

- *The BabyBot humanoid project*
- *Dialogo con Margherita Hack*
- *Deep Injection*
- *ProgettoMose*
- *Trusted Computing*

# Albert

*about engineering*

AVVERTENZE: Questo sito è un sito di informazione. Il sito non è un sito di informazione. Il sito non è un sito di informazione. Il sito non è un sito di informazione.



le zone periferiche, di scarso interesse, senza ledere la qualità dell'immagine dell'oggetto fissato che è al centro del campo visivo. Per localizzare gli oggetti il BabyBot può anche avvalersi di due "orecchie", grazie alla tesi di laurea di Lorenzo Natale. Così come la visione deve avvalersi di due occhi per ricavare la distanza dell'oggetto osservato, anche per la localizzazione sonora occorrono due sensori. Gli animali capiscono da che direzione giunge un suono perché questo arriva prima ad un orecchio e, solo dopo un certo ritardo, all'altro. Misurando questo ritardo si può capire la provenienza orizzontale di un suono. Ma come è possibile comprendere anche la provenienza verticale? Infatti, essendo le orecchie posizionate sullo stesso asse orizzontale, il suono le raggiunge entrambe contemporaneamente. La soluzione a questo problema è arrivata dallo studio di un animale notturno per cui i suoni hanno una grande importanza: il barbagianni. Si è osservato che questo uccello ha delle piume direzionate intorno alle orecchie in modo da "disassarle" per riuscire così a ricavare anche la posizione verticale. Allo stesso modo le orecchie del BabyBot hanno direzioni verticali differenti.

#### Movimento:

Il robot può muovere la testa in molti modi, anche ridondanti tra loro: gli occhi possono muoversi insieme secondo l'asse verticale e indipendentemente secondo l'asse orizzontale, per permettere la convergenza verso uno stesso obiettivo. Il collo può ruotare e può inclinarsi verticalmente. Quando il BabyBot viene attirato da un oggetto si gira per fissarlo: esattamente come fa un essere umano, il robot ruota prima gli occhi, che hanno inerzia minore. Contemporaneamente inizia a ruotare nella stessa direzione anche la testa, con un movimento più lento. Il risultato è un movimento complessivo estremamente realistico.

Un'altra particolarità del robot è la presenza di un sensore di accelerazione posto proprio dietro alla testa. Questo sensore ricalca la funzione dell'apparato vestibolare degli essere umani: grazie a ciò i muscoli degli occhi, con movimenti indipendenti dalla volontà, riescono a mantenere stabile l'immagine, controruotandoli in funzione di tutti i movimenti della testa, anche di quelli dovuti a forze esterne e quindi non comandati dal cervello. Questo apparato è fondamentale soprattutto nei bambini perché indispensabile all'apprendimento: i bambini quando vengono portati in braccio vengono "sballottati". Senza questo apparato al cervello non arriverebbero mai immagini stabili, senza le quali

numerose problemi in fase di apprendimento. La presenza di questo sensore alleggerisce notevolmente il carico di calcoli che devono essere eseguiti dal "cervello": la simulazione di questo apparato via software sarebbe infatti molto onerosa.

#### Elaborazione:

I segnali acquisiti vengono poi elaborati da quattro PC collegati via Ethernet. Il modello di programmazione seguito è quello del DCOM (Distributed Component Object Model). Per gestire il BabyBot occorrono molte funzioni a strati diversi: così come nel progettare un circuito elettronico si inseriscono componenti che realizzano

particolari operazioni, così gli oggetti software possono essere considerati come dei componenti base con cui costruire programmi più avanzati. A chi utilizza tali

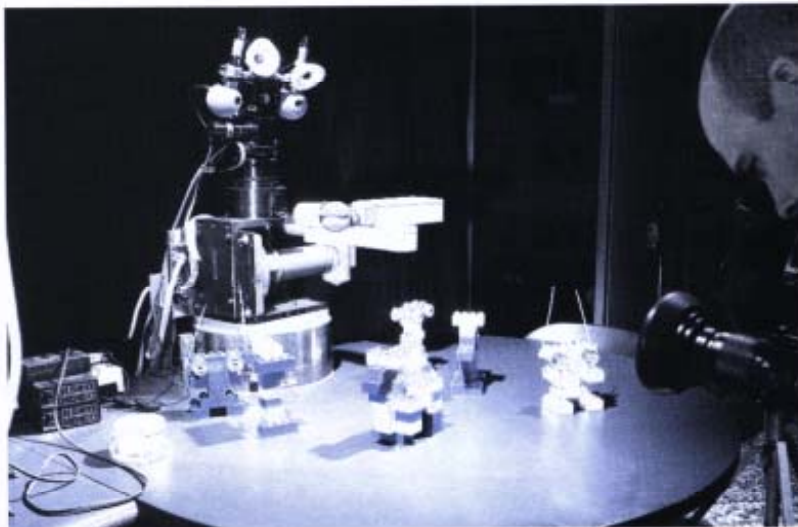


oggetti interesserà solo cosa tali oggetti fanno, e non come lo realizzano. Questi risultati, propri della programmazione ad oggetti, vengono estesi dallo standard DCOM, rendendo possibile l'utilizzo equivalente di oggetti locali e remoti, in modo che un processo possa richiedere ad un altro PC di eseguire delle funzioni e di restituire via rete il risultato. Allo stato attuale BabyBot ha un PC dedicato all'elaborazione dei segnali ottici, uno al controllo dei movimenti della testa e uno per il movimento del braccio. Il quarto PC serve per il monitoraggio.

#### "Vita" del robot:

La scomposizione un po' "ingegneristica" delle parti del

# The BabyBot humanoid project



Il robot che  
impara come  
un bambino

di *Claudio Orlandi*  
*c\_orlandi@tin.it*  
e *Nicola Truschi*  
*nicola.truschi@inwind.it*

**I**l Lira-Lab è un laboratorio dell'Università di Genova che si occupa principalmente di visione artificiale e di coordinazione motoria. Una delle particolarità di questo laboratorio è l'approccio utilizzato nella loro ricerca. In una delle prime pagine del loro sito web (<http://www.lira.dist.unige.it/>) si leggono le seguenti domande:

"Possiamo verificare ipotesi sul funzionamento del cervello realizzando modelli biologicamente plausibili su sistemi fisici come i robot?"

"Come possiamo progettare robot più efficienti? È possibile costruire un robot realmente 'human-like'?"

Il lavoro di questi anni del Lira-Lab si è infatti appoggiato agli studi di molti biologi e neuroscienziati di altri atenei, italiani e non. A loro volta tali studiosi sfruttano i risultati del Lira-Lab come conferme delle loro ricerche e delle loro ipotesi sul funzionamento dei modelli biologici studiati. Per questo nel '96 il Prof. Giulio Sandini, con

l'aiuto di tesisti e dottorandi, ha costruito un robot (chiamato "BabyBot"), che da allora continua a "crescere" acquisendo nuove capacità e funzionalità. Lo scopo principale del BabyBot è il "reaching": raggiungere con il braccio meccanico oggetti particolari che entrano nel suo campo visivo. Vedremo come dietro a un così semplice problema del mondo biologico si celino molte interessanti attività di ricerca.

#### Componenti del robot:

Il BabyBot è composto da una base rotante, su cui sono montati un braccio meccanico e la testa. È sicuramente questa la parte più interessante, di cui analizzeremo i dettagli:

#### I sensi del robot:

Sulla testa sono montati i sensori del robot: due "orecchie" e due "occhi". Attraverso la presenza di due telecamere e con un po' di geometria, il robot è in grado di ricavare la posizione in coordinate cartesiane dell'oggetto fissato rispetto a se stesso.

Le telecamere utilizzate dal BabyBot sono di tipo radiale. Questo significa che i pixel, invece di essere disposti con densità costante a forma rettangolare, sono disposti secondo circonferenze concentriche con lo stesso numero di pixel. Questo fa sì che al centro, ove si trova l'oggetto di nostro interesse, ci sia una maggiore risoluzione mentre all'esterno, dove le circonferenze hanno raggio maggiore, avremo una minore risoluzione. Questo rispecchia il funzionamento delle retine animali, e ottimizza l'impiego di risorse computazionali: il "cervello" elabora una quantità minore di informazioni per



piuttosto che ad avere dal principio delle telecamere con risoluzione elevata. Questo è in accordo con la teoria dello sviluppo armonico: a cosa servono occhi precisi se il braccio è ancora goffo e impreciso?

#### Sviluppi:

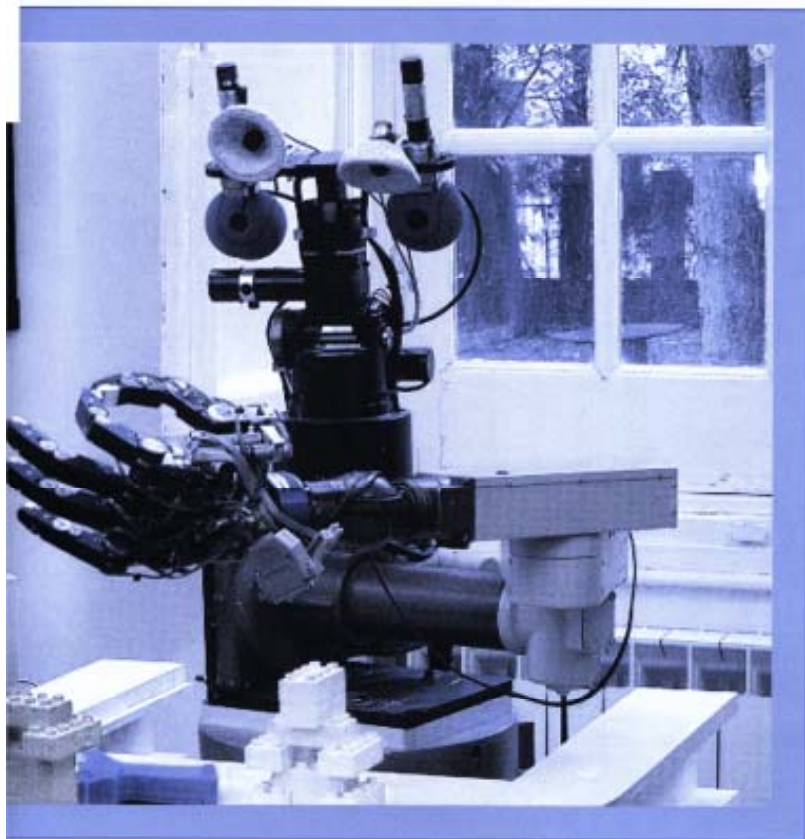
Gli studi legati al BabyBot non sono ancora conclusi: è "cresciuto" in questi anni (le orecchie non erano presenti nella prima versione, che non utilizzava neanche i sensori radiali nelle telecamere) e continua a farlo: da poco è stata aggiunta una mano robotica. Più di una tesi è in preparazione su argomenti legati al BabyBot; una particolarmente interessante è quella di Matteo Schenatti. Dallo studio dei sistemi nervosi si è scoperta la presenza di alcuni neuroni che sono stati chiamati "Mirror". La particolarità di questi neuroni è che si attivano sia quando vediamo compiere un'azione sia quando siamo noi a compierla. Non sono quindi

né dei neuroni esclusivamente motori, né esclusivamente sensoriali: si tratta invece di neuroni legati all'imitazione e, quindi, all'apprendimento. Si è inoltre visto che l'attivazione di tali neuroni è tanto più forte tanto più chi compie l'azione è autorevole nei confronti del soggetto che sta apprendendo: così come un bambino impara quello che sa dall'osservazione e dal rapporto con gli adulti, il BabyBot potrebbe imparare ad usare la sua nuova mano dall'osservazione degli uomini. Tra questi neuroni Mirror ce ne sono infatti alcuni che discriminano il modo con cui la mano si muove per afferrare un oggetto. Per il BabyBot si pensa di schematizzare in tre classi di "grasping" (presa): power grasp, ad esempio afferrare una sfera, e due tipi di precision grip: il primo solo con l'opposizione di indice e pollice e con le altre dita chiuse, come su una sferetta; il secondo che invece usa tutte le punte delle dita, come su un piccolo parallelepipedo.

## ■ RETI NEURALI

Le reti neurali, utilizzate come meccanismo di apprendimento dal BabyBot, sono dei modelli matematici che "copiano" il funzionamento del cervello. Così come il cervello è composto da centinaia di miliardi di neuroni (unità molto semplici e relativamente "stupide" se considerate singolarmente), le reti neurali utilizzano una rete di "neuroni artificiali", strettamente interconnessi tra di loro per elaborare parallelamente l'informazione. Un neurone biologico acquisisce dall'esterno segnali attraverso le sinapsi, li elabora e fornisce un risultato sull'assone. Allo stesso modo i neuroni artificiali effettuano funzioni matematiche molto semplici sui segnali in ingresso (somme pesate, funzioni a soglia...) e forniscono l'uscita agli altri neuroni.

Le reti neurali si differenziano per topologia e regole di apprendimento. Il principio di base è che l'informazione non è centralizzata ma è distribuita sui pesi delle connessioni tra i neuroni di tutta la rete, così da guadagnare in robustezza (il guasto di un'unità viene riassorbito dalle altre), dinamicità (si possono aggiungere o rimuovere unità) e velocità (segnali complessi, come quelli visivi, vengono elaborati parallelamente da milioni di neuroni). Le reti usate per il BabyBot sono delle "Growing neural gas network", che permettono di inserire/rimuovere neuroni al fine di minimizzare gli errori.



<http://albert.firenze.net>



BabyBot che abbiamo appena fatto non rispecchia però l'intuizione e lo spirito che guida il lavoro del Lira-Lab. Il BabyBot non è stato progettato "a pezzi": nel '96 presentava già quasi tutte le parti che ora lo compongono. Al Lira-Lab si è scelto di procedere, analogamente a quanto accade nell'uomo, secondo un sviluppo "armonico" dell'intero sistema, piuttosto che concentrarsi sulle singole parti, che dovrebbero poi essere "montate" insieme con notevoli difficoltà. Non ci si può infatti preoccupare del risultato a prescindere da come esso sia stato raggiunto. Al Lira-Lab sembra anzi più importante questo secondo aspetto: un bambino impara ad usare i suoi arti via via che questi crescono e si irrobustiscono: sarebbe inutile un corpo completamente sviluppato se il cervello non fosse ancora in grado di utilizzarlo al meglio. Ma andiamo con ordine: all'"avvio" il robot ha a disposizione solo l'algoritmo di apprendimento e alcuni movimenti "innati" degli occhi che gli permettono

di calibrare lo sguardo. Questo succede anche ai bambini che compiono movimenti innati, come ad esempio la tendenza a muovere il braccio nella direzione dello sguardo o a stringere il pugno quando sentono qualcosa sul palmo della mano. Dopo questa prima fase di calibrazione, al BabyBot vengono presentati degli oggetti che attirano la sua attenzione (per contrasto di colore con lo sfondo o perché in movimento): il BabyBot orienta gli occhi e la testa per centrare l'oggetto nel suo campo visivo e contemporaneamente inizia a muovere il braccio nella direzione dello sguardo, come aveva appreso in precedenza o secondo dei valori "innati". Sicuramente questo movimento non sarà preciso e mancherà il bersaglio. Allora il BabyBot, disinteressandosi dell'oggetto, osserverà il suo braccio per calcolare l'errore commesso e "imparare" correggendo il tipo di movimento da compiere per raggiungere quella posizione. Questo tipo di controllo

dell'apprendimento del braccio è stata una parte della tesi di Giorgio Metta, mentre la parte relativa alla predizione del movimento è ad opera di Carlos Beltran. L'apprendimento viene effettuato attraverso delle reti neurali (vedi box) o, in fase di test, attraverso delle look-up table, più semplici da monitorare e che permettono di essere modificate dall'esterno con maggiore semplicità. Come risultato dell'apprendimento, dovuto alle proprietà delle reti neurali, avremo una maggiore precisione nei punti "visitati" più di recente, ma anche la capacità di muovere il braccio in un punto che non è mai stato visitato in fase di apprendimento con una buona approssimazione. Un risultato molto interessante a cui sono giunti al Lira-Lab è che il BabyBot apprende meglio come muovere il braccio se all'inizio la risoluzione delle telecamere è inferiore, e questa viene poi man mano aumentata durante la fase di apprendimento,

