

AUTOMATIC CONTROL TELELAB: UN LABORATORIO REMOTO DI INGEGNERIA DEI CONTROLLI

Marco Casini, Domenico Prattichizzo, Antonio Vicino
Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione, Università di
Siena
via Roma 56 - 53100 Siena
casini[prattichizzo, vicino]@ing.unisi.it

1 INTRODUZIONE

Questo lavoro descrive la realizzazione di un laboratorio remoto di controlli automatici, denominato Automatic Control Telelab (ACT), sviluppato presso il Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione dell'Università di Siena. Mediante tale strumento è possibile effettuare esperimenti su alcuni processi fisici attraverso la rete Internet. ACT è stato realizzato principalmente con finalità didattiche. Lo scopo è quello di far sì che gli studenti acquisiscano i contenuti di base della disciplina dei controlli automatici tramite esperienze pratiche eseguite con strumenti innovativi come la rete Internet.

L'utente può interagire con gli esperimenti disponibili presso l'ACT attraverso un comune browser di navigazione. Una delle caratteristiche salienti di ACT è la possibilità di progettare nuove leggi di controllo mediante schemi Simulink. ACT è raggiungibile al seguente indirizzo web: www.dii.unisi.it/~control/act/index.html.

2 LABORATORI REMOTI DI AUTOMATICA

Un laboratorio remoto è un sistema hardware/software che consente agli utenti di interagire con processi fisici dislocati in altri luoghi attraverso la rete Internet (od altri tipi di reti). Le possibili applicazioni di questi laboratori sono molteplici e spaziano dalla programmazione a distanza di robot o macchine utensili, all'utilizzo di tali strumenti nell'ambito didattico al fine di facilitare lo svolgimento di esercitazioni pratiche. L'utilizzo di Internet consente una gestione più efficiente

delle risorse di laboratorio che diventano fruibili durante tutto l'arco temporale della giornata e da qualunque computer collegato alla rete.

Una tipica sessione di lavoro nel laboratorio remoto di controlli automatici consiste nello scegliere il processo fisico su cui effettuare l'esperienza, selezionare, tra alcuni controllori predefiniti, la legge di controllo da utilizzare e quindi eseguire l'esperimento. In generale è possibile osservare l'esperimento in esecuzione tramite dei grafici che visualizzano gli andamenti delle grandezze dei parametri più significativi. L'effetto "presenza" all'interno del laboratorio è reso tramite una "live video window", in cui sono visualizzate sequenze video dell'esperimento.

3 CARATTERISTICHE DELL'AUTOMATIC CONTROL TELELAB

La caratteristica più interessante di ACT è quella di fornire all'utente gli strumenti per progettare nuove leggi di controllo in un ambiente *user-friendly* quale è quello di MATLAB/Simulink. Così facendo gli studenti possono quindi validare ed arricchire sperimentalmente le proprie conoscenze sulla teoria dei controlli.

La scelta dell'ambiente per la progettazione del controllore è ricaduta su MATLAB/Simulink soprattutto perchè MATLAB è uno strumento molto diffuso nell'ambiente ingegneristico e dei controlli automatici. Ciò evita all'utente di ACT di do-

AUTOMATIC CONTROL TELELAB: UN LABORATORIO REMOTO DI INGEGNERIA DEI CONTROLLI

ver acquisire specifici linguaggi programmazione per progettare il proprio controllore. Si ritiene che la scelta di Simulink quale ambiente di programmazione possa contribuire alla diffusione di ACT nei corsi afferenti all'area dell'automazione dell'Università di Siena e di altri atenei.

Con l'ambiente di sviluppo realizzato per ACT è possibile usufruire, per il progetto del controllore, di tutti i *toolbox* disponibili nell'ambiente MATLAB/Simulink.

ossia quei controllori che sono stati già progettati e testati sul processo reale. L'utente ha inoltre la possibilità di progettare la propria legge di controllo, rispettando alcune semplici convenzioni illustrate nel seguito. Il controllore deve essere realizzato mediante un modello Simulink. Il regolatore progettato dall'utente viene inviato via Internet all'elaboratore preposto alla gestione del processo, che provvede a verificarne la correttezza formale della sintassi e ad integrarlo con il software di gestione dell'hardware.

4 FUNZIONAMENTO DEL TELELABORATORIO

ACT è accessibile mediante un comune browser di navigazione come ad esempio Netscape Navigator o Microsoft Internet Explorer. Non è richiesto alcun plug-in per accedere al telelaboratorio. Per il progetto di controllori diversi da quelli predefiniti è necessario disporre localmente di MATLAB e Simulink. I processi fisici attualmente disponibili presso il telelaboratorio sono: un sistema idraulico per il controllo di livello in un serbatoio, un levitatore magnetico ed un motore in corrente continua per il controllo di posizione (**figura 1**).



Figura 1 - Esperimenti disponibili per il controllo.

L'architettura hardware e software del telelaboratorio consente di eseguire contemporaneamente gli esperimenti sui tre processi. È in fase di progettazione avanzata la connessione ad ACT del Puma 560 (Unimate), un robot antropomorfo a 6 gradi di libertà, e di alcuni robot mobili da laboratorio. Per ogni processo sono disponibili in rete alcune informazioni di carattere generale ed un modello matematico del sistema. Una volta scelto il processo su cui effettuare un esperimento, viene visualizzata un'interfaccia (Control Type Interface) in cui sono elencati i controllori predefiniti (**figura 2**),



Figura 2 - La Control Type Interface.

Prima di eseguire l'esperimento, un sistema di sicurezza verifica i dati personali dell'utente (**figura 2**) sulla base di eventuali limitazioni di accesso. Si può quindi procedere alla fase di esecuzione dell'esperimento attraverso la Experiment Interface (**figura 3**), un'interfaccia mediante la quale è possibile avviare il processo, modificare i riferimenti e variare in tempo reale alcuni parametri relativi al controllore.



Figura 3 - La Experiment Interface.

AUTOMATIC CONTROL TELELAB: UN LABORATORIO REMOTO DI INGEGNERIA DEI CONTROLLI

L'andamento dell'esperimento viene visualizzato con opportuni grafici che rappresentano il riferimento, l'uscita ed il comando fornito agli attuatori del sistema. È inoltre disponibile un feedback di tipo visivo, realizzato mediante una telecamera, che consente di osservare in linea il sistema, durante lo svolgimento dell'esperimento.

Al termine della sessione è possibile acquisire i tracciati delle principali grandezze di interesse, memorizzate in un file in formato workspace di MATLAB (.mat). Ciò consente di effettuare analisi fuori linea relative all'esecuzione dell'esperimento.

5 PROGETTAZIONE DI NUOVI CONTROLLORI

Per progettare nuovi controllori è necessario disporre delle versioni più recenti di MATLAB e Simulink. Questa operazione è facilitata dall'uso di un template del controllore disponibile (download) dalla "Control Type Interface". Il file *template.mdl* è un modello del controllore in formato Simulink. Nel *template* sono inclusi due sottosistemi Simulink (**figura 4**), uno denominato "act_reference" e l'altro "act_controller".

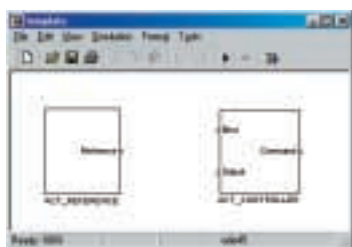


Figura 4 - Il modello Simulink *template.mdl*.

Il primo contiene tutti i segnali di riferimento applicabili al processo durante l'esperimento. Questi possono essere personalizzati dall'utente: alcuni riferimenti sono già forniti di default, ma l'utente può eliminarli, modificarli o inserirne altri. L'inserimento di nuovi riferimenti è semplificata da alcuni esempi riportati nel blocco "Other References" (**figura 5**).

Per il progetto del controllore, è necessario aprire il blocco "act_controller", all'interno del quale sono visibili i blocchi relativi ai segnali di riferimento, di ingresso e di uscita. È sufficiente quindi collegare opportunamente tali blocchi, utilizzando i vari strumenti messi a disposizione da Simulink (guadagni, funzioni di trasferimento, funzioni non lineari, ecc.).

La classe di controllori implementabili in ACT è molto ampia e spazia dai controllori lineari a quelli non lineari e robusti.

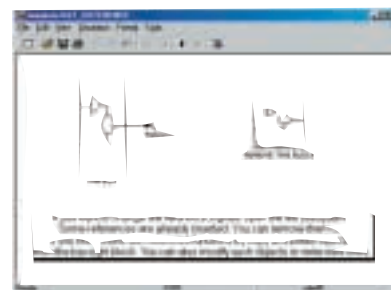


Figura 5 - Contenuto del blocco *act_reference*.

L'Automatic Control Telelab mette inoltre a disposizione dell'utente la possibilità di poter variare in linea, durante l'esecuzione dell'esperimento, alcuni parametri del controllore. Per poter implementare tale funzione, l'utente deve progettare il controllore nominando opportunamente il blocco relativo al parametro variabile. In particolare il nome del blocco deve avere il prefisso "ACT_TP_".

Una volta completato il modello Simulink, è necessario inviarlo al server tramite il pulsante "Send Controller File".

Il server analizza quindi il file, controllando la correttezza formale della sintassi, lo compila e quindi visualizza l'interfaccia preposta alla gestione dell'esperimento. Un esempio di controllore contenente alcuni parametri modificabili in linea è riportato in **figura 6**.

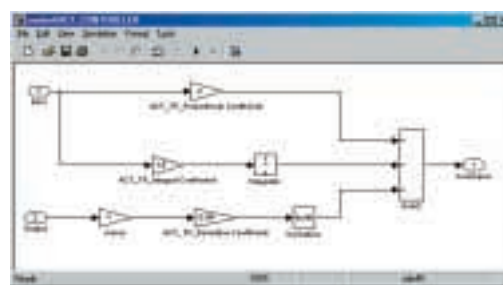


Figura 6 - Modello Simulink di un controllore.

6 ARCHITETTURA DELL'ACT

L'architettura software alla base di ACT consta di due parti che riguardano il lato client, ossia la parte relativa alle interfacce utente, ed il lato server, quello preposto all'interazione con il processo.

La "Control Type Interface" e la "Experiment Interface" sono delle applet Java. L'utilizzo del linguaggio Java consente di accedere al telelaboratorio indipendentemente dalla piattaforma.

AUTOMATIC CONTROL TELELAB: UN LABORATORIO REMOTO DI INGEGNERIA DEI CONTROLLI

ma utilizzata. Il sistema operativo su cui opera il server è Microsoft Windows 2000. L'eseguibile che pilota il processo fisico è il file process.exe generato con l'ausilio di Real-Time Workshop (RTW), un toolbox di MATLAB che consente la generazione di eseguibili a partire da modelli Simulink.

Al fine di realizzare la connessione con il client e la gestione dell'esperimento in tempo reale, sono state inserite opportune routines all'interno del codice ottenuto da RTW. Nel caso di controllore progettato dall'utente (control.mdl), si è anche resa necessaria una fase di integrazione tra il controllore ed il modello Simulink preposto all'interfaccia con il processo (source.mdl).

Lo schema riassuntivo dell'architettura software di ACT è riportata in figura 7.

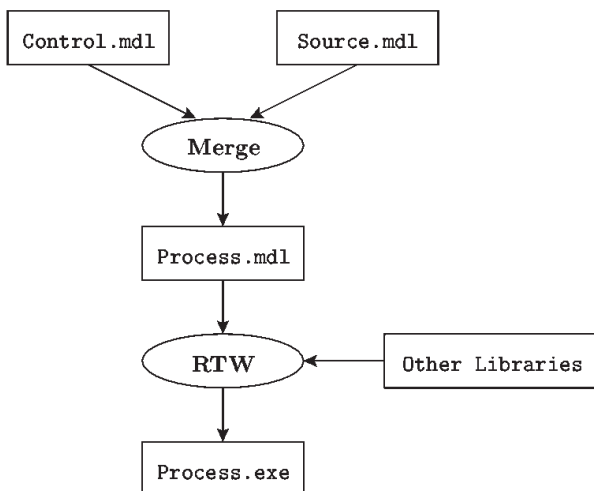


Figura 7 - Fasi per la generazione del file process.exe.

7 CONCLUSIONI

In questo articolo è stato presentato un laboratorio remoto utilizzato principalmente per fini didattici durante i corsi di controlli automatici presso l'Università di Siena.

La peculiarità di tale laboratorio è quella di consentire all'utente remoto di progettare un proprio controllore mediante un modello Simulink.

Gli sviluppi futuri prevedono l'ampliamento del numero di processi disponibili per il controllo. Si vuole in particolare aggiungere un braccio robotico a sei gradi di libertà per eseguire esperienze di telelaboratorio anche nei corsi di robotica.

Bibliografia minima:

B. Aktan, C.A. Bohus, A. Crowl, and M.H. Shor. "Distance learning applied to control engineering laboratories" in IEEE Transactions on education, pag. 320-326, Ago. 1996.

M. Casini, D. Prattichizzo, A. Vicino, "The Automatic Control Telelab: a Remote Laboratory of Automatic Control" in Proc. 40th IEEE Conf. on Decision Control, Orlando, Florida, Dic. 2001.

M. Casini, D. Prattichizzo, A. Vicino, "The Automatic Control Telelab: a User-Friendly Interface for Distance Learning" in corso di pubblicazione su IEEE Transaction on Education.

H.H. Hahn and M.W. Spong. "Remote laboratories for control education." In Proc. of 39th IEEE Conference on Decision and Control, Sydney, Australia, Dic. 2000.

N.Kolban. "Webcam32 - the ultimate webcam software." Rapporto Tecnico. <http://surveyorcorp.com/webcam32>.

S.E. Poindexter, B.S. Heck. "Using the web in your courses: What can you do? what should you do?" in IEEE Control System, pag. 83-92, Feb. 1999.

C. Schmid. "The virtual lab VCLAB for education on the web" in Proc. of IEEE American Control Conference, pag. 1314-1318, Philadelphia, Giu. 1998.