

# Automatic Control Telelab: un Laboratorio Remoto per l'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

Informazione sugli Autori: Marco Casini e' Assegnista di Ricerca, Domenico Prattichizzo e' Ricercatore e Antonio Vicino e' Professore Ordinario nonche' Preside della Facolta' di Ingegneria presso l'Universita' di Siena.

## SOMMARIO

*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 ma ha delle potenziali applicazioni in tutti quei settori che riguardano il tele-controllo e la tele-diagnostica dei sistemi di automazione. 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](http://www.dii.unisi.it/~control/act).*

## ABSTRACT

*In this paper a remote laboratory of automatic control developed at the University of Siena is presented. The main target of this laboratory is to allow users to easily interact with a set of physical processes through the Internet. It will be possible to run experiments, change control parameters and analyze the results remotely. The Automatic Control Telelab (ACT) allows the user to design his own controller by means of a user-friendly interface based on the Matlab/Simulink environment. Another interesting feature of ACT is its architecture allowing easily the integration of new processes for control experiments.*

## 1. 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.

## 2. Motivazioni

Le motivazioni che hanno spinto gli autori alla realizzazione di un laboratorio remoto di controlli automatici sono molteplici e vengono di seguito riassunte:

- Maggiore possibilità di approfondire le tematiche tipiche dei controlli: attraverso questo strumento gli studenti sono maggiormente motivati ad effettuare esperienze pratiche di controlli automatici, acquisendo una più completa conoscenza della materia.
- Didattica remota: mediante l'uso di un laboratorio remoto è possibile effettuare lezioni o corsi che utilizzano dei processi fisici pur non trovandosi fisicamente nei pressi degli stessi.
- Piena accessibilità a differenza dei laboratori tradizionali, un laboratorio remoto può essere utilizzato 24 ore al giorno e da qualunque terminale collegato ad Internet. Questa caratteristica può essere sfruttata con vantaggio dagli studenti che possono quindi effettuare esperienze ed esercizi pratici anche da casa ed in qualunque orario. Inoltre tali laboratori possono essere utilizzati senza difficoltà da studenti con handicap motori.
- Maggiore efficienza: la possibilità di effettuare esperienze anche durante le ore in cui i laboratori tradizionali restano chiusi, comporta un incremento dell'efficienza ed un maggior grado di utilizzo dei processi fisici.

## 3. Caratteristiche dell'Automatic Control Telelab

L'Automatic Control Telelab è un laboratorio remoto di controlli automatici sviluppato presso il Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione dell'Università di Siena. Sin dal 1999 questo strumento viene utilizzato durante lezioni pratiche di controlli automatici.

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 dover 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.

## 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 o software particolare 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 (Fig. 1). Sarà inoltre disponibile in breve tempo anche un simulatore di elicottero a 2 gradi di libertà (Humusoft CE150) (Fig. 2). L'architettura hardware e software del telelaboratorio consente di eseguire contemporaneamente gli esperimenti sui vari 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.

 On-line Experiments


<p><b>Level Control</b></p> <p><a href="#">On-line Experiment</a> <a href="#">System Description</a></p> 	<p><b>Position Control</b></p> <p><a href="#">On-line Experiment</a> <a href="#">System Description</a></p> 
<p><b>Magnetic Levitation</b></p> <p><a href="#">On-line Experiment</a> <a href="#">System Description</a></p> 	

Figura 1: Esperimenti disponibili per il controllo.



Figura 2: Il simulatore di elicottero Humusoft CE150.

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 (Fig. 3), 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 mediante un modello Simulink, rispettando alcune semplici convenzioni illustrate nel seguito. 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.

Prima di eseguire l'esperimento, un sistema di sicurezza verifica i dati personali dell'utente (Fig. 3) sulla base di eventuali limitazioni di accesso. Si può quindi procedere alla fase di esecuzione dell'esperimento attraverso la Experiment Interface (Fig. 4), un'interfaccia mediante la quale è possibile avviare il processo, modificare i riferimenti e variare in tempo reale alcuni parametri relativi al controllore. 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, memorizzati in un file in formato workspace di Matlab (.mat). Ciò consente di effettuare analisi fuori linea relative all'esecuzione dell'esperimento.

The image shows a web-based interface titled "Level Control". It is divided into several sections:

- Personal Data:** Contains three input fields: "User Name", "Country" (a dropdown menu), and "e-mail".
- Controller Type:** Contains four radio button options, each with a "Download" link to its left:
  - P.I.D. Controller
  - P.I.D. Controller with Anti-Windup
  - Feedback Linearization
  - User-defined
- User-defined section:** Located below the "User-defined" radio button, it includes:
  - A "Download Template Model" link.
  - A "Controller File:" label followed by a text input field and a "Browse..." button.
  - A "Sample Time (msec):" label followed by a text input field containing the value "200" and a "Send Controller File" button.
- Navigation:** At the bottom, there are two buttons: "Go to Process" and "Return to Home Page".

Figura 3: La Control Type Interface.

## Experiment: Level Control

### Parameters Panel

Proportional Coefficient   
Value

### Command panel

### Reference Panel

#### Reference Block

Sinusoidal Wave     
Amplitude Frequency Center

### Pump Command

Volt

Time Input

### Reference/Output

Liter

Time Reference Output Error

08/08/01 17:01:55 gmt+1

## Automatic Control Telelab

Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione

Università degli Studi di Siena

Figura 4: La Experiment Interface.

## 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, uno denominato "act\_reference" e l'altro "act\_controller".

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 semplificato da alcuni esempi riportati nel blocco "Other References" (Fig. 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.

L'Automatic Control Telexlab 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 Fig. 6.

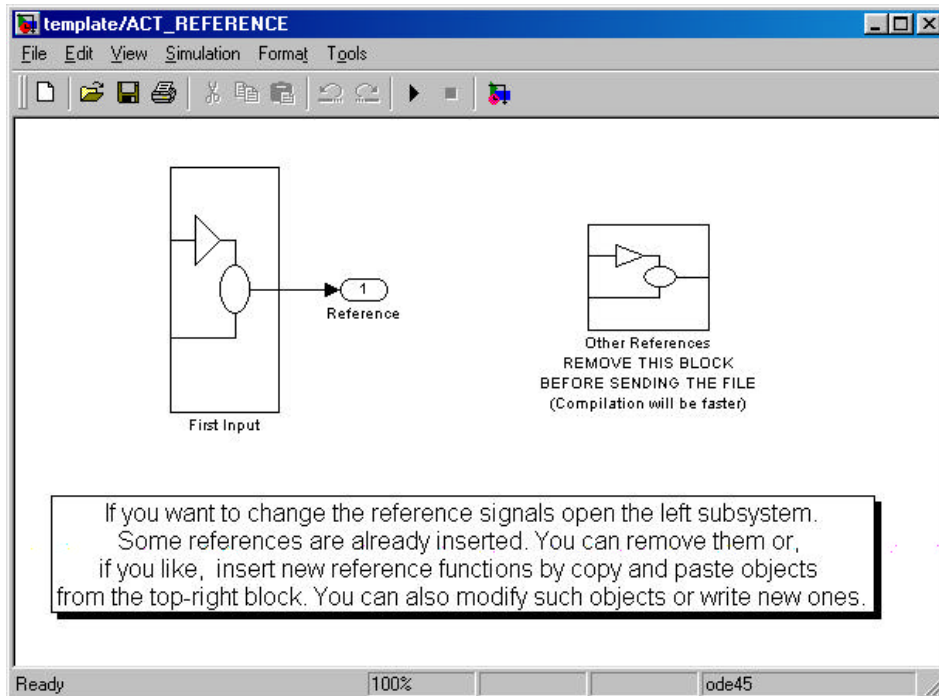


Figura 5: Contenuto del blocco act\_reference.

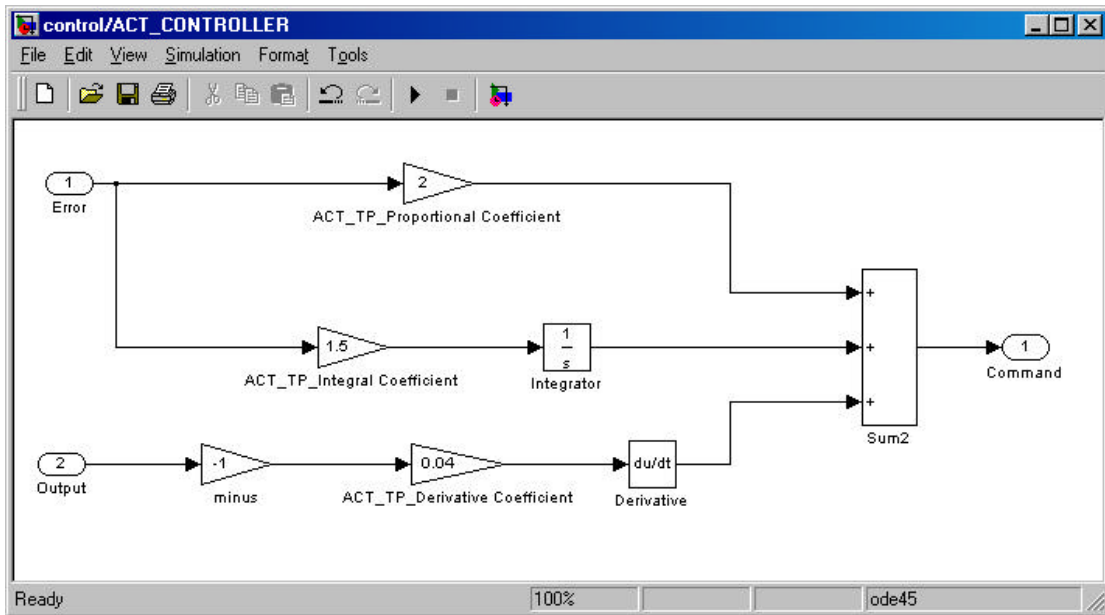


Figura 6: Modello Simulink di un controllore.

## 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. Per quanto concerne il client, l'interfaccia utente è stata realizzata mediante applet Java; l'utilizzo di tale strumento consente di accedere al telelaboratorio indipendentemente dalla piattaforma utilizzata. Il sistema operativo su cui opera il server è Microsoft Windows NT/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). Tali operazioni sono riassunte in Fig. 7.



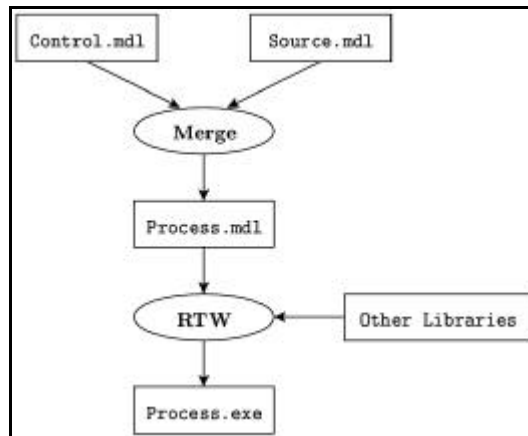


Figura 7: Fasi per la generazione del file process.exe.

## 7. Conclusioni

In questo lavoro è stato presentato un laboratorio remoto per i sistemi automatici sviluppato 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 per applicazioni robotiche. E' inoltre in fase di sviluppo una speciale interfaccia che permetta di valutare in modo automatico le prestazioni dei controllori progettati dagli utenti. Il suo scopo è quello di implementare sessioni di competizione tra utenti dove questi possano confrontarsi per selezionare le leggi di controllo migliori. Il software, alla base del telelab, è coperto dai Diritti d'Autore (Copyright) con registrazione presso il Registro Pubblico per i programmi per elaboratore - Data di registrazione 21/12/01 - Numero progressivo 002113 - Ordinativo D002741.

## Bibliografia

- 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.