

La telerobotica si sveste... dell'infrastruttura

La telerobotica, sfruttando le scienze ingegneristiche, cognitive e le neuroscienze, evolve in e-robotic utilizzando il Web come infrastruttura di collegamento

MATTEO MARINO

La scienza robotica costituisce il ramo della cibernetica che si occupa di studiare, progettare e realizzare le applicazioni robotizzate.

Nell'accezione più comune del termine, i robot costituiscono tutti gli apparecchi automatici e meccanici programmabili che, per la loro genericità, sono utilizzati ormai da anni in tutti i settori. La cibernetica è infatti una scienza trasversale che oggi penetra gli ambiti più disparati determinando l'automatizzazione dei processi, sostituendo o coadiuvando l'uomo in numerose attività. L'idea di sfruttare macchine automatiche per effettuare lavori ripetitivi o pericolosi al posto dell'uomo è antica, tanto che il termine robot deriva da un dramma dello scrittore ceco Capek che citò gli automi in uno dei suoi componimenti all'inizio del secolo scorso. L'evoluzione che ha subito questa disciplina negli ultimi venti anni è sorprendente e la diffusione dei robot è diventata capillare influenzando sensibilmente sulla vita di tutti i giorni, dalla medicina all'industria. Se il '900 ha rappresentato il 'secolo delle macchine', quello appena iniziato si preannuncia come quello 'delle mac-



Telegarden, un esempio di applicazione di e-robotic

chine intelligenti' che, dotate di sistemi di calcolo e processori evoluti, sono in grado di elaborare i dati in tempo reale emancipando così gli automatismi meccanici in automi veri e propri. Di questo sono convinti Gianmarco Verruggio e Gabriele Bruzzone del Robotlab (gruppo di Robotica dell'Istituto degli studi sui sistemi intelligenti per l'automazione - Consiglio Nazionale delle Ricerche -

Sezione di Genova), la cui collaborazione ci ha permesso di approfondire la conoscenza del ramo della telerobotica via Internet, sia attraverso le considerazioni teoriche e di carattere generale forniteci, sia mediante l'approfondimento riguardante la sperimentazione della e-robotic in campo.

Lo sposalizio delle scienze

La robotica poggia il proprio sviluppo su diverse discipline ingegneristiche come la meccanica, l'automatica, l'elettronica ma non può prescindere, nello stesso tempo, dalle neuroscienze o dalle scienze cognitive attraverso le quali genera il substrato per prodursi in applicazioni specialistiche. Gianmarco Verruggio conferma che la robotica si avvale delle conoscenze specifiche in funzione degli ambiti nei quali le applicazioni robotizzate devono essere impiegate, ponendo come esempio eclatante la medicina. Egli, inoltre, non esclude dal coro delle scienze utili alla robotica gli studi di confine, come le scienze umanistiche della filosofia, della psicologia e della sociologia in quanto utili alla comprensione delle difficoltà legate alla futura accettazione delle macchine automatiche programmate da parte dell'umanità. La natura ha sempre fornito modelli utili agli studiosi e agli scienziati per la generazione delle macchine, ma la robotica è stata in grado di evadere completamente dagli schemi d'ideazione tradizionali, tanto da far convergere in dispositivi unici sia i concetti di base, sia la moderna intelligenza artificiale per lo sviluppo di autentici automi dotati di autoapprendimento.

La telerobotica si evolve

La telerobotica ha avuto il suo sviluppo grazie all'unione delle conoscenze robotiche e delle telecomunicazioni portando alla generazione di applicazioni robotizzate controllate a distanza in svariati settori. Le applicazioni di robot controllati via telematica sono innumerevoli in campo aerospaziale, in medicina, per il comando e controllo di sonde semoventi, per la movimentazione di dispositivi chirurgici o genericamente nei settori dove le condizioni di lavoro sono proibitive per l'uomo. Ne sono un esempio i robot teleguidati a distanza utilizzati per il disinnesco di ordigni pericolosi, i sistemi chirurgici robotizzati o le apparecchiature per la manipolazione dei materiali in condizioni ostili, come in presenza di radioattività. La telerobotica è una disciplina consolidata che ha costituito le fondamenta per una nuova interpretazione della cibernetica in grado di utilizzare Internet come infrastruttura di comunicazione.

L'evoluzione della telerobotica è, infatti, la robotica via Internet che, detta anche e-robotic, poggia le basi proprio sul Web per effettuare il collegamento e il trasferimento remoto delle informazioni. La nuova disciplina si presentò agli occhi del mondo scientifico nel 1994 attraverso la concretizzazione del Progetto Mercury seguito da una serie di progetti avveniristici come Telegarden, Telerobot o Romeo scaturito dall'impegno italiano del Robotlab di Genova.

Internet nella robotica

La e-robotic si propone di determinare il controllo di dispositivi robotizzati remoti attraverso Internet. La svolta avvenuta in seno alla telerobotica è determinata, infatti, dalla facoltà che l'infrastruttura di rete offre per controllare le apparecchiature attraverso la navigazione mediante un Web browser. Il secondo elemento distintivo della robotica via Internet, che la rende universalmente utile e relativamente economica, è la condivisione universale dei mezzi robotizzati resa possibile dalla capillarità della rete informatica e dalla semplicità delle interfacce di comunicazione rispetto ai sistemi dedicati applicati alla robotica convenzionale. La e-robotic sfrut-



Romeo immerso nelle acque dell'Artico durante la sperimentazione

Il varo di Romeo nel Mare Artico durante la sperimentazione da parte del Robotlab nel corso del 2002

elevato livello di autonomia per le condizioni che ancora oggi caratterizzano le trasmissioni Internet. Il Web non è ancora in grado, infatti, di determinare trasmissioni scevre di ritardi che potrebbero determinare la sospensione del servizio di controllo da parte delle centrali. La trasmissione continuativa delle trasmissioni tra sistema robotizzato e dispositivi di controllo si rende necessaria per istitu-

ta il Web come infrastruttura di collegamento aprendo le porte della cibernetica ad applicazioni fino a pochi anni fa considerate improponibili. Il controllo simultaneo di apparecchiature da parte di intere comunità di utenti dislocate in modo disuniforme costituisce, infatti, un'opportunità significativa. Le considerazioni riportate trovano inoltre riscontro nell'evoluzione dei sistemi di trasmissione che, attraverso l'espansione continua della banda, forniranno agli utenti della rete dispositivi in grado di comandare e controllare da un semplice palmare sistemi robotizzati senza l'ausilio di alcuna infrastruttura di comunicazione dedicata.

I requisiti

I requisiti indispensabili perché possa essere perseguito un progetto di movimentazione robotica attraverso Internet sono un livello elevato di autonomia dei dispositivi robotizzati, un flusso minimo di informazioni tra il sistema di controllo e il controllato e la creazione di condizioni di percezione. Gli e-robot devono possedere un

tuire idonee condizioni alla localizzazione continua dei sistemi in movimento. Il terzo requisito, definito in gergo scientifico 'telepresenza', costituisce la capacità del sistema di controllo di fornire una realistica percezione della realtà. Attraverso gli studi sulla realtà virtuale è stato possibile verificare che tanto più il sistema di telecontrollo è in grado di ridurre la percezione della distanza tra operatore e sistema controllato, tanto migliori possono essere i risultati complessivi di controllo. Il circondamento sensoriale è un argomento caro agli esperti del settore e costituisce la facoltà dei sistemi di immergere l'operatore in una realtà prossima a quella in cui il robot è inserito per ottenere il massimo dell'efficienza nel controllo. Il rispetto dei requisiti suddetti non può prescindere, inoltre, da un'attenta valutazione dell'efficienza dei canali trasmissivi che, in funzione dei mezzi fisici con cui sono stabiliti, può essere influenzata sensibilmente dai disturbi. L'analisi riguardante l'efficacia e l'efficienza della comunicazione tra sistema di controllo e robot impone anche un'attenta misura dell'effetto del ritardo nelle trasmissio-

ni che, in funzione sia del mezzo utilizzato, sia della distanza reale che separa le apparecchiature, può essere significativa inficiando anche irreparabilmente i risultati. Tutti gli elementi citati evidenziano come i robot impiegati nel settore della e-robotic debbano essere assolutamente dotati di un elevato livello d'intelligenza, oltre a essere coadiuvati da stazioni di comando remote per supplire ai ritardi trasmissivi.

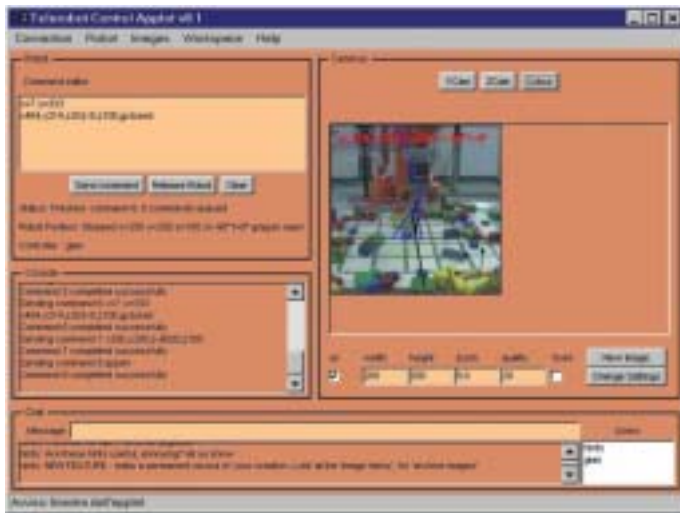
Programmare un'intelligenza adeguata

Le considerazioni sovrastanti hanno sottolineato come i robot impiegati nella robotica via Web debbano essere sempre dotati di un'intelligenza adeguata, dove con questa terminologia si intende l'insieme delle capacità di un sistema di lavorare in autonomia. Le colonne sulle quali la programmazione dell'intelligenza dei robot deve poggiare sono: la percezione del mondo circostante, il modello, la valutazione delle condizioni e l'azione. La percezione delle condizioni che circondano la macchina è costituita dalle facoltà del robot di comprendere la situazione reale in cui è immerso, determinando una fotografia istantanea prossima alla realtà circostante grazie all'attività di confronto con i modelli attesi. Il modello è intimamente legato alla capacità di percezione della realtà da parte del robot e solitamente la programmazione di tali macchine consente di aggiornare in tempo reale il modello della realtà per mantenere aggiornato il sistema rispetto ai cambiamenti imprevisti che si possono verificare. La valutazione e l'azione sono i processi attraverso i quali gli e-robot stimano la rosa delle attività da intraprendere dopo aver confrontato gli elementi percepiti con il modello. Le macchine determinano tali attività attraverso i sensori e gli attuatori, che in applicazioni degne di eco scientifica sono solitamente in numero rilevante, collegati tra loro mediante un complesso schema architetturale di controllo che si concretizza in idonei moduli software e hardware.

L'architetto del controllo

La struttura gerarchica dell'architettura di controllo dei robot è tipicamente di tipo piramidale; la base costituisce la fonte operativa, mentre il vertice determina la strategia complessiva di analisi e controllo. La struttura architetturale piramidale dei sistemi robotizzati intelligenti utilizzati nella disciplina della e-robotica è infatti suddivisa nei tre livelli alto, basso e intermedio. Essi si occupano rispettivamente di organizzare e gestire le informazioni e le attività da intraprendere (livello organizzativo), di eseguire il controllo automatizzando i comandi (livello esecutivo) e di coordinare e pianificare le diverse attività in funzione dello stato della macchina e delle priorità imposte (livello coordinativo). La programmazione dei robot ai diversi livelli architettureali è profondamente differente sia nella forma che nei contenuti; la presenza di un livello in grado di pianificare la tattica distributiva delle mansioni determina un collegamento continuo tra il vertice e

la base. Tale strato intermedio elimina le difficoltà derivanti dalla disomogeneità di linguaggio di programmazione e di struttura hardware. Scendendo nel dettaglio della gestione della programmazione dei robot ai due livelli estremi si può senza dubbio affermare che l'intelli-



La connessione a Romeo attraverso Internet è concessa a tutti gli utenti dotati di una piattaforma di calcolo e un semplice Web browser

genza artificiale che caratterizza il livello organizzativo si basa su processi elaborativi asincroni e su linguaggi simbolici nati per la ricerca di soluzioni di tipo logico che non determinano analisi temporali determinabili a priori. Il livello esecutivo, che per sua natura ha il compito di controllare e comandare gli apparati fisici delle macchine, necessita invece di processori assolutamente sincroni che permettano di valutare con precisione la tempistica delle attività. La sostanziale differenza tra la natura dei due processi elaborativi rende necessaria l'introduzione di un livello tattico nella struttura gerarchica dell'architettura di controllo in grado di far comunicare efficacemente i due strati estremi attraverso un profilo ibrido con caratteristiche comuni a entrambe le strutture.

E-robotic in pratica

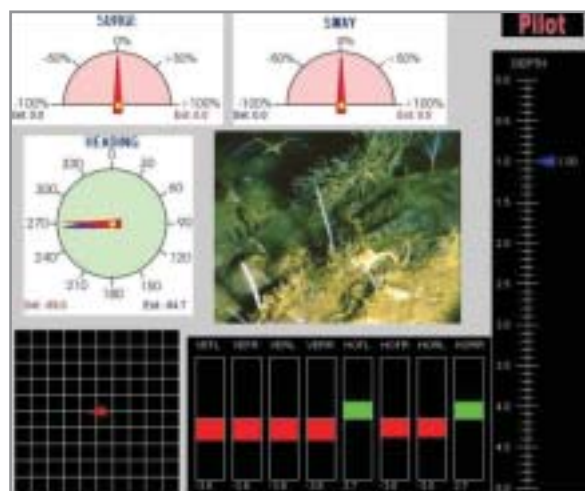
Lo sviluppo di progetti nel settore della robotica via Internet si concretizzò per la prima volta nel 1994 con il progetto di Ken Goldberg riguardante uno Scara comandato attraverso Web browser. Il successivo progresso, da metà degli anni '90, è stato sensibile sia dal punto di vista dell'architettura dei robot, sia per la diffusione e lo sviluppo di Internet, tanto che gli ultimi anni hanno visto la fioritura di progetti di e-robotic in tutto il mondo, compresa l'Italia. Il Robotlab, approfittando dell'esperienza accumulata sull'argomento grazie alle passate esperienze, si è prodotto nel progetto E-Robot2 riguardante lo sviluppo di un impianto robotico sottomarino situato nel Mare Artico, controllato in remoto attraverso Internet. La struttura hardware e software sviluppata in seno ai progetti che hanno coinvolto questo reparto del CNR di Genova è stata

utilizzata anche per la teleprogrammazione via Internet di Romeo, l'ultimo prototipo sottomarino sviluppato dal Robotlab. La frontiera dell'esplorazione sottomarina eseguita comodamente dall'ufficio è stata superata e Romeo ha permesso a biologi, geologi e scienziati di visitare e

studiare le condizioni del mare in circostanze ambientali particolarmente ostili all'uomo. Romeo è un veicolo ROV (Remoted Operated Vehicle) dotato di tutta la strumentazione necessaria a sondare le profondità dei mari come bussola, giroscopio, inclinometri, profondimetri e altimetri, oltre ai sistemi per la propulsione, il controllo e l'alimentazione.

È stato sviluppato con un'architettura distribuita attraverso tre reti Ethernet (Surface LAN, on-board LAN e Lab LAN) collegate a Internet. La rete superficiale (Surface LAN) costituisce l'anello di congiunzione tra l'interfaccia HCI (Human Computer Interface) e la rete di bordo ed è suddivisa in tre interfacce che hanno il compito di fornire il mezzo per pilotare il sistema, supervisionare l'impianto, allocare le risorse e studiare i dati derivanti dall'osservazione dei fondali. Il calcolatore, inoltre, è preposto all'acquisizione di tutti i sensori di superficie del veicolo, gestendo la comunicazione tra HCI e il sistema di controllo

per il trasferimento dei dati telemetrici. La rete di bordo (onboard LAN) è costituita dal computer sub su cui si basa il software del veicolo, mentre la rete di laboratorio (Lab LAN) è formata da una serie di elaboratori che generano la struttura UVW (Underwater Virtual World) che ha il compito di simulare in real-time il robot Romeo e le diverse interazioni del sistema con l'ambiente circostante. L'utilizzo di un simulatore permette di eseguire prove preliminari a rischio nullo adottando algoritmi sperimentali di controllo o di effettuare specifiche teleoperazioni addestrative prima del varo in mare. La struttura gerarchica di



Il modulo HMI utilizzato nel progetto E-Robot2 attraverso il quale sono visibili i parametri di lavoro, nonché le immagini acquisite dal sistema robotizzato sui fondali marini

controllo a doppio anello fornisce una serie di funzioni come il controllo automatico di orientamento, di profondità e di distanza dal fondo oltre alla restante serie di funzioni a elevato livello di autonomia.

L'accesso al Web

Il sistema di controllo di Romeo è dotato di un'adeguata infrastruttura hardware e software per effettuare la comunicazione via Internet attraverso i moduli RS (Remote Server), CC (Communication Channel), LS (Local Server) e HMI (Human Machine Interface). Il server remoto è costituito da un elaboratore situato nel sito in cui il robot opera. Le comunicazioni tra il sistema di controllo centrale e il server locale vengono gestite attraverso un software che invia e acquisisce le immagini, i comandi e le informazioni telemetriche in uscita e in entrata dalla macchina. Il server remoto è equipaggiato, inoltre, con un Web server per soddisfare le richieste di collegamento degli utenti che desiderano scaricare le pagine Html generate automaticamente, visibili dal sito www.e-robot.it.

I server locale e remoto sono collegati attraverso un canale con caratteristiche differenti in funzione del tipo di ambiente in cui il sistema robotizzato opera. Nel progetto E-Robot2 nel Mare Artico, tale canale consisteva in un collegamento radio standard a 11 Mbps (IEEE 802.11b)

realizzato dal Servizio Reti e Telecomunicazioni del Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR-SRT). Esso connetteva il server remoto posto sull'imbarcazione d'appoggio nel Kongsfjord a 78°56' latitudine nord, 11°56' longitudine est, alla stazione italiana a Ny-Ålesund. Il collegamento tra Ny-Ålesund e il server locale del CNR di Genova si basava su una connessione Isdn a 256 kbps, impiegata sia per lo scambio delle immagini in teleconferenza (standard H323), sia dei comandi, delle informazioni telemetriche e delle immagini dell'interfaccia di teleoperazione.

Il server locale installato a Genova gestisce tutte le comunicazioni nei confronti del sistema remoto, oltre a quelle derivanti dagli accessi a Internet. Specchio del server articolo, esso detiene anche la funzione di eleggere il pilota del robot e di limitare il numero degli accessi mediante Web. La connessione a Romeo attraverso Internet è concessa a tutti gli utenti dotati di una piattaforma di calcolo e un semplice Web browser. La HMIW (Human Machine Interface Web), progettata ad hoc, è stata realizzata come un applet Java e le interazioni dell'utente con essa sono gestite mediante la libreria Swing di Java. Attraverso semplici comandi è possibile, come pilota od operatore, impostare o visualizzare tutti i parametri del telecontrollo di Romeo. ■