarie), ma unito alla modularità dei pezzi utilizzati aumenta *esponenzialmente* i gradi di libertà che si hanno per la realizzazione dei robot. Questo lo si è visto sia durante la costruzione della “base” del braccio robotico (vedi sotto) che soddisfacesse le esigenze del gruppo a partire da lamiere di alluminio e ferro, sia in passato dotando robot commerciali (es. PioneerTM e Lego MindStormTM) di apparati sensoriali customizzati (per es.: sensori radio e sensori ad infrarossi), sia creando interfacce di basso livello (via porta seriale) con il *firmware* delle schede elettroniche utilizzate, sia intervenendo direttamente a modificare il *firmware* (*firmware* dell’e-puck, ancora incompleto, *firmware* di schede di interfaccia con i sensori).
- **Principio della facilità d’uso e della diffusione e reperibilità commerciale:** I servo-motori, i pezzi passivi della struttura fisica, e le schede elettroniche utilizzate devono essere ampiamente utilizzate dalla comunità di robotica e facilmente reperibili nel mercato. Questo infatti è innanzi tutto indice di qualità e robustezza. Inoltre garantisce la facile e rapida reperibilità degli stessi presso fornitori locali (abbassamento dei tempi di ottenimento dei pezzi, abbassamento dei prezzi, semplificazione dei passaggi burocratici per l’acquisto). Infine, in particolare per le schede elettroniche di interfaccia tra i sensori/attuatori ed il computer, garantisce un’ampia disponibilità di informazioni, di software di controllo e di manualistica in internet, e di solito comporta l’utilizzabilità attraverso programmi scritti con i più diffusi linguaggi di programmazione (per es.: C++ e Java).
- **Principio della robustezza:** i pezzi utilizzati devono essere resistenti all’usura, agli urti, ecc. (nell’esempio qui riportato si è deciso di usare i servo-motori in lega metallica piuttosto che in plastica). Questo garantisce maggiore durata dei robot e minori interventi di manutenzione. La robustezza è anche richiesta dall’utilizzo dei robot in compiti che richiedono lunghi processi di apprendimento, legati agli interessi di ricerca del gruppo.

Il sistema robotico occhio-braccio costruito dal LARAL

Il sistema occhio-braccio costruito presso il LARAL è mostrato in Figura 1. I componenti utilizzati per la costruzione del braccio sono stati acquistati presso *RobotItaly* (un fornitore di robot operante in Roma: <http://www.robot-italy.com/>; molti dei pezzi utilizzati sono disponibili anche presso buoni negozi di modellismo) e rispondono ai requisiti di modularità, semplicità e robustezza indicati sopra (vedi Figura 2). In particolare le staffe, i tubi, la viteria ed altri accessori utilizzati per la struttura del robot, e per sostenere i servo-motori, fanno parte della serie *Erector Set* della *Lynxmotion* (<http://www.lynxmotion.com/>). I servo-motori utilizzati sono digitali e sono prodotti dall'*Hitec*. Essi sono controllabili in termini di angoli desiderati, e sono in grado di ritornare l'informazione sull'avvenuta esecuzione del comando a loro impartito attraverso la stessa scheda che li controlla e che è in grado appunto di interpretare le informazioni provenienti dagli effettori elettronici (vedi sotto). La scelta di utilizzare servomotori digitali è dovuta a particolari caratteristiche che essi possiedono: capacità di mantenere posizioni con precisione millimetrica, peso estremamente contenuto (60gr.), ottimo rapporto coppia/voltaggio richiesto (coppia kg*cm di 12.1 kg consumo 6Volts dc), presenza di un microprocessore servointegrato che controlla la linearità della velocità, lo sforzo, e il mantenimento costante dell'ultima posizione che gli è stata comandata.

Altra caratteristica interessante che abbiamo considerato nella scelta dei servi digitale è quella di poter utilizzare un apposito programmatore prodotto dalla Hitec HFP-10 che permette la modifica delle impostazioni di fabbrica del servo, in modo da poter agire su particolari parametri altrimenti immutabili via scheda elettronica:

- Regolazione dell'escursione (gradi) e del punto centrale (stop)
- Direzione di rotazione
- Larghezza della Dead Band
- Failsafe
- Velocità Massima (riduzione soltanto)
- Reset del servo alle specifiche della casa

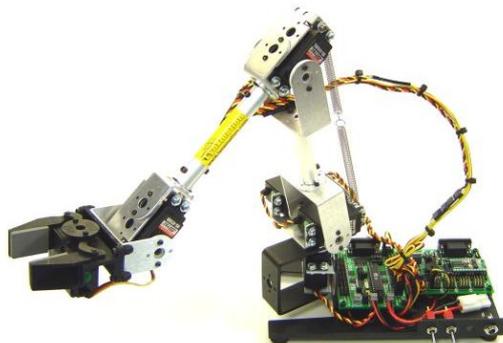


Figura 1. Il sistema robotico costruito nel LARAL.

La base del braccio robotico, formata dal supporto dell'intero braccio robotico (dove è anche fissata la scheda di controllo), il sostegno del primo servo-motore della "spalla" del braccio (quello diretto a consentire la rotazione del braccio sul piano orizzontale), e le strutture che collegano questo alla coppia di due servo-motori della spalla (quelli che consentono l'elevazione del braccio), è stata costruita tagliando delle piattine di metallo o modificando opportunamente alcune staffe (vedi Figura 1).

La scheda elettronica utilizzata per controllare i servo-motori è una SSC32 (serial servo controller), è distribuita dalla *Lynxmotion*, una delle schede più diffuse ed utilizzate per questo scopo e basata su un altrettanto famoso microcontroller Atmel ATMEGA8-16PI (vedi Figura 1.1). Essa è in grado di controllare 32 servo-motori utilizzando fino a 3 tipi di sorgenti di alimentazione differenti e permettendo, quindi, l'utilizzo combinato di diversi servomotori (Es. nel griep del

braccio vengono utilizzati servi che richiedono un'alimentazione differente da quelli che compongono l'intera struttura). La scheda elettronica è inoltre dotata di una memoria a bordo di tipo 24LC32P EEPROM (Electrically Erasable and Programmable ROM, è una memoria ROM, ma a differenza di una semplice ROM è cancellabile e riscrivibile, mediante opportune tensioni e correnti applicate ai MOSFET, è estendibile fino ad 1024 KB ed in teoria potrebbe ospitare direttamente a bordo il controllore del sistema). La scheda è collegabile ad un computer via porta seriale, e controllabile o attraverso un programma (per es. scritto in C++) che usa le DLL che vengono fornite con la scheda stessa, o attraverso un programma (per es. scritto in C++ o Java) che dialoga direttamente con la porta seriale.



Figura 1.1. Il sistema robotico costruito nel LARAL.

L'“occhio” del sistema è costituito da una comune web-cam digitale (320×240 pixels, RGB) montata sopra il braccio robotico in modo da poter osservare l'intero campo di azione dello stesso.

Il programma, il compito e la rete neurale utilizzati per testare il braccio

Il sistema occhio-braccio è stato testato con un programma di controllo scritto in Java. Il task utilizzato per il test, e mostrato nella demo, prevede la rilevazione del baricentro una pallina colorata su sfondo bianco da parte della web-cam, ed il *reaching* da parte del braccio (o più precisamente da parte dell'estremità del secondo segmento del braccio, d'ora in poi chiamata “mano”) della pallina stessa. Per facilitare il compito, il movimento del braccio è stato limitato agli spostamenti della mano sul piano orizzontale. A questo scopo i comandi mandati al braccio da parte del controllore sono stati pensati in termini di coordinate polari desiderate della mano (gli angoli effettivi del braccio corrispondenti a tali coordinate, cioè i comandi effettivamente mandati ai servomotori, sono stati generati mediante un apposito calcolo trigonometrico).

L'acquisizione dell'immagine dalla web-cam è stata implementata mediante le librerie open-source Java Media Framework 2.1.1. La determinazione del baricentro della pallina nell'immagine è stata effettuata dapprima computando i pixel aventi una distanza nello spazio RGB dal colore della pallina sotto una certa soglia (il programma consente il campionamento di colori sull'immagine direttamente attraverso il mouse) e successivamente calcolando le medie delle coordinate x e delle coordinate y di tali pixel.



Figura 2. I pezzi utilizzabili per la costruzione di vari robot, ed in parte usati per la costruzione del braccio robotico: servomotori, staffe ad U, sostegni dei servomotori, tubi di struttura di varia misura, basi per il fissaggio dei tubi alle staffe. Tutti i pezzi, con l'eccezione dei servomotori, sono in lega di alluminio, molto leggeri, resistenti e facilmente assemblabili e modificabili con un'attrezzatura molto semplice.

Il controllore del braccio utilizzato per risolvere il compito è costituito da una rete neurale a due strati. Il primo strato della rete è costituito da una mappa 2D di 20×20 neuroni con attivazione Gaussiana codificanti la posizione della pallina sul piano sulla base di una “codifica per popolazione”. Lo strato di output della rete è costituito da 3 neuroni codificanti direttamente la postura desiderata (angoli desiderati) del braccio. La rete neurale è stata inizialmente addestrata (prima off-line sulla base di un semplice simulatore del braccio, e poi “rifinita” in reale) ad associare alla posizione x-y della propria “mano” (a cui era stata appositamente attaccata la pallina) la postura ad essa corrispondente. In fase di test la pallina è mossa dallo sperimentatore sul piano di lavoro del braccio sotto l'occhio del sistema: il braccio tende allora a produrre la postura che porta la mano sopra la pallina, cioè a raggiungere il target.

Conclusioni

Il sistema robotico realizzato mostra come la “filosofia” adottata per la sua costruzione, basata sulla modularità ed un livello intermedio di azione (piuttosto “assemblaggio” dei pezzi), ed inoltre basata sulla reperibilità, diffusione, robustezza e facilità d'uso dei pezzi utilizzati, è effettivamente utilizzabile da parte di laboratori di robotica come il LARAL che hanno il loro interesse principale nello studio del comportamento con l'approccio della vita artificiale. In effetti il grado di successo raggiunto è mostrato dai contenuti costi economici del sistema (800 euro per i componenti, 200 euro per l'attrezzatura), e dal limitato tempo uomo necessario per la sua realizzazione (2 mesi per il braccio, 2 settimane per la creazione del software di acquisizione dell'immagine, 1 mese per la creazione della rete neurale e per la messa a punto di tutto il sistema). Rispetto alla qualità finale del sistema realizzato, ovviamente inferiore a sistemi commerciali, osserviamo che essa costituisce anche una sfida interessante per la costruzione di sistemi di controllo neurali veramente adattativi e robusti rispetto al rumore, alla variabilità ed alle piccole instabilità del sistema come quelli naturali.