

MODELS DE SISTEMES

Teresa Escobet

Universitat Politècnica de Catalunya

teresa.escobet@upc.edu

6 de setembre de 2017

Contingut

Conceptes bàsics

Models

Models matemàtics quantitius

Models en l'automatització

Models del sistema de control amb variables contínues

Control de sistemes d'events discrets (DES)

Table of Contents

Conceptes bàsics

Models

Models matemàtics quantitativus

Models en l'automatització

Models del sistema de control amb variables contínues

Control de sistemes d'events discrets (DES)

Definicions

Model

- ▶ Un model és una representació simplificada de com són les coses o com es comporten.
- ▶ Descriu la conducta observada i simplificada ignorant certs detalls. Permeten descriure sistemes complexes per ser entesos i predir el seu comportament, poden proporcionar explicacions i prediccions incorrectes fora de l'àmbit del seu ús previst.

Simulacions

- ▶ La representació imitativa del funcionament d'un sistema o procés per mitjà del funcionament d'un altre.

Sistema

- ▶ Conjunt d'objectes que s'uneixen per aconseguir algun propòsit.

Representació dels models i els estats

La **representació dels models** pot ser de diferents formes:

- ▶ Mental: representació psicològica de les situacions reals, hipotètiques o imaginàries.
- ▶ Física: Dibuix d'una casa, un pont, un esquema d'un ordinador, ...
- ▶ Simbòlica: H_2O , $F = m \cdot a$, ...

Un **estat del sistema** és el conjunt de variables necessàries per descriure'l en un instant concret. Per exemple:

- ▶ en un pàrquing ens interessa nombre de plaçes lliures
- ▶ en un diposit ens interessa el nivell
- ▶ en un circuit ens pot ineteressar el corrent, la tensió, la potència, ...

Classificació segons la naturalesa de l'estat

Discrets

Són sistemes en els quals les variables d'estat canvia instantàniament en instants de temps separats en el temps.

Exemples:

- ▶ el nombre de plaçes lliures en un pàrquing
- ▶ un telèfon
- ▶ un semàfor

Continus

Són sistemes en els quals les variables d'estat canvia de forma continua amb el temps.

- ▶ el nivell d'un diposit
- ▶ el corrent, la tensió, la potència d'un circuit elèctric
- ▶ la velocitat d'un cotxe

Caracterització dels models

Continu o discret

- ▶ La majoria de sistemes mecànics i elèctrics tenen variables d'estat que evolucionen continuament. Ex: la velocitat d'un cotxe, la potència proporcionada per una panell solar, ...
- ▶ Les equacions diferencials ens permeten representar aquest comportament.
- ▶ Altres sistemes com el manteniment de les màquines, les connexions en xarxa de la distribució d'energia elèctrica, ..., és representen amb models discrets ja que tenen comportaments lineals a trossos i constants en el temps.
- ▶ Una gran majoria de sistemes es poden representar amb model híbrids.

Classificació segons el seu comportament

Determinista (causal) o estocàstic (no causal)

- ▶ Un sistema és determinista quan no té components aleatoris (random). Ex: una cinta transportadora que alimenta una màquina d'envasat amb temps de servei constants.
- ▶ Tots els sistemes tenen alguns components estocàstics (un component d'un circuit elèctric es pot avariar).

Estàtic o dinàmic

- ▶ Un sistema es representa per un model estàtic quan la variable temps no és significativa.
- ▶ El temps és una variable molt important en els models dinàmics. Exemple: filtres de senyals, velocitat d'un cotxe, ..

Models i simulació

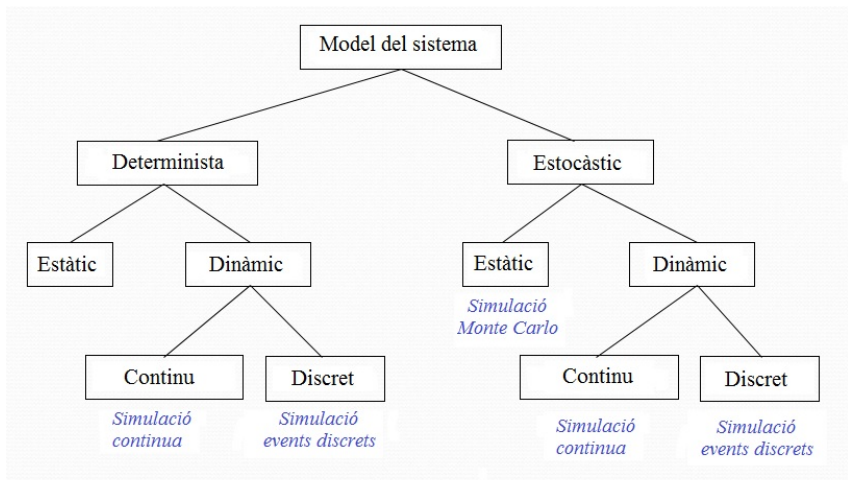


Table of Contents

Conceptes bàsics

Models

Models matemàtics quantitatius

Models en l'automatització

Models del sistema de control amb variables contínues

Control de sistemes d'events discrets (DES)

Com desenvolupar un Model

1. Definir les fites i els objectius del model. Ex: fer prediccions, millorar l'eficiència, dissenyar un sistema de control, ..
2. Desenvolupar un model conceptual. Decidir: nivell de detall, variables d'estat importants i interrelacions, ...
3. Desenvolupar les especificacions del model. Definir i adquirir les dades necessaries per generalitzar el model, anàlisi estadístic de les dades, ...
4. Desenvolupar el model computacional. Decidir el programa o llenguatge de simulació a utilitzar i implementar-ho.
5. Verificació del model. Comprovar la consistència entre el model computacional i el model especificat.
6. Validació del model. És coherent el resultat amb el sistema? en cas d'inoherència cal repetir les etapes (2), (3) i (4).

Com desenvolupar un Model

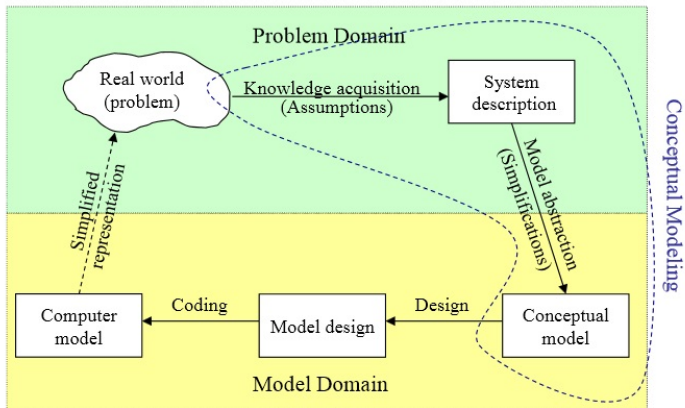


Table of Contents

Conceptes bàsics

Models

Models matemàtics quantitativus

Models en l'automatització

Models del sistema de control amb variables contínues

Control de sistemes d'events discrets (DES)

Models estàtics:

S'utilitzen per representar sistemes que estan en equilibri, o per representar el sistema a un cert instant de temps.

Poden emprar-se relacions polinòmiques per representar la relació entre variables:

$$y = f(u)$$

si el model estàtic és determinista.

Pot haver-hi models estàtics estocàstics, a on les variables d'entrada són aleatòries, en aquest cas els models es formulen de forma probabilística.

Models de sistemes dinàmics continus:

Representen l'evolució d'una variable, s'utilitzen equacions diferencials ordinàries o parcials,

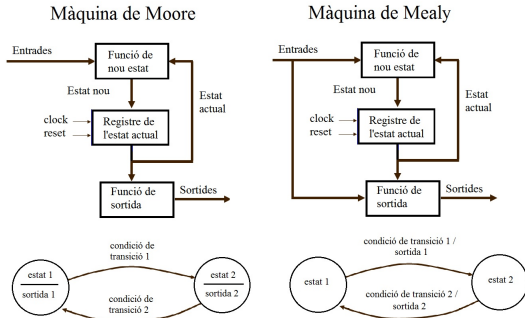
$$dy(t)/dt = f(u(t))$$

o equacions discretes si es considera que les variables d'estat del sistema evolucionen només en certs instants pre-determinats al llarg del temps:

$$y(k) + a_1y(k - 1) + \dots + a_ny(k - n) = b_0u(k) + \dots + b_mu(k - m)$$

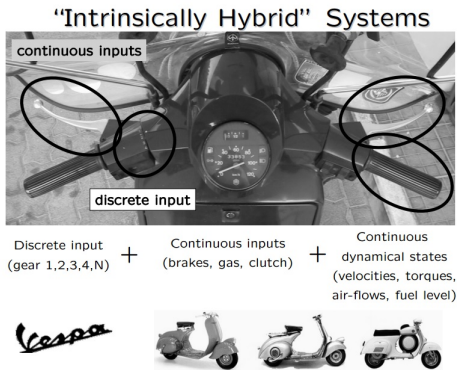
Models de sistemes dinàmics d'esdeveniments discrets:

Són models que permeten representar sistemes en els quals les variables d'estat canvien únicament a certs instants de temps i es mantenen constants la resta del temps. Exemples màquines d'estat finits:



Models híbrids:

Combinen subsistemes que segueixen filosofies contínues o discretes.



Models matemàtics quantitativus:

Exemples pràctics:

Sistema	Model matemàtic
Velocitat d'un vehicle	
Temperatura d'un forn	
Barrera de garatge	
Filtre passa alts	
Predicció de la temperatura a Manresa	
Interruptor elèctric	
....	

Table of Contents

Conceptes bàsics

Models

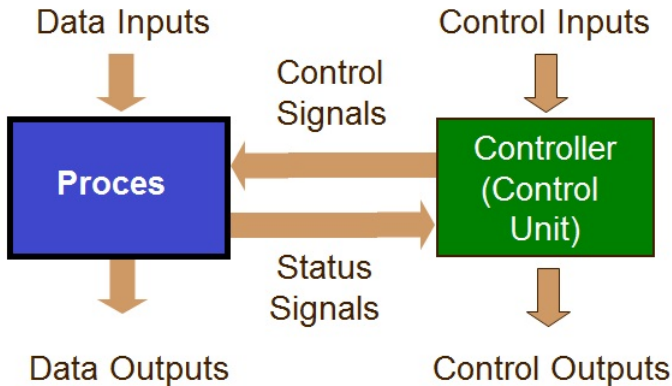
Models matemàtics quantitatius

Models en l'automatització

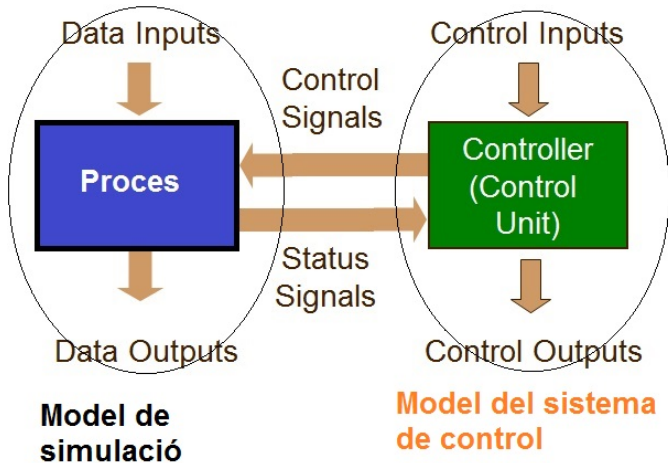
Models del sistema de control amb variables contínues

Control de sistemes d'events discrets (DES)

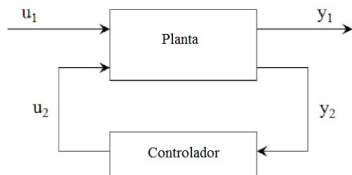
Estructura típica d'un sistema Automatitzat



Estructura típica d'un sistema Automatitzat



Generalització del problema de control:



- ▶ u_1 , inclou les variables exògenes, variables que afecten el comportament del sistema però no es pot controlar (referències, perturbacions, sorolls, ...),
- ▶ y_1 , variables que es volen controlar: errors de seguiment, senyals dels actuadors a mantenir entre uns certs límits, ...
- ▶ u_2 , conté totes les entrades controlades: tensions aplicades als motors, resistències elèctriques, ...
- ▶ y_2 , senyals d'entrada al controlador (feedback controller): senyals procedents dels sistemes sensorials

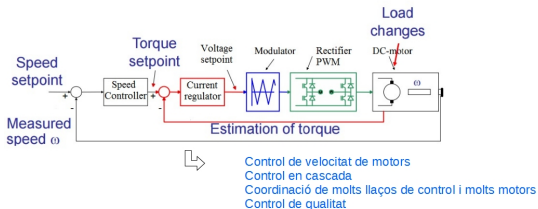
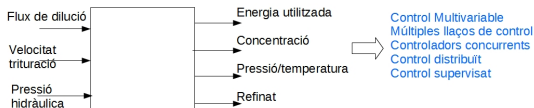
Exemples:

1. Fabricació del paper:

<http://www.youtube.com/watch?v=fZ3HQ91BHUA>

Dues etapes principals:

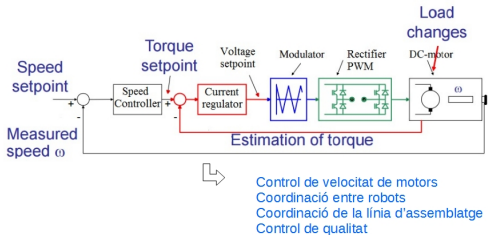
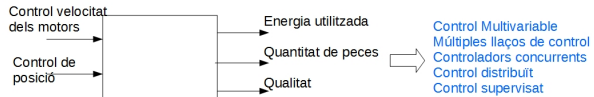
- ▶ Procès Termo-mecànic i refinat per obtenir la pulpa
- ▶ Procès de secat



Exemples:

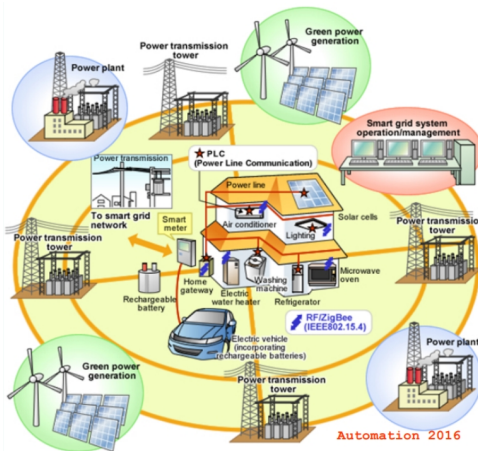
2. Producció de cotxes

<https://www.youtube.com/watch?v=FQ9zmJCBIaw>



Exemples:

3. Smart power systems



Moltes unitats de petita potència
 - Qualitat
 - Mínims de transferència

Coordinació entre unitats
 - Petites unitats controlades conjuntament
 - Micro-xarxes

Xarxes locals i funcionament en illa

Comunicacions
 Moltes dades: monitoring
 Control combinacional
 Control remot
 Supervisió (SACADA)

Sistemes de gran escala
 Rendiments
 Cost

Components necessaris en l'automatització de sistemes:

1. Sistemes sensorials: sensors de temperatura, flux, pressió, posició, inclinació, encòders, acceleració, visió, detectors de presència, de color, ...
2. Actuadors: servo motor, servo vàlvules, bombes, interruptors, sistemes d'alimentació de commutació, ...
3. Anàlisi de senyals: filtres de senyals, valors atípics (outlier), offset, tendències (drift), valors que falten, valors mitjans, nivells de soroll, ...
4. Monitorització: generació d'informes, coordinació, detecció d'avaries, optimització, ...
5. Comunicació: fàcils d'utilitzar, expandibles, segurs, confiables, estàndars oberts, ...

Table of Contents

Conceptes bàsics

Models

Models matemàtics quantitius

Models en l'automatització

Models del sistema de control amb variables contínues

Control de sistemes d'events discrets (DES)

Models de controladors continus:

ON/OFF: Control ON/OFF

És el control més simple, la sortida del controlador és ON o OFF en funció de la variable controlada i el senyal de referència (setpoint).

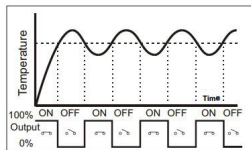
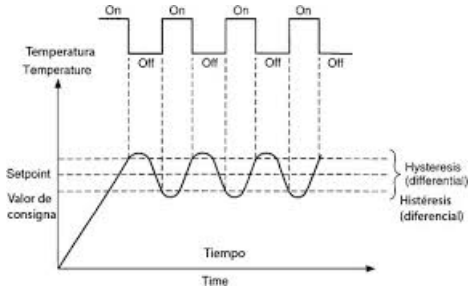


Fig 1: Basic ON / OFF control

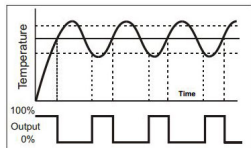


Fig 2: ON / OFF control with Deadband

ref. fig. http://www.sapiensman.com/tecnoficio/electricidad/instrumentacion_industrial4.php i

<http://www.eurotherm.com/pid-control-made-easy>

Models de controladors continus:

PID: Regulador Proporcional-Integral-Derivatiu

Per el seu funcionament es requereix sintonitzar 3 paràmetres: el guany proporcional (k_c), el temps d'acció integral (τ_I) i el temps d'acció derivatiu (τ_D).

Expressió:

$$u(t) = u_0 + P(t) + I(t) + D(t)$$

a on:

u_0 valor constant (bias),

$e(t) = y_{SP} - y_{PV}$,

$k_I = k_c / \tau_I$ i $k_D = k_c \tau_D$

$$P(t) = k_c e(t)$$

$$I(t) = k_I \int_0^t e(\tau) d\tau$$

$$D(t) = k_D \frac{d}{dt} e(t)$$

Models de controladors continus:

PID: Regulador Proporcional-Integral-Derivatiu amb modificacions

- ▶ Setpoint weighting

$$P(t) = k_c(b \cdot y_{SP}(t) - y_{PV}(t)) \text{ amb } b \in [0, 1]$$

$$D(t) = k_D \frac{d}{dt}(c \cdot y_{SP}(t) - y_{PV}(t)) \text{ amb } c \in [0, 1]$$

els valors de b i c no afecten l'estabilitat del sistema en llaç tancat vers les pertorbacions però sí que afecten en la velocitat de resposta a canvis de consigna. A nivell industrial s'utilitzen estructures PI+D ($b=1$ i $c=0$)

Models de controladors continus:

PID: Regulador Proporcional-Integral-Derivatiu amb modificacions

- ▶ Derivative kick

$$U(s) = P(s)E_P(s) + I(s)E(s) + D(s)E_D(s)$$

$$D(s) = k_D \frac{\tau_D s}{(1 + s \frac{\tau_D}{N})}$$

s'incorpora un filtre passa-baixos, amb una freqüència de tall de N/τ_D .

Models de controladors digitals:

PID continu a digital. La transformació es fa:

$$u_k = u_0 + k_c \left(e_k + \frac{\Delta t}{\tau_I} \sum_{j=1}^n e_j + \frac{\tau_D}{\Delta t} (e_k - e_{k-1}) \right)$$

$$\int_0^t e(\tau) d\tau \approx \sum_{j=1}^n e_j \Delta t$$

$$\frac{d}{dt} e(t) \approx \frac{e_k - e_{k-1}}{\Delta t}$$

- ▶ Δt és el període de mostreig que cal seleccionar en funció de la dinàmica del procés a controlar.
- ▶ Existeixen moltes fórmules per definir Δt , una de les més emprades és $T_{95}/15 < \Delta t < T_{95}/4$
- ▶ T_{95} és el temps que tarda la sortida del procés a assolir el 95% del valor final quan s'aplica un graó a la seva entrada.

Models de controladors digitals:

PID digital amb setpoint weighting i derivative kick

- ▶ Acció Proporcional:

$$P_k = k_c(b \cdot y_{SP_k} - y_{PV_k})$$

- ▶ Acció Integral:

$$I_k = I_{k-1} + k_c \frac{\Delta t}{\tau_I} (y_{SP_k} - y_{PV_k})$$

- ▶ Acció Derivativa:

$$D_k = \frac{T_D}{\tau_D + N\Delta t} D_{k-1} + \frac{k_c T_D N}{\tau_D + N\Delta t} (c (y_{SP_k} - y_{SP_{k-1}}) - (y_{PV_k} - y_{PV_{k-1}}))$$

Models de controladors digitals:

PID digital en transformada Z

$$U^*(z) = k_c \left(E(z) + \frac{\Delta t}{\tau_I} \frac{1}{1 - z^{-1}} E(z) + \frac{\tau_D}{\Delta t} (1 - z^{-1}) E(z) \right)$$

ja que: $u_k^* = u_k - u_0$, $\mathbf{Z}(e_k) = E(z)$, $\mathbf{Z}(e_{k-1}) = z^{-1} E(z)$.

Algoritme de velocitat o incremental

Es fa el canvi: $\Delta u_k = u_k - u_{k-1}$

$$\Delta u_k = k_c \left((e_k - e_{k-1}) + \frac{\Delta t}{\tau_I} e_k + \frac{\tau_D}{\Delta t} (e_k - 2e_{k-1} + e_{k-2}) \right)$$

o en transformada Z

$$\Delta U(z) = k_c \left((1 - z^{-1}) E(z) + \frac{\Delta t}{\tau_I} E(z) + \frac{\tau_D}{\Delta t} (1 - 2z^{-1} + z^{-2}) E(z) \right)$$

Models de controladors digitals:

Altres aproximacions com la trapezoïdal

$$\int_0^t e(\tau) d\tau \approx \sum_{j=1}^n \left(\frac{e_j + e_{j-1}}{2} \right) \Delta t$$

$$\Delta u_k = k_c \left((e_k - e_{k-1}) + \frac{\Delta t}{\tau_I} \left(\frac{e_k + e_{k-1}}{2} \right) + \frac{\tau_D}{\Delta t} (e_k - 2e_{k-1} + e_{k-2}) \right)$$

o en transformada **Z**

$$\Delta U(z) = k_c \left((1 - z^{-1}) + \frac{\Delta t}{\tau_I} (1 + z^{-1}) + \frac{\tau_D}{T_m} (1 - 2z^{-1} + z^{-2}) \right) E(z)$$

Característiques dels controladors PID digitals:

1. **Limitació del Windup:** increment de l'acció de control per sobre dels seus límits físics degut al sumatori de l'acció integral
 - ▶ Introduint una saturació a l'acció de control
 - ▶ Calcular el valor de l'error e_k que origini la saturació del controlador, i considerar aquest valor com a e_{k-1} per el nou càlcul de u_k

$$100 = u_0 + k_c \left(e_k + \frac{\Delta t}{\tau_I} \sum_{j=1}^n e_j + \frac{\tau_D}{\Delta t} (e_k - e_{k-1}) \right) \Rightarrow$$

$$e_k = \frac{\left(\frac{100 - u_0}{k_c} - \frac{\Delta t}{\tau_I} \sum_{i=1}^{n-1} e_i + \frac{\tau_D}{\Delta t} e_{k-1} \right)}{1 + \frac{\Delta t}{\tau_I} + \frac{\tau_D}{\Delta t}}$$

- ▶ En el cas de l'algorisme de velocitat, sols caldrà tenir en compte que si hi ha saturació no es consideri Δu_k

Característiques dels controladors PID digitals:

2. Efecte de la **saturació** en el rendiment del controlador

- ▶ De no seleccionar-se correctament la configuració del controlador i el valor de Δt es pot donar el cas que petites variacions de l'error comportin que u_k excedeixi els seus límits. Per exemple: si $k_C T_D / \Delta t = 100$ si $\Delta e_k = 1\% \Rightarrow u_k > u_{max}$

3. **Dimensions de k_C**

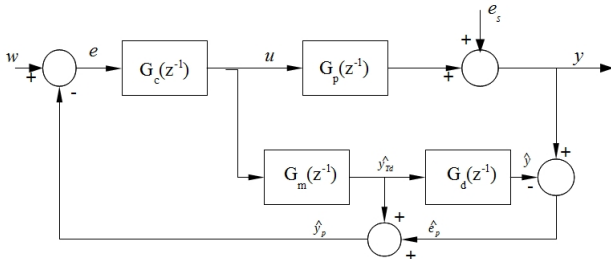
- ▶ En els controladors industrials k_C no té dimensions.
- ▶ k_C és adimensional quan y_{PV} i y_{SP} :
 - ▶ es donen en % del seu rang
 - ▶ tenen les mateixes unitats (mA, mV, ...)
- ▶ No és adimensional quan y_{PV} i y_{SP} no tenen les mateixes dimensions, en aquest cas es converteix internament en les unitats d'enginyeria que pertocin.

Característiques dels controladors PID digitals:

- 4. Compensació dels retards temporals** La majoria de controladors digitals incorporen l'opció de compensació de retards temporals.
 - ▶ Definició de retard temporal: el temps transcorregut entre el moment que es produeix un canvi en una variable d'entrada al procés i el moment en que aquesta variable és observada en una de les variables de sortida del procés utilitzada per el control.
 - ▶ La presència de retards comporta retards de fase \implies inestabilitats en el llaç tancat
 - ▶ L'estructura més emprada per resoldre el problema és la del **predictor de Smith**, n'hi ha altres com: control PI predictiu i control per model intern (IMC)

Exemples d'algorismes de compensació de retards temporals:

1. Predictor d'Smith



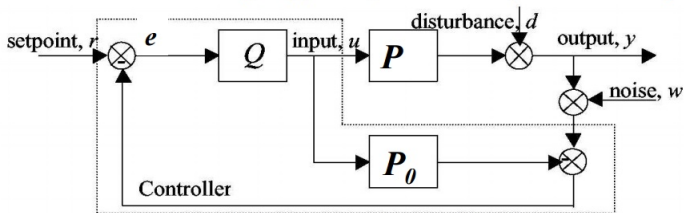
$$G_p(z^{-1}) \approx G_m(z^{-1})G_d(z^{-1}) \text{ amb } G_d(z^{-1}) = z^{-d} \text{ i } G_m(z^{-1}) = \frac{\text{num}(z^{-1})}{\text{den}(z^{-1})}$$

t_d és el retard $d = t_d / \Delta t$

Exemples d'algorismes de compensació de retards temporals:

2. Control per model intern

General controller design approach; some use in process industry



$$e = r - (y - P_0 u)$$

$$u = Qe$$



$$C = \frac{Q}{1 - QP_0}$$

- continuous time s
- discrete time z

Reference model: $T = QP_0$

Filter Q Internal model: P_0

Table of Contents

Conceptes bàsics

Models

Models matemàtics quantitativus

Models en l'automatització

Models del sistema de control amb variables contínues

Control de sistemes d'events discrets (DES)

Sistemes d'events discrets (DES): conceptes

Un DES és una màquina d'estats a on l'estat del sistema sols s'observa a instants discrets del temps.

Poden ser: sistemes conduïts per temps (time-driven) i/o sistemes conduïts per esdeveniments (event-driven).

- ▶ Esdeveniment == sucesos instantanis, per exemple:
 - ▶ accions específiques: prémer un polsador,
 - ▶ accions instantànies: avaries, canvis naturals, activació de detectors, ...
 - ▶ assoliment de determinades condicions: buffer ple, temperatura que supera un determinat llindar, ...
- ▶ la notació és semblant a les màquines d'estat

Formalització dels DES

Alguns dels formalismes per descriure els DES són:

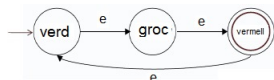
- ▶ Automat finit
- ▶ Xarxes de Petri
- ▶ Statecharts

En funció dels esdeveniments es parla de DES amb:

- ▶ Llenguatge simple: els esdeveniments no porten associat el temps $e_1 e_2 \dots e_n$;
- ▶ Llenguatge temporitzat: els esdeveniments tenen el temps associat $(e_1, t_1)(e_2, t_2) \dots (e_n, t_n)$
- ▶ Llenguatge amb temps estocàstic: els esdeveniments tenen associada una funció de probabilitat.

Autòmats finits

- ▶ Es descriuen amb la tupla $M = \langle \Sigma, S, s_0, \delta, F \rangle$
 - ▶ Σ , llista d'entrades o conjunt d'esdeveniments;
 - ▶ S , Conjunt finit d'estats, un d'ells es designa com a inicial, i alguns (o cap) poden ser estats finals;
 - ▶ $s_0 \in S$: estat inicial;
 - ▶ $\delta : S * \Sigma \rightarrow S$, conjunt de regles de transició;
 - ▶ F , llista d'estats finals (pot ser buida).



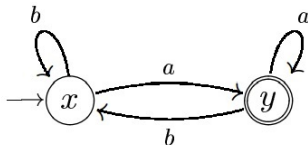
$\Sigma = \{e\}$
 $S = \{\text{verd}, \text{groc}, \text{vermell}\}$
 $s_0 = \text{verd}$
 $\delta = \{\text{verd}/e \rightarrow \text{groc}, \text{groc}/e \rightarrow \text{vermell}, \text{vermell}/e \rightarrow \text{verd}\}$
 $F = \{\text{vermell}\}$

Autòmats finits

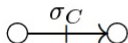
Exemple. Donat l'autòmat:

- ▶ $Q = \{x, y\}$
- ▶ $\Sigma = \{a, b\}$
- ▶ $\delta(x, a) = y, \delta(x, b) = x, \delta(y, b) = x, \delta(y, a) = y$
- ▶ $s_0 = x$
- ▶ $F = \{y\}$

Representació amb un graf dirigit amb una màquina de Moore:



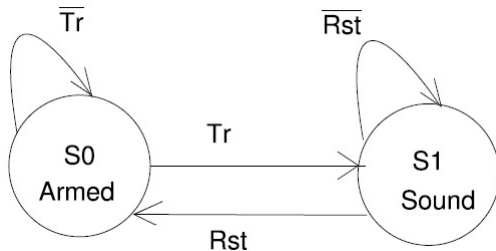
Els esdeveniments poden ser controlables o no controlables:



Autòmats finits

Exemple: Control d'una alarma

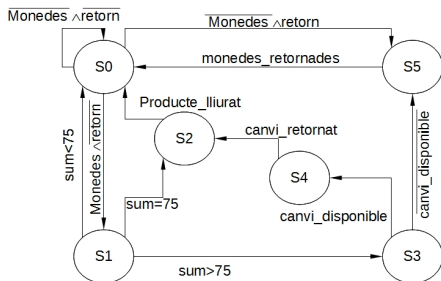
- ▶ L'alarma comença a sonar (Sound) quan s'activa el sensor de nivell. Level triggering (Tr).
- ▶ L'alarma es reinicia (estat armat) quan s'activa un botó de reinici (Rst), independentment de l'estat del sensor de nivell.



Autòmats finits

Exemple: Control d'una màquina expendedora

- ▶ Vendre un article que costa 0.75 €
- ▶ Lliurament de l'article quan les monedes introduïdes sumin 0.75 €
- ▶ Retorn de canvi i lliurar article quan les monedes introduïdes superin la suma de 0.75 €
- ▶ Retorn de totes les monedes a petició sense deixar caure l'article
- ▶ Retorn de les monedes quan la màquina no disposi de canvi



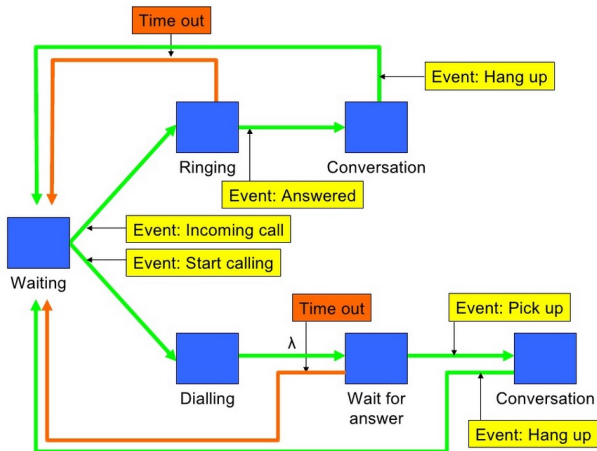
S2: Subministrar producte

S4: Retorn de canvi

S5: Retorn de totes les monedes

Autòmats finits

Exemple: Telèfon

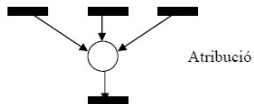
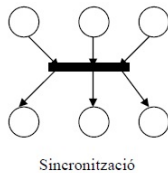
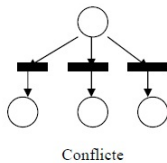
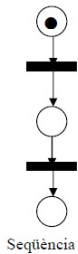


Xarxes de Petri

- ▶ Són eines de modelat de sistemes seqüencials i concurrents i útils per a la gestió de cues
- ▶ Permeten representar el comportament dinàmic d'un sistema
- ▶ És un graf orientat, format per els següents elements
 - ▶ Elements estàtics
 - ▶ Llocs: porten associada una acció
 - ▶ Transicions: permeten evolucionar d'un lloc a un altre
 - ▶ Arcs orientats: uneixen llocs amb transicions.
 - ▶ Elements dinàmics
 - ▶ Marques: es situen en els Llocs i representen l'estat del sistema en cada moment

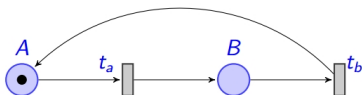
<http://www.informatik.uni-hamburg.de/TGI/PetriNets/>

Xarxes de Petri: Estructures

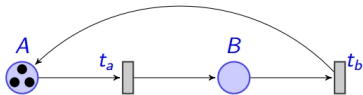


Xarxes de Petri: Exemples

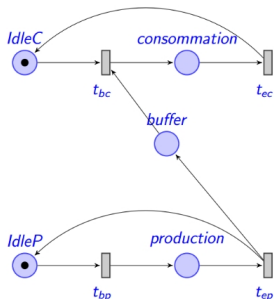
Sistema que consta d'un procés



El mateix sistema però amb tres processos idèntics

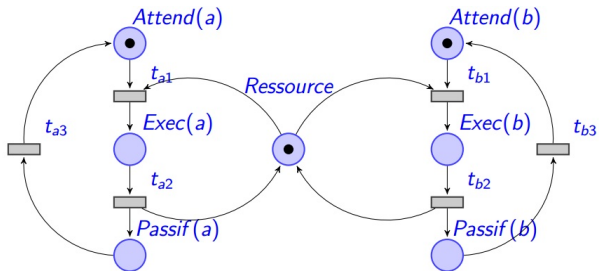


Productor/consumidor: cada vegada que es dona la transició t_{ep} indica que s'ha produït un nou objecte i es diposita en el buffer, la transició t_{bc} no es dona si no hi ha objecte en el buffer.



Xarxes de Petri: Exemples

Exclusió mútua

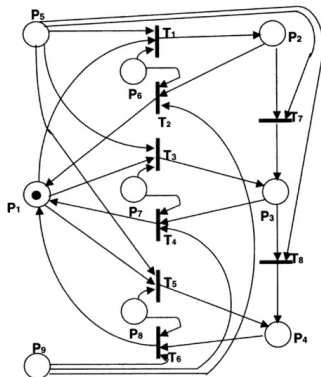


<https://www.lrde.epita.fr/~renault/teaching/imc/2-petri.pdf>

Xarxes de Petri: Exemples

Exemple: Control d'un robot porter

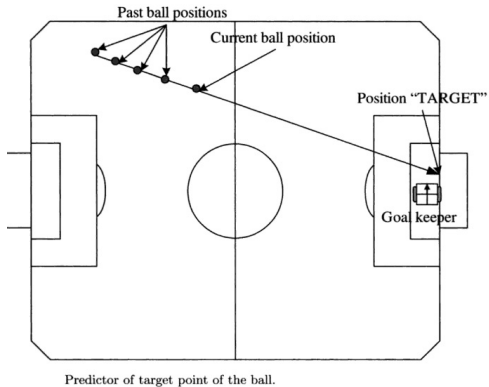
- P_1 El porter es mou al centre de la portaria
- P_2 El porter es mou a la posició "TARGER" (predicció)
- P_3 El porter es mou a la posició "ASSUME"
- P_4 El porter es mou en direcció a la pilota
- P_5 La pilota es mou cal a l'àrea de l'equip
- P_6 La pilota està molt lluny
- P_7 La pilota està a una distància mitjana
- P_8 La pilota s'està alluny
- T_1 La pilota està a llarga distància i es mou cap a l'objectiu
- T_2 La pilota està a llarga distància i s'allunya
- T_3 La pilota està a mitja distància i arribant
- T_4 La pilota està a mitja distància i allunyant-se
- T_5 La pilota està a l'àrea i arribant
- T_6 La pilota està a l'àrea i allunyant-se
- T_7 La pilota està lluny, però arriba a mitja distància
- T_8 La pilota està a mitja distància, però arribant a l'àrea de gol



A Petri-net graph for goalkeeping robot control

Xarxes de Petri: Exemples

Exemple: Control d'un robot porter



Diagrames d'estat transició

- ▶ Es representen per la notació UML (Unified Modeling Language)
- ▶ S'anomenen també Statecharts
- ▶ Hi ha un ordre específic per avaluar les condicions de transició d'estat: quan es dona un esdeveniment α en un estat A i la condició de transició C és certa, es transfereix a l'estat B .

Característiques:

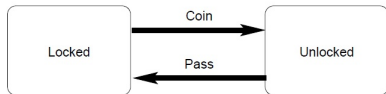
- ▶ És un diagrama d'estat-transició
- ▶ Permet establir una jerarquia, concurrències i comunicacions
- ▶ Permet definir els sistemes considerant diferents graus de profunditat (abstracció) o super-estats

Diagrames d'estat transició

Exemple: Torniquet d'entrada a una estació de metro

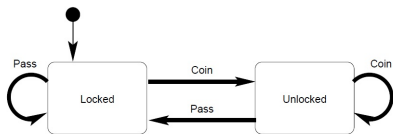
- ▶ Inicialment la porta està bloquejada "locked" i no pot rotar
- ▶ Quan es diposita una moneda o una fitxa, la porta es desbloqueja "unlocked" però no gira fins que la persona l'empeny.

Aquest sistema té dos estats: `Locked` o `Unlocked` i dues transicions (disparador/trigger) `Coin` i `Passing`



Simple State Machine Model of a Turnstile

<http://www4.ncsu.edu/~drwrigh3/docs/courses/csc216/fsm-notes.pdf>



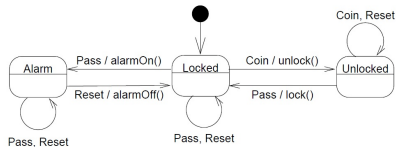
Improved State Machine Model of a Turnstile

Diagrames d'estat transició

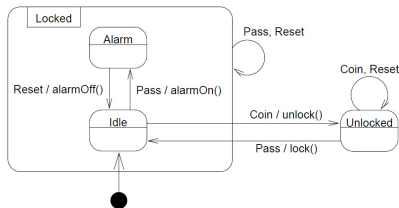
Exemple: Torniquet d'entrada a una estació de metro

- ▶ si un algú intenta passar pel torniquet mentre està bloquejat, s'activa una alarma, i roman encesa fins que es restableix per l'operador a la cabina de l'estació
- ▶ Mentre estar activa l'alarma, el torniquet roman bloquejat, i no ha de fer cas (en rebutjar) si es dipositen monedes.

Cal incorporar un nou estat `Alarm` i cal considerar tres events: introduir moneda `Coin`, algú que vol passar `Passing` i reset de l'alarma `Reset`



Revised Turnstile State Transition Diagram



Revised Turnstile State Transition Diagram with Superstate