



 POLITECNICO DI MILANO



Presentazione del corso:

Fondamenti di Automatica – A.A. 2014/2015

Ingegneria delle Telecomunicazioni

Marcello Farina



Lezioni ed esercitazioni tenute da

Marcello Farina

- Dipartimento di Elettronica e Informazione, II piano, ufficio 246
- Tel. 02 2399 3599
- E-mail: marcello.farina@polimi.it
- Pagina web personale: <http://home.dei.polimi.it/farina>
- Pagina web corso: http://home.dei.polimi.it/farina/FdA_TLC.html
- Ricevimento: martedì ore 15:30-17:30. Contattatemi prima!



Organizzazione del corso

Orari e aule delle lezioni:

- MARTEDÌ: 8:15 – 10:15 (aula S05)
- GIOVEDÌ: 13:15 – 15:15 (aula T01)

Composizione del corso:

- lezioni (32 ore): aspetti teorici, metodologici e applicativi;
- Esercitazioni (16 ore): esercizi numerici (modellistica e analisi)

Modalità e date degli esami:

- L'esame è scritto.
- Sono previste due prove in itinere.
- Date degli appelli:
 - **I competitino:** mercoledì 06/05/2015
 - **II competitino/I appello:** mercoledì 08/07/2015
 - **Appello regolare (Giugno/Luglio):** Lunedì 27/07/2015
- L'iscrizione all'esame è libera

Tutorato MATLAB/Simulink

Verrà attivato un tutorato MATLAB/Simulink (10 ore in totale, suddivise in 5 incontri, sede di Milano Leonardo).
Argomenti: uso di base dell'ambiente MATLAB, simulazioni di sistemi in ambiente Simulink, etc.
Non sono richiesti prerequisiti sull'uso del software.



Organizzazione del corso

Prerequisiti:

- Algebra delle matrici
- Numeri complessi
- Nozioni di base di elettrotecnica, meccanica, termodinamica
- Nozioni di base su equazioni differenziali

Sulla pagina web del corso è disponibile un **test di autovalutazione** per verificare la solidità della propria preparazione di base su questi argomenti.

Altri **strumenti matematici** utilizzati durante il corso:

- Trasformata di Laplace
- Trasformata di Fourier

Per gli interessati, la facoltà sta organizzando un ciclo di **tutoraggi facoltativo sull'uso di SIMULINK**. Informazioni saranno disponibili nelle prossime settimane.



Testi consigliati

- **Argomenti teorici e metodologici:**
 - *Fondamenti di Controlli Automatici*. P. Bolzern, R. Scattolini e N. Schiavoni. Mc Graw-Hill.
 - *Controlli Automatici*. N. Nise, a cura di P. Pugliese. Città Studi Edizioni.
 - *Sistemi dinamici: modellistica, analisi e controllo*. L. Benvenuti, A. De Santis, L. Farina. Mc Graw-Hill
 - *Introduzione all'automatica*. S. Bittanti. Zanichelli.
 - Dispense ed appunti disponibili sul web (si veda il sito del corso).
- **Eserciziari e applicazioni:**
 - *Elementi di Automatica: Esercizi*. P. Bolzern e N. Schiavoni. Masson.
 - *Esercizi di Controlli Automatici*. G. Guardabassi e P. Rocco. Pitagora.
 - *Esercizi di Fondamenti di Automatica*. A. Leva, M. Maggio. Pitagora.
 - *Laboratorio di Automatica*. A. Leva. Pitagora.
- **E-books multimediali divulgativi:**
 - *App Automation Story* (<http://www.automationstory.com/>), disponibile gratuitamente su App Store e Google Play.



Breve introduzione all'Automatica

Definizioni:

- **Automatica:** insieme di strumenti matematici ed ingegneristici necessari per la specifica, il progetto e la gestione di **sistemi di controllo automatici**.
- E' la disciplina che si occupa dei **problemi di controllo**.
- Un **problema di controllo** si occupa di imporre ad un **sistema fisico** un **comportamento desiderato**.

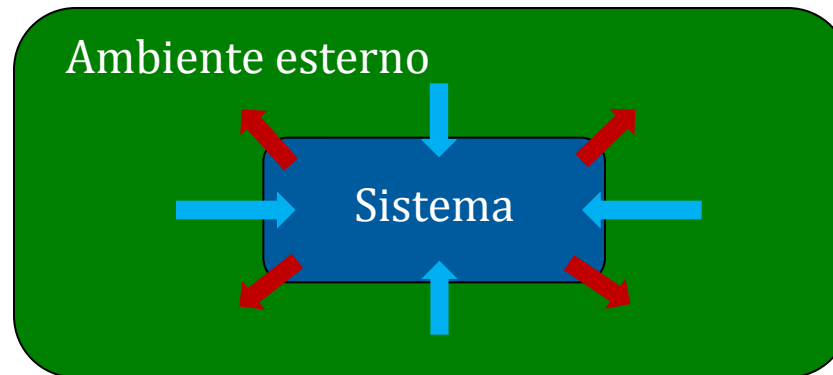
Esempi:

- Dispositivi elettronici
- Automobili
- Impianti industriali
- Organizzazione di un'azienda
- Fenomeni chimici/fisici/biologici
- Dinamiche di sviluppo/estinzione di specie
- ...



Sistema

Il sistema è un insieme di elementi interconnessi tra di loro e con l'ambiente esterno che si comporta come un tutt'uno, secondo proprie regole generali.



Il sistema e l'ambiente esterno interagiscono scambiandosi:

- grandezze fisiche (es. forze, masse, energie, ...)
- informazione (segnali, comandi, ...)

Il comportamento del sistema può essere influenzato dall'esterno secondo un meccanismo di causa/effetto.

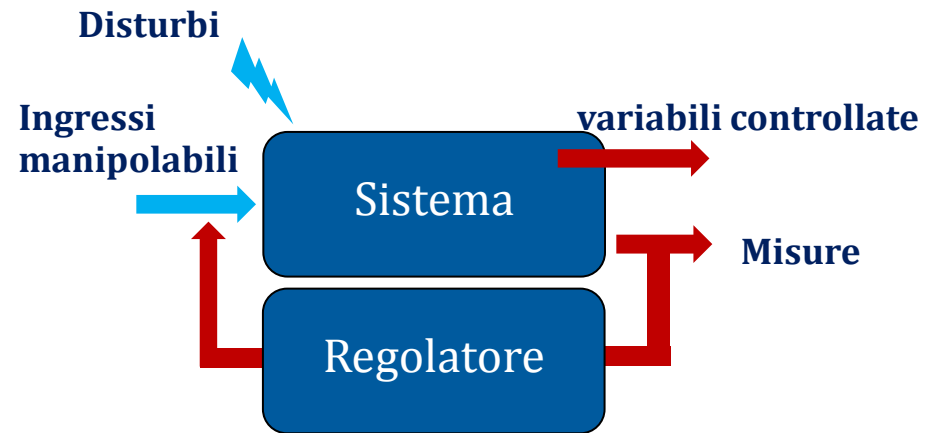


Breve introduzione all'Automatica

Il sistema deve possedere:

- **variabili di ingresso** (cause)
 - variabili manipolabili
 - disturbi (incertezza)
- **variabili di uscita** (effetti)
 - variabili misurate
 - variabili controllate

Sistema



L'insieme di relazioni formali che esprime la maniera in cui le uscite sono influenzate dagli ingressi è detto **modello del sistema**.

Problema di controllo: imporre a variabili associate ad un sistema fisico (variabili controllate) un comportamento desiderato (tramite l'assegnamento delle variabili di ingresso manipolabili) secondo una data specifica di controllo.

- principio chiave: **retroazione**
- controllo può essere **manuale** o **automatico**.

La disciplina dei controlli automatici si occupa dello studio e del progetto di dispositivi (regolatori) mediante i quali è possibile ottenere questo scopo.



Sistema di controllo

Struttura di un sistema di controllo:

- Strumentazione per misurare le variabili di uscita (trasduttori)
- Strumentazione per imporre alle variabili di ingresso manipolabili il valore desiderato (attuatori)
- Hardware di controllo (calcolatore con funzione di controllore)
- Una o più leggi di controllo (algoritmi di controllo), che comandano gli attuatori in base alle misure

Un controllista deve sapersi occupare di tutti questi aspetti:

- Problematiche metodologiche/teoriche
- Problematiche tecnologiche

Il corso verterà essenzialmente su problemi metodologico/teorici.



Elementi base di un problema di controllo:

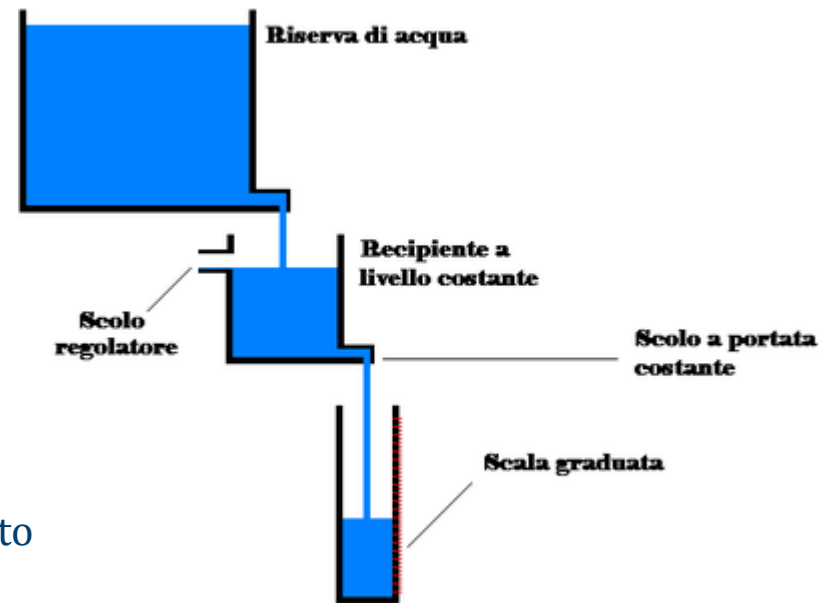
- **Definizione del sistema** (la distinzione di un sistema/ambiente esterno) è un concetto relativo. Può dipendere da
 - natura dei sottosistemi che lo compongono
 - obiettivi/specifiche di progetto
- **Definizione delle variabili da controllare**
- **Definizione delle variabili di manipolare**
- **Definizione delle specifiche di controllo**

Orologio ad acqua di Ctesibio (III sec. AC)

- **Sistema da controllare:** livello d'acqua nel recipiente graduato.
- **Variabile controllata:** portata d'acqua in ingresso al recipiente graduato.
- **Variabile «misurata»:** livello d'acqua nel recipiente sovrastante.
- **Specifica di controllo:** mantenere regolare il tasso di crescita del livello nel recipiente graduato, cioè la portata di liquido in ingresso.

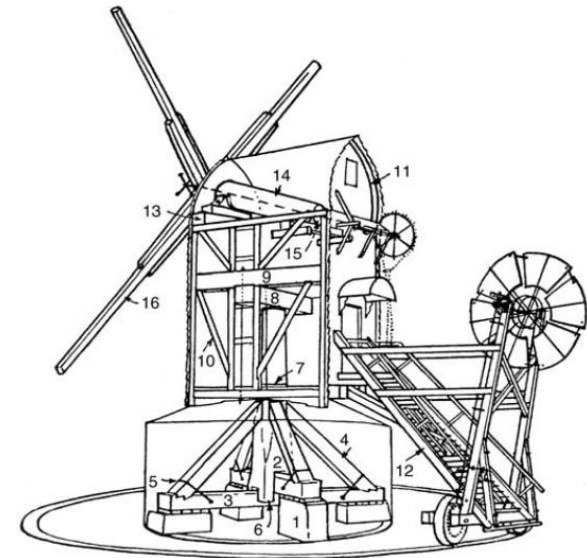
Si tratta di un

- sistema di controllo **automatico**, perché non è svolto manualmente da un operatore;
- sistema **retroazionato**. Per controllare la portata in uscita al recipiente superiore, si mantiene il livello di liquido costante nello stesso. Se il livello stesso supera il livello prestabilito, un semplice sistema permette all'acqua in eccesso di defluire.



Mulini a vento: coda a ventaglio (Edmund Lee, 1745)

- **Sistema da controllare:** Orientazione delle pale (e della struttura principale) del mulino.
- **Variabile controllata:** angolo tra la direzione del vento e l'area spazzata dalle pale del mulino.
- **Variabile «misurata»:** angolo tra la direzione del vento e la coda a ventaglio.
- **Specifica di controllo:** mantenere le pale ortogonali alla direzione del vento (per sfruttare al massimo l'energia eolica).



Si tratta di un

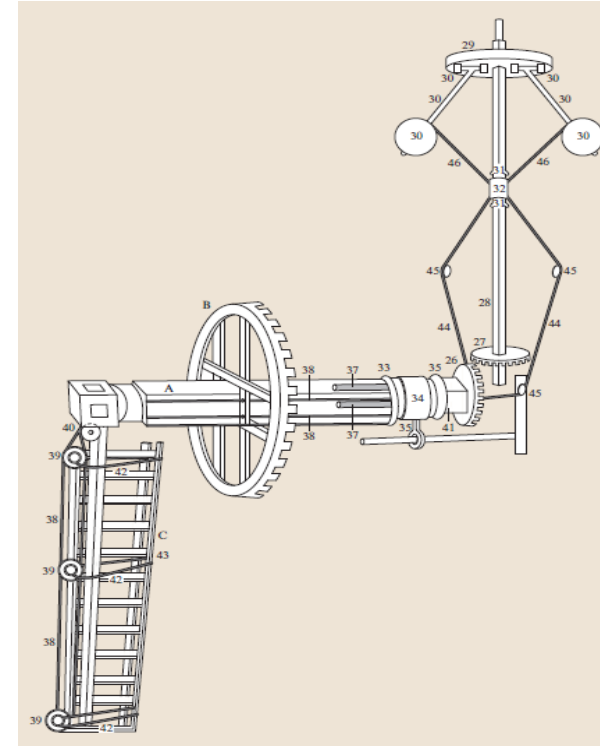
- sistema di controllo **automatico (servomeccanismo)**;
- sistema **retroazionato**. Se l'angolo tra la coda a ventaglio e la direzione del vento è diversa da zero (valore di riferimento), l'energia del vento imprime una forza di riallineamento della struttura.

Mulini a vento: regolatore a sfere girevoli (Thomas Mead, 1787)

- **Sistema da controllare:** velocità di rotazione delle pale.
- **Variabile controllata e «misurata»:** velocità angolare di rotazione delle pale.
- **Specifica di controllo:** mantenere la velocità di rotazione delle pale costante (qualità della macinatura uniforme al variare delle condizioni del vento).

Si tratta di un

- sistema di controllo **automatico**;
- sistema **retroazionato**:
 - Se la velocità di rotazione delle pale aumenta (rispetto a un valore di riferimento), le sfere girevoli si innalzano. Questo riduce l'angolo di impatto delle pale (a vela), riducendo l'energia ricevuta dal vento. Questo permette di ridurre la velocità di rotazione delle pale.
 - Viceversa, se la velocità di rotazione delle pale si riduce, le sfere scendono, l'angolo delle vele rispetto al vento aumenta, aumentando l'energia ricevuta dal vento, e quindi aumentando la velocità di rotazione delle pale.



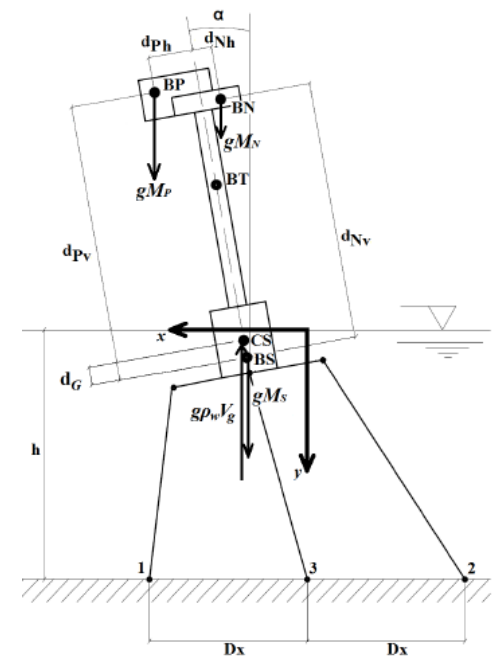
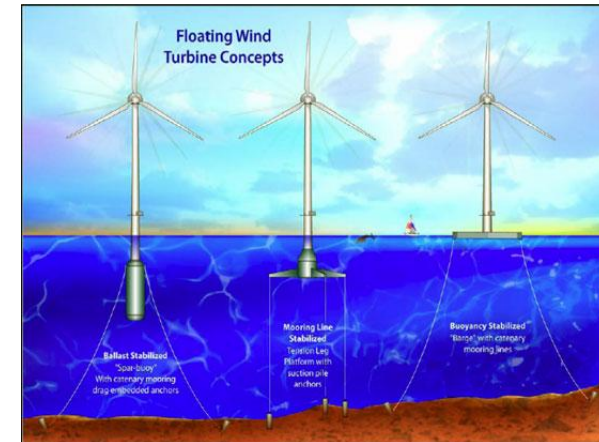
Questo regolatore centrifugo è sfruttato da James Watt nel motore a vapore!



Mulini a vento «oggi»: turbine eoliche (a terra o galleggianti)

Problemi simili si possono tuttora essere riscontrati su turbine eoliche (ad esempio galleggianti - offshore):

- Sistema soggetto a vari tipi di disturbo:
 - onde;
 - vento (variabile di ingresso non manipolabile).
- Problemi di controllo tipici:
 - ottimizzazione dell'energia in ingresso (per velocità del vento "basse");
 - mantenimento della velocità di rotazione costante per velocità del vento alte;
 - riduzione delle oscillazioni meccaniche dovute a variazioni della velocità del vento e alle onde;
 - riduzione del carico sulla torre e sulla struttura (riduzione del danneggiamento).





ESEMPIO: AUTOMOBILE

- **Climatizzatore**
 - **Sistema da controllare:** comportamento termico dell'abitacolo
 - **Variabile controllata:** temperatura di uno o più punti dell'abitacolo
 - **Variabile manipolabile:** comando di riscaldatori elettrici e ventilatori
 - **Specifica di controllo:** mantenere temperatura costante ad un valore desiderato
- **Servosterzo:**
 - **Sistema da controllare:** dinamica laterale dell'autoveicolo
 - **Variabile controllata:** angolo di sterzata delle ruote
 - **Variabile manipolabile:** comando di un servomeccanismo idraulico
 - **Specifica di controllo:** seguire l'angolo di sterzata indicato dal pilota girando il volante
- **Cruise control:**
 - **Sistema da controllare:** dinamica longitudinale dell'autoveicolo
 - **Variabile controllata:** velocità dell'auto
 - **Variabile manipolabile:** comando di freni o acceleratore
 - **Specifica di controllo:** mantenere la velocità pari a quella desiderata



Esempi e applicazioni

Si consideri, ad esempio, il sistema “DINAMICA LONGITUDINALE DELL’AUTOVEICOLO” controllato con il *cruise control*.

Sottosistemi:

- Motore
- Freni
- Albero di trasmissione
- Struttura dell’automobile
- Aerodinamica del rivestimento esterno
- Sospensioni
- ...

A loro volta, questi sottosistemi sono soggetti a controllo (e quindi considerati, ad un livello di maggiore dettaglio, **sistemi** controllati), per esempio:

Controllo delle emissioni (motore):

- Sistema da controllare:** comportamento termodinamico del motore
- Variabili controllate:** concentrazioni di sostanze inquinanti (e.g., idrocarburi, monossido di carbonio, ossidi di azoto)
- Variabile manipolabile:** iniezione di aria nel motore
- Specifica di controllo:** minimizzare la concentrazione di sostanze inquinanti nel gas di scarico

(questo può essere fatto, per es., evitando bruschi salti di pressione, limitando temperatura e pressione in camera, mantenendo il rapporto stechiometrico aria/combustibile prossimo ad un valore ottimale)



Problemi di controllo presenti nell'automobile:

- Controllo dell'iniezione
- Controllo delle emissioni
- Servosterzo
- Controllo della trazione
- Controllo della velocità
- Stabilizzazione della dinamica (ESP)
- Controllo della frenata (ABS)
- Controllo della trasmissione (cambio automatico)
- Sospensioni attive
- Climatizzatore
- ...



Applicazioni dell'Automatica:

- Industria manifatturiera
- Industria di processo
- Trasporti
- Elettronica di consumo
- Trasmissione e distribuzione dell'energia
- ...

L'Automatica è applicata in moltissimi contesti e ambiti: viene anche definita *the hidden technology*.



Sistemi automatici di controllo nell'industria

Manipolatori
robotici



Linee di produzione
automatizzate



Controllo di
processo in impianti
chimici,
termoelettrici,
siderurgici , ...



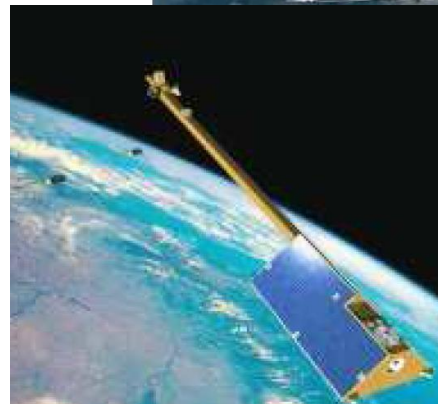


Sistemi automatici di controllo nei trasporti

Guida automatica di aerei, navi, ...



Controllo di satelliti spaziali



Dispositivi per il comfort e la sicurezza negli autoveicoli



Controllo di assetto dei treni





Altri settori

Controllo attivo di
strutture civili

Elettronica di
consumo

Applicazioni
biomediche

Dispositivi per
elettrodomestici





Perché l'Automatica è una disciplina di interesse per gli Ingegneri delle Telecomunicazioni?

1) Al giorno d'oggi e nel futuro, il ruolo dei controlli automatici nello sviluppo di dispositivi e reti per le telecomunicazioni è fondamentale:

- Gli Ingegneri delle Telecomunicazioni devono essere in grado di comprendere, analizzare e progettare tali sistemi

2) Sistemi di controllo, coordinazione, sorveglianza, monitoraggio in una quantità sempre crescente di applicazioni (domotica, controllo del traffico, controllo di impianti di larga scala, monitoraggio tramite reti di sensori, etc.) basano il loro sviluppo su quello di sistemi di comunicazione avanzati

- Opportunità per Ingegneri delle Telecomunicazioni

Una conoscenza di base dei principi e delle metodologie dell'Automatica è necessaria (e richiesta..)

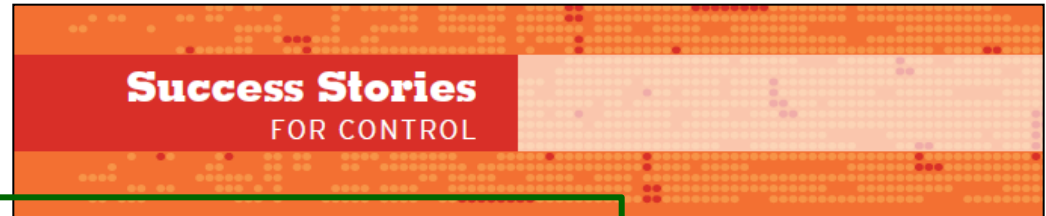


Controllo nei telefoni cellulari

Lo sviluppo della telefonia mobile sarebbe impossibile senza controlli automatici.

Automatica permette:

- Riduzione di costi
- Riduzione di dimensioni
- Riduzione del consumo di potenza
- Aumento di affidabilità



Success Stories FOR CONTROL

Control in Mobile Phones

Mobile phones have made a huge impact on the world in a short time period. They are now affordable for those with daily incomes as low as a dollar, and they have brought communication infrastructure to new areas. In addition to enabling convenient and low-cost telephone services, mobile phones have also made information available at subscribers' fingertips. For many, their first contact with the Internet is with a mobile phone, not a computer.

Mobile phones as affordable and attractive consumer products would not be possible

With a world penetration of 4 billion users, the number of chips is in the range of 10^{10} to 10^{11} . If you choose any control loop likely located in a mobile phone, making the application are stories of control in recent times. The area is heavily patented, with many patents granted each year, a large share of them describing

Access Control

Each phone contains a transceiver unit that makes radio access to several base stations. Designing a low-cost transceiver that is has sufficient power efficiency, receiver sensitivity, and linearity is a challenge. Some of the control loops that have enabled today's mobile phones are automatic gain control (AGC), frequency control (AFC), transmission power control, timing control of coding and modulation.



Radio Unit
Application CPU
Access CPU

Radio Unit
Application
Memory: 5
(data for h)

Grand Challenges FOR CONTROL

Control Challenges in Mobile Telecommunications

Mobile telecommunications technology is having an unprecedented impact on human society. Currently, there are more than 4 billion cellular subscribers worldwide; some 2 million new phones are sold each day and 80 billion email messages are sent! Global revenue exceeds \$4 trillion annually. Also, new services are appearing, including TV, web browsing, tethering, and real-time gaming. As in all

Control in Telecommunications

Control appears at various levels in mobile telecommunications (Figure 2):

- Inner-loop power control:** Used to adjust the signal-to-interference ratios of users that they are maintained at an appropriate level at the base station. This loop operates at 1500 Hz and is quantized to 1 bit with delays of several samples.
- Outer-loop power control:** Used to adjust the signal-to-interference target so that the block error rate reaches a desired value. This loop operates at a slower rate (approximately 40 ms).
- Scheduling:** 3G and 4G systems allow for high uplink (between user and base station) data rates, which is achieved by giving users the opportunity to use increased



Controllo nei telefoni cellulari

Livelli:

1. Access control:

1. Automatic gain control: controlli sono impiegati nei ricevitori per garantire un comportamento lineare (rispetto alla potenza del segnale ricevuto) di dispositivi a basso costo.
2. Automatic frequency control: per permettere agli oscillatori nei ricevitori di agganciare la frequenza di trasmissione a fronte di disturbi (variazioni di temperatura, effetto doppler per oggetti mobili, variazione del voltaggio della batteria, invecchiamento). Senza controlli si dovrebbero impiegare oscillatori grossi, costosi, e comunque meno performanti.

2. Controlli a livello di circuiti (controlli servono a compensare variazioni di comportamento dei dispositivi interni dovute a invecchiamento, variazione di temperatura, etc.):

1. Low-noise amplifiers
2. Voltage conversion units
3. Amplificatori operazionali
4. Convertitori analogico-digitale e digitale-analogico

3. Controlli legati a specifiche applicazioni: ad esempio,

1. allocazione di memoria,
2. controllo di temperatura
3. ...



Controllo di assetto di satelliti

Sistemi di controllo avanzati hanno permesso di risolvere problemi di assetto di satelliti a fronte di:

- disturbi
- incertezze di modello e variazioni delle condizioni di comportamento dello stesso

Success Stories FOR CONTROL

H-infinity Control for Telecommunication Satellites

Telecommunication Satellite Control System Design Challenges and Needs



Geostationary telecommunication satellite platforms typically consist of a large and large (deployable) antennae together with low-damping flexible solar arrays that are rotating with respect to the Earth-pointing central body at a rate of one revolution per day. During orbit inclination correction maneuvers, the satellite is subjected to induced disturbance torques that require some few tens of nanometers control to limit the attitude depointing below 0.1 deg. Because of the low damping (10^{-3}) and shifting frequency modes with high resonant peaks of the large solar arrays (see Figure 1), a stiff filtering controller is required. Using classical control techniques, the design problem is solved in an ad hoc fashion requiring skillful tuning to initiate the lengthy iterative design procedures, tune the convergence control parameters, and balance the multi-objective performance index.

The limited capability of the classical design procedures to adapt to other

Artist's rendering of Eutelsat W2A satellite in orbit, based on the Spacebus 4000 C4 platform, with deployed solar arrays and 12-m-diameter antenna.
Source: Thales Alenia Space



Reti Wireless

I controlli automatici sono usati per migliorare la qualità del servizio:

- Ottimizzare il *throughput* (bit/s)
- Minimizzare il ritardo di trasmissione
- Garantire qualità del servizio adeguata per tutti gli utenti

By P.R. Kumar

New Technological Vistas for Systems and Control:

The Example of Wireless Networks

The biggest difference, though, is the control
 -Arthur
 3001 The Final Odyssey
 Del Rey Science Fiction, 1997

By Orhan Cagri Imer, Sonia Compans, Tamer Başar, and R. Srikant

Available Bit Rate Congestion Control in ATM Networks

Developing Explicit Rate Control Algorithms

2010 International Congress on Ultra Modern Telecommunications and Control Systems and Workshops (ICUMT)

The Weighted Graphs Approach for the GMPLS Network Reliability Enhancement

Pawel Prozycki

University of Information Technology and Management
Rzeszow, Poland
E-mail: prozycki@wsiz.rzeszow.pl

Andrzej Jajszczyk

AGH University of Science and Technology
Krakow, Poland
E-mail: jajszczyk@kt.agh.edu.pl

Abstract—The influence of the control plane architecture on reliability of the GMPLS network is studied. A method for reliability improvement based on the graph-theoretical dominating set problem proposed by the authors in an earlier work is extended to apply for weighted graphs. The calculation of weights based on routing algorithm metrics is studied. The algorithms used to select dominating nodes are extended to achieve this goal and they are evaluated for well-known network topologies by using simulation methods. The paper shows that the new method can be applied to improve network reliability.

Index Terms—GMPLS, control plane, weighted dominating set problem, reliability, simulations

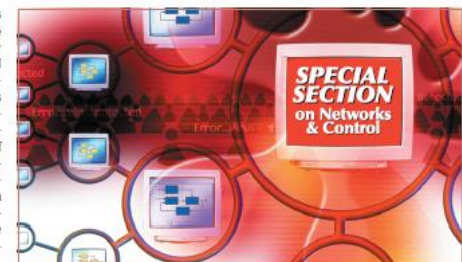
If, however, the topologies of both planes are the same, the architecture is called symmetrical.

One of the most important issues of the GMPLS, especially when it is used as a commercial backbone network, is to ensure a high level of reliability and quality of service. The problem of GMPLS reliability, also for out-of-band signaling, is therefore, the object of many analyses.

The key issue of this paper is presentation of a method for improving reliability of a network with respect to traffic engineering parameters. As said in [4] and [5], the MTTR

ATM (asynchronous transfer mode) is the underlying technology enabling B-ISDN (broadband integrated services digital network). B-ISDN was introduced as the successor to narrowband ISDN after the latter fell short of meeting the high demand for bandwidth required by emerging applications such as real-time video and high definition TV (HDTV). B-ISDN envisions the transmission of fixed-size cells (cells) over digital virtual circuits at rates exceeding 150 Mb/s.

ATM is basically a packet-switching





Sistemi di controllo distribuiti

In generale, si parla di **sistemi di controllo distribuiti** quando si hanno sottosistemi che interagiscono tra loro (attraverso obiettivi comuni o parti di sistema fisicamente interagenti).

Tali sottosistemi devono interagire tra loro tramite una rete di comunicazione (generalmente wireless) per coordinarsi.

Esempi:

- elettrodomestici che hanno al proprio interno capacità computazionale (embedded devices)
- sistemi di coordinamento del traffico (navale, aereo, terrestre)
- reti di sensori per il monitoraggio (temperatura, sostanze inquinanti, applicazioni belliche)
- unmanned aerial vehicles (UAV) per spegnimento di incendi, pattugliamento di aree geografiche, ...

Networked Decision Systems

Munther A. Dahleh and Michael Rinehart

Decision and Communication Networks: Overview and Challenges

A decision network can be broadly characterized as a distributed system of locally controlled agents whose dynamics and/or objective functions have a neighborhood structure that can be described by a graph. The decision network is supported by an underlying communication network that may consist of both wired and wireless networks of varying quality and whose connectivity structure need not align with the decision network topology. We refer to the combination of the two networks as a networked decision system. A schematic networked decision system is shown in Fig. 1.



Sistemi di controllo distribuiti

ESEMPIO: traffic control management

Vantaggi:

- migliorare efficienza energetica
- costruzione di meno strade (perché ottimizzato lo sfruttamento di quelle esistenti)
- Migliorare la sicurezza

SFIDA: sviluppare sistemi di trasmissione affidabili per comunicazione:

- **veicolo-veicolo** (wireless LAN):
 - Coordinamento tra veicoli per evitare collisioni
 - Usare singoli veicoli come nodi per comunicazione *multi-hop*
- **veicolo-infrastruttura**: informazione viene trasmessa per prendere decisioni centralizzate su come indirizzare auto, porre limiti su velocità (decisioni possono essere integrate in sistemi di guida automatici, ad esempio)





- Lo studio dell'Automatica completa le conoscenze dell'Ingegnere delle Telecomunicazioni (capacità di affrontare i problemi con un approccio sistemico)
- L' Automatica è un campo dove le Telecomunicazioni trovano applicazioni di grande valore
- Il corso di Fondamenti di Automatica fornisce strumenti e basi necessarie (metodologiche e pratiche) a chi vuole approfondire questa disciplina