

Supervisió Intel·ligent de Processos Dinàmics
Basada en Esdeveniments

per

Ramon Sarrate Estruch

Memòria presentada per accedir al grau
de Doctor Enginyer Industrial
(menció Doctor Europeu)
per la Universitat Politècnica de Catalunya

Director: Dr. Josep Aguilar Martin

Terrassa, març 2002

Als meus pares
Maria Rosa i Manel

A la Fatiha i al Nabil

AGRAÏMENTS

Aprofito aquestes ratlles per agrair totes aquelles persones que han contribuït d'una manera o altra a que ningú m'hagi de tornar a dir allò de: “I la Tesi, com la tenim, Ramon?”. Ho faré cronològicament, o *per ordre d'aparició*, com dirien els del setè art.

Recordo les meves primeres passes en recerca, simulant un aerolevitador en TUTSIM. Era a principis de la dècada dels 90, i encara estava estudiant. Vull donar les gràcies a en Joseba Quevedo, per haver-me acollit al departament d'ESAII a Terrassa, i per la confiança que sempre ha dipositat en mi.

L'any 1992 vaig entrar en el projecte europeu TIGER. El projecte va significar tot un repte per a mi, des del punt de vista professional: treball amb grups de diferents països, exposicions públiques en anglès . . . Però, també va resultar una experiència molt gratificant: vaig descobrir Escòcia — un país encantador. Qui podria oblidar l'acollidora gent, els bonics paisatges, els magnífics castells, els entranyables pubs, la bona música, l'excel·lent whisky o els divertidíssims *ceilidhs*?

Se'm fa difícil posar una data d'inici a aquesta Tesi. Un bon dia, en Josep Aguilar em va proposar treballar en una metodologia d'anàlisi de senyals basada en unes finestres lliscants. El tema va resultar prou motivador, i ho vaig aplicar a la detecció de fallades en una turbina a gas, en el marc del projecte TIGER.

Però no va ser fins el 1996 que en vaig ser conscient. Un cop acabat el projecte TIGER, recordo que en Josep Aguilar em va suggerir: “Aquest podria ser el teu tema de Tesi, Ramon”. Vaja, quasi sense voler-ho, ja hi estava embarcat!

He d'agrair a en Josep Aguilar infinitat de coses. Primer, el haver acceptat dirigir i supervisar la meua Tesi. Segon, el suport inestimable i els savis consells amb que sempre m'ha obsequiat. Finalment, la paciència i dedicació que ha tingut en mi, fins escriure el darrer mot de la Memòria.

El 1995 vaig iniciar la meua etapa com a professor, i, més tard, el 1997 presentava el Projecte de Tesi. Conjuguar docència i recerca no és una tasca fàcil. Durant el curs acadèmic la dedicació a la Tesi no podia ser molt intensa. Per això, vaig optar repetidament per aprofitar els estius realitzant estades al *Laboratoire d'Analyse et d'Architecture des Systèmes* a Toulouse.

Allò era *full time* Tesi.

Vull agrair al *Laboratori Europeu Associat - Sistemes Intel·ligents de Control Avançat* (LEA-SICA), i al seu director, Josep Aguilar, l'haver-me donat el suport financer que ha possibilitat aquestes escapades a França.

En total, vaig poder gaudir de tres estades, en el període 97–99. Vaig entrar a treballar en l'equip *Commande et Supervision de Bioprocédés* del *Centre de Bioingénierie Gilbert Durant* a l'INSA de Toulouse. Vull donar les gràcies especialment al seu director, Boutaib Dahhou, per haver-me acollit en el seu grup i oferir-me les millors condicions per a realitzar el meu treball. Tanmateix, no voldria oblidar la resta de membres de l'equip, que van aconseguir crear un bon ambient de treball i convivència: Gilles, Bernard, José, Vincent, Carine.

Vaig tenir l'ocasió de conèixer a dues persones singulars a Toulouse. D'una banda, la Fatiha, *culpable* d'haver fet perdre l'aposta a tots aquells que creien que acabaria abans la Tesi que no pas casar-me.

D'altra banda, en Julio Waissman: tot un personatge. Recordo amb gran estima les nostres discussions sobre temes no només de recerca sinó també de la vida, dels mexicans i dels catalans. Així mateix somric pensant en els grans moments que hem passat plegats: jugant a dominó a casa del Gilles, bevent cervesa a Hamburg, passejant en bicicleta per Karlsruhe, menjant *fois gras à volonté*, visitant les muralles de Girona. En fi, una amistat que espero retrobar algun dia mitjançant alguna *Acció Integrada* catalano-mexicana.

Durant tots aquests anys, quan no he estat a Toulouse he estat a Terrassa. Sé que alguns dels companys d'ESAIICT estaven esperant que acabés la Tesi. “Quan deixaràs els temes de gestió i et centraràs en acabar la Tesi?” – em deien assenyadament en Joan Vert, el Pep, els Ramons, el Bernardo. Però hi ha més gent que ha expressat repetidament les ganes de que acabi la Tesi: el meu pare, la meua mare, la Fatiha, la Mercè, la Zaida, i els meus amics, l'Òscar Escamilla, el Jordi Bernades, el Joan Català, el Pepe Martí... Vaja, ja veieu que les vostres paraules insistents no han estat en va.

Vull agrair també a tots els estudiants que en el seu moment es van veure engrescants en aplicar en el seu PFC algunes de les idees expressades en aquesta Tesi. Gràcies a tots ells per la seva contribució.

El darrer any ha estat maratonià, centrat en la redacció d'aquesta Memòria: Tesi a la feina, Tesi a casa, Tesi a la sopa, Tesi al llit. Però finalment he aconseguit fer camí, i entreveure la sortida al que semblava un tunel infinit.

Voldria donar les gràcies a en Settimo Termini i a la Marie Véronique Le Lann per acceptar llegir aquesta Memòria, i aportar comentaris encertats i fructífers, com a experts externs a la UPC. Així mateix voldria agrair a Pere Caminal, Vicenç Puig, Settimo Termini, Boutaib Dahhou i Joan Colomer, l'haver acceptat avaluar aquesta Tesi com a membres del Tribunal.

També vull reconèixer a totes aquelles persones que han repassat el ma-

nuscrit alliberant-lo de múltiples faltes: Josep Aguilar, Fatiha, Papa, Mercè i Zaida.

Encara vull a agrair a la meva família el suport que en tot moment m'han ofert desinteressadament: la mare, el pare, la Zaida, la Mercè. Especialment al meu Pare li vull agrair l'ènfasi que sempre ha donat a la meva educació i formació. Serveixi aquesta Tesi com un reconeixement a aquesta tasca encomiable.

Finalment, voldria dedicar aquestes darreres ratlles a la persona que un dia va decidir acompanyar-me en el camí de la vida, pel seu recolzament i la seva estima. Gràcies, Fati, i perdona per si darrerament no t'he parat tota l'atenció que et mereixies.

Terrassa, 4 de març de 2002

Índex

Índex de taules	ix
Índex de figures	xi
Notació	xv
Resum — Summary	xxi
Introducció	1
1 Supervisió de processos	11
1.1 Arquitectures de supervisió	11
1.2 Tècniques d'abstracció d'informació	15
1.2.1 Qualificació en intervals	16
1.2.2 Qualificació en conjunts difusos	16
1.2.3 Qualificació en funció de la forma del senyal	18
1.2.4 Caracterització d'un senyal mitjançant esdeveniments	19
1.3 Sistemes a esdeveniments discrets	21
2 Abstracció d'informació significativa	27
2.1 El paradigma de les finestres lliscants	28
2.2 Exemples d'analitzadors basats en finestres	38
2.2.1 Anàlisi per ajust lineal	39
2.2.2 Anàlisi estadística	46
2.2.3 Anàlisi espectral	54
2.2.4 Altres anàlisis	63
2.3 Metodologia d'abstracció d'informació	64
2.4 Exemples de camins d'anàlisi	70
2.4.1 Abstracció de tendències	70
2.4.2 Abstracció de components freqüencials	74
2.4.3 Altres camins d'anàlisi	79
2.5 Detecció d'esdeveniments	79
2.6 Exemples de camins de detecció	87
2.6.1 Detecció de tendències	88

2.6.2	Detecció de components freqüencials	90
2.6.3	Altres camins de detecció	95
3	Disseny d'un supervisor vigilant	97
3.1	Teoria dels llenguatges formals	98
3.2	Teoria dels autòmats	101
3.2.1	Autòmats i generadors	101
3.2.2	Operacions sobre generadors	106
3.3	Metodologia de modelatge	110
3.4	Modelatge d'un sistema de dipòsits pulmó	124
4	Aplicacions pràctiques del SIS	135
4.1	Entorn informàtic de desenvolupament	135
4.1.1	Detecció d'esdeveniments significatius mitjançant S- functions	135
4.1.2	Implementació de sistemes a esdeveniments discrets mitjançant STATEFLOW TM	139
4.1.3	Disseny de sistemes a esdeveniments discrets mitjançant CTCT	142
4.2	Supervisió d'un procés biotecnològic	142
4.2.1	Descripció del procés	142
4.2.2	Disseny del SIS	144
4.3	Supervisió d'una màquina eina	155
4.3.1	Descripció del procés	155
4.3.2	Disseny del SIS	158
4.4	Conclusions	169
	Conclusions	171
	A Contingut del CD-ROM	175
	B Resultats del procés biotecnològic	177
B.1	Batch <i>A</i>	177
B.2	Batch <i>D</i>	177
	C Resultats del procés de fresat	181
C.1	Assaig <i>C</i>	181
C.2	Assaig <i>A</i> amb la supervisió millorada	181
C.3	Assaig <i>C</i> amb la supervisió millorada	181
	D Sinopsi dels Statecharts	185
	Bibliografia	189

Índex de taules

4.1	Configuració del pla de detecció per al procés biotecnològic. .	150
4.2	Paràmetres del fresat.	159
4.3	Configuració del pla de detecció per al procés de mecanitzat.	163

Índex de figures

1	Dades d'acceleració durant l'aterratge de la <i>Mars Pathfinder</i> .	2
2	Mòdul estimador d'alçades	3
3	Detector de polsos i mòdul estimador d'alçades	3
4	Piràmide CIM	5
5	SIS – Sistema Intel·ligent de Supervisió.	7
1.1	Típica arquitectura de supervisió.	13
1.2	Qualificació de la variable X en signes $[X] = \{-, 0, +\}$	16
1.3	Qualificació de la temperatura X en els conjunts difusos <i>NORMAL</i> i <i>SOBREESCALFAMENT</i>	17
1.4	Descripcions triangulars de les tendències d'un senyal.	18
1.5	Esdeveniments generats al creuar un llindar que separa regions qualitatives.	20
1.6	Trajectòria d'estat d'un sistema a esdeveniments discrets.	22
2.1	Finestra lliscant d'amplada $a = 3$ i desplaçament $d = 2$	31
2.2	Bloc generador de finestres.	33
2.3	Bloc Generador de finestres de la llibreria ABSALON	33
2.4	Anàlisi de finestres d'amplada $a = 3$ i desplaçament $d = 2$	34
2.5	Bloc analitzador de finestres.	35
2.6	Bloc analitzador basat en finestres.	36
2.7	Grau de pèrdua d'informació en funció de l'amplada i el desplaçament de finestra. (a) $d \leq a + 1$, (b) $d > a + 1$	37
2.8	Ajust d'una recta a un conjunt de punts.	39
2.9	Bloc Analitzador per ajust lineal basat en finestres de la llibreria ABSALON	41
2.10	Exemple de càlcul de l'atribut <i>pendent</i> d'un senyal y per tres amplades de finestra, a_1 , a_2 i a_3	42
2.11	Característica freqüencial de l'atribut <i>pendent</i>	43
2.12	Exemple de càlcul de l'atribut <i>dispersió lineal</i> d'un senyal y per tres amplades de finestra, a_1 , a_2 i a_3	44
2.13	Característica freqüencial de l'atribut <i>dispersió lineal</i>	45
2.14	Bloc Analitzador estadístic basat en finestres de la llibreria ABSALON	50

2.15	Exemple de càlcul de l'atribut <i>moda</i> d'un senyal y per tres amplades de finestra, a_1 , a_2 i a_3	52
2.16	Exemple de càlcul de l'atribut <i>entropia</i> d'un senyal y per tres amplades de finestra, a_1 , a_2 i a_3	53
2.17	Bloc Analitzador espectral basat en finestres de la llibreria ABSALON	57
2.18	Exemple de càlcul de l'atribut <i>màxima component</i> d'un senyal y per a cinc amplades de finestra, a_1 , a_2 , a_3 , a_4 i a_5	58
2.19	Exemple de càlcul de l'atribut <i>component seleccionada</i> d'un senyal y per a quatre amplades de finestra, a_1 , a_2 , a_3 i a_4	60
2.20	Efecte del marge de tolerància en el càlcul de l'atribut <i>component seleccionada</i> d'un senyal y	62
2.21	Esquema per l'ex. 2.3.1.	67
2.22	Esquema del camí d'anàlisi per determinar les tendències d'un senyal.	71
2.23	Bloc Detector de tendències de la llibreria ABSALON	72
2.24	Un enregistrament del senyal $\mathcal{S} \equiv y$ i les tendències significatives que es desitgen detectar: 0 – estable, -1 – decreixent, 1 – creixent i 2 – molt creixent.	72
2.25	Configuració de l'analitzador estadístic.	73
2.26	Esquema del camí d'anàlisi per determinar el grau de presència d'una component freqüencial d'un senyal.	75
2.27	Bloc Detector de components freqüencials de la llibreria ABSALON	76
2.28	Un enregistrament del senyal $\mathcal{S} \equiv y$ i els nivells de presència de la component freqüencial significativa que es desitgen detectar: 0 – despreciable, 1 – notable i 2 – important.	77
2.29	Senyal \mathcal{S}_{CS} corresponent a l'atribut <i>component seleccionada</i> del senyal $\mathcal{S} \equiv y$ per quatre amplades de finestra, a_1 , a_2 , a_3 , i a_4	78
2.30	Configuració de l'analitzador estadístic.	79
2.31	Detecció d'esdeveniments en el senyal \mathcal{S}_S : $x \equiv [e_{\mathcal{S}_S}]_{v_2}^{v_3}$, $y \equiv [e_{\mathcal{S}_S}]_{v_3}^{v_2}$, $z \equiv [e_{\mathcal{S}_S}]_{v_3}^{v_1}$ i $w \equiv [e_{\mathcal{S}_S}]_{v_1}^{v_3}$	85
2.32	Bloc detector d'esdeveniments.	86
2.33	Bloc Detector d'esdeveniments de la llibreria ABSALON	86
2.34	Esquema del camí de detecció per assenyalar les tendències d'un senyal.	89
2.35	Un enregistrament del senyal $\mathcal{S} \equiv y$ i la sortida del camí d'anàlisi de tendències: 0 – estable, -1 – decreixent, 1 – creixent i 2 – molt creixent.	89
2.36	Tendències significatives detectades.	91
2.37	Esquema del camí de detecció per assenyalar la presència/absència d'una component freqüencial en un senyal.	91

2.38	Un enregistrament del senyal $S \equiv y$ i la sortida del camí d'anàlisi de components freqüencials: 0 – <i>despreiable</i> , 1 – <i>notable</i> i 2 – <i>important</i>	92
2.39	Detecció de la component freqüencial significativa.	93
2.40	Detecció de la component freqüencial significativa amb una periodicitat d'esdeveniments menor.	94
3.1	Autòmat corresponent a l'ex. 3.2.1.	102
3.2	Diagrames de transicions corresponents a l'ex.3.2.2.	105
3.3	Diagrames de transicions corresponents a l'ex. 3.2.5.	108
3.4	Diagrama de transicions corresponent a l'ex. 3.2.6.	109
3.5	El procés a modelar.	111
3.6	Notació d'una transició controlable σ_C i d'una no controlable σ_{NC}	113
3.7	Diagrama de transicions corresponent a l'ex. 3.3.1.	117
3.8	Diagrama de transicions corresponent a l'ex. 3.3.2.	118
3.9	Diagrama de transicions corresponent a l'ex. 3.3.3.	118
3.10	Generadors corresponents als components de l'ex. 3.3.4.	119
3.11	Generadors corresponents a les restriccions físiques de l'ex. 3.3.4.	120
3.12	Generador corresponent al sensor de velocitat de l'ex. 3.3.5.	121
3.13	Generadors corresponents a les restriccions de control de l'ex. 3.3.5.	122
3.14	Sistema de dipòsits pulmó	124
3.15	Generadors dels components.	126
3.16	Generadors de les restriccions físiques.	127
3.17	Generadors de les restriccions de control.	128
3.18	Generador de la planta en llaç tancat.	130
3.19	Model de la planta en STATEFLOW TM	132
3.20	Implementació en SIMULINK [®] del SIS.	133
3.21	Resultats de simulació.	134
4.1	Esquema d'un camí de detecció.	136
4.2	Llibreria ABSALON	136
4.3	Bloc de SIMULINK [®] que representa un diagrama de STATEFLOW TM	140
4.4	Model a esdeveniments discrets en STATEFLOW TM	141
4.5	Un bioreactor per a experiències de laboratori.	143
4.6	Senyals pO_2 i pH , i els estats fisiològics corresponents al <i>batch</i> C: 0 – <i>Fermentació</i> , 1 – <i>Diòxia</i> , 2 – <i>Oxidació</i> i 3 – <i>Continu</i>	145
4.7	Senyals pO_2 , <i>agitació</i> i pH corresponents al <i>batch</i> E.	146
4.8	Model a esdeveniments discrets del procediment <i>batch</i>	147
4.9	Submodel que expressa la simultanietat de l'estabilització del pH i del decreixement de la pO_2	148

4.10	SIS dissenyat per al procés biotecnològic.	151
4.11	Aplicació del SIS al <i>batch C</i>	152
4.12	Aplicació del SIS al <i>batch E</i>	153
4.13	Model amb capacitat per identificar cert comportament no desitjat.	154
4.14	Aplicació del SIS al <i>batch B</i>	156
4.15	Una fresadora horitzontal ubicada a l'ENIT de Tarbes.	157
4.16	Una fresa de tall frontal.	158
4.17	Paràmetres del fresat	159
4.18	Senyals F_x , F_y , F_z F i les etapes de mecanitzat corresponents a l'assaig <i>A</i> : 0 – <i>en buit</i> , 1 – <i>entrada</i> , 2 – <i>mecanitzat</i> i 3 – <i>sortida</i>	160
4.19	Zoom del senyal F i el seu espectre significatiu, corresponent a l'assaig <i>A</i>	161
4.20	Senyal F en brut i filtrat, i les etapes de mecanitzat corresponents a l'assaig <i>B</i> : 0 – <i>en buit</i> , 1 – <i>entrada</i> , 2 – <i>mecanitzat</i> , 3 – <i>sortida</i> i 4 – <i>manca de lubricant</i>	161
4.21	Model a esdeveniments discrets del procediment de fresat.	162
4.22	SIS dissenyat per al procés de fresat.	164
4.23	Aplicació del SIS a l'assaig <i>A</i>	165
4.24	Aplicació del SIS a l'assaig <i>B</i>	165
4.25	Model amb capacitat per identificar cert comportament inesperat.	166
4.26	Generadors dels components pel procés de mecanitzat.	167
4.27	Model del procés de mecanitzat amb detecció d'alarmes.	167
4.28	Aplicació del SIS millorat a l'assaig <i>B</i>	168
B.1	Aplicació del SIS al <i>batch A</i>	178
B.2	Aplicació del SIS al <i>batch D</i>	179
C.1	Aplicació del SIS a l'assaig <i>C</i>	182
C.2	Aplicació del SIS millorat a l'assaig <i>A</i>	182
C.3	Aplicació del SIS millorat a l'assaig <i>C</i>	183
D.1	Exemple de Statechart.	185

Notació

Símbols

A	funció d'anàlisi de finestres
\mathfrak{A}	analitzador de finestres
A	autòmat determinista
a	amplada de la finestra
C_S	catàleg d'esdeveniments associats al senyal S
\mathfrak{CA}	camí d'anàlisi d'un senyal
\mathfrak{CD}	camí de detecció d'esdeveniments significatius d'un senyal
D	funció detectora d'esdeveniments
\mathbb{D}	dinàmica pròpia del procés en llaç tancat
\mathfrak{D}	detector d'esdeveniments
d	desplaçament de la finestra
$[e_S]_{v_1}^{v_2}$	esdeveniment associat al senyal S en el pas de la magnitud v_1 a v_2
\mathbb{E}_S	conjunt d'esdeveniments associats al senyal S detectats en un determinat instant
\mathcal{E}	conjunt d'etiquetes identificatives per les zones en l'anàlisi estadística
\mathbb{F}	univers de finestres
\mathcal{F}	funció de renovació de dades de la finestra
\mathfrak{F}	generador de finestres
f	freqüència del senyal

f_{sel}	freqüència seleccionada per l'anàlisi espectral
\mathfrak{A}	analitzador basat en finestres
f_c	freqüència de Nyquist
f_i	freqüència o permanència relativa d'una distribució
\mathcal{G}	generador
$\mathcal{G}_{COM,i}$	generador que descriu la component i del procés
\mathcal{G}_{PLA}	generador que descriu el comportament de la planta en llaç tancat
$\bar{\mathcal{G}}_{PLA}$	generador que descriu el comportament de la planta en llaç obert
$\hat{\mathcal{G}}_{PLA}$	generador que descriu el comportament augmentat de la planta en llaç obert
$\mathcal{G}_{RC,k}$	generador que descriu la restricció de control k del procés
$\mathcal{G}_{RF,j}$	generador que descriu la restricció física j del procés
$\bar{H}(f)$	transformada de Fourier de la seqüència mostrejada de la funció contínua $h(t)$
$\hat{H}(f_m)$	transformada de Fourier discreta de la seqüència mostrejada de la funció contínua $h(t)$
\mathcal{H}	horitzó d'influència d'un senyal
\tilde{H}	entropia normalitzada
H	entropia
$H(f)$	transformada de Fourier de la funció contínua $h(t)$
$[\mathcal{I}_{\mathcal{S}}]_{v_k}^{v_l}$	conjunt d'esdeveniments interpolats entre les magnituds v_k i v_l
\mathbb{I}	interfície detectora d'esdeveniments significatius del procés
I	interval fruit de la partició de l'univers d'observacions
$interpol$	paràmetre booleà que indica al detector d'esdeveniments si es desitja o no interpolar esdeveniments
\mathcal{L}	conjunt de llindars per l'anàlisi estadística
L	llenguatge formal
$L(A)$	llenguatge acceptat per l'autòmat A

$L_f(\cdot)$	llenguatge marcat per un generador
$L(\mathcal{G})$	llenguatge generat pel generador \mathcal{G}
M	moda d'una distribució estadística
n_i	frequència o permanència absoluta d'una distribució
\mathfrak{A}	pla d'anàlisi d'un procés
\mathfrak{D}	pla de detecció d'esdeveniments significatius d'un procés
Q	conjunt d'estats d'un autòmat
q_0	estat inicial d'un autòmat
Q_f	conjunt d'estats finals d'un autòmat
\mathcal{S}	senyal mostrejat
\mathcal{S}	conjunt de senyals mesurats del procés
\mathcal{S}_E	senyal d'entrada a un generador de finestres
\mathcal{S}_S	senyal de sortida d'un analitzador de finestres
\mathcal{T}	univers de valors de temps
\mathbb{T}	univers d'observacions
T	període de mostreig
t	temps continu
$t(i)$	temps discret
T_{\boxplus}	període d'actualització de la finestra
t_{\boxplus}	temps associat a la finestra generada
X	conjunt d'estats d'un generador
X	conjunt d'observacions realitzades
x_0	estat inicial d'un generador
X_f	conjunt d'estats finals d'un generador
Z	zones per l'anàlisi estadística
α	ordenada a l'origen segons la recta d'ajust lineal
β	pendent de la recta d'ajust lineal

Δf	marge de tolerància per l'anàlisi espectral
δ	dada mostrejada
ϵ	cadena buida
η	funció de transicions d'estat d'un autòmat
Σ	alfabet d'esdeveniments
Σ^*	conjunt de totes les cadenes finites possibles constituïdes a partir de l'alfabet Σ
Γ	funció d'esdeveniments actius d'un generador
γ	funció de transicions d'estat d'un generador
Ω	univers de paràmetres de la finestra
ω	paràmetre de la finestra
Ω_D	paràmetres del detector d'esdeveniments
Π	partició de l'univers d'observacions en intervals
σ	desviació d'una distribució de punts en relació a la recta d'ajust
Σ_C	conjunt d'esdeveniments controlables
Σ_{NC}	conjunt d'esdeveniments no controlables
Σ_{PRO}	conjunt d'esdeveniments significatius del procés
\bar{v}_S	magnitud qualitativa inicial del senyal \mathcal{S}_S pel detector d'esdeveniments
Υ	univers de magnituds simbòliques
v	magnitud
v_S	magnitud del senyal de sortida o atribut de la finestra
$\Xi[\cdot]$	coneixement expert sobre un determinat aspecte del procés
\boxplus	finestra
\circ	operador composició d'analitzadors basats en finestres
$Ac(\cdot)$	operació part accessible d'un generador
$CoAc(\cdot)$	operació part coaccessible d'un generador
\parallel	operació de composició paral·lela de generadors

NOTACIÓ

xix

\bar{L}	operador tancament de prefixes
L^*	operador tancament de Kleene
$Poda(\cdot)$	operació poda d'un generador
\times	operació producte de generadors

Resum

En la darrera dècada, el disseny de sistemes de supervisió per a processos industrials ha rebut força atenció. Aquest fet s'explica per l'augment de la demanda en prestacions, flexibilitat i seguretat causada per la creixent conscienciació en qüestions de qualitat, legislació ambiental, i productivitat.

L'interès principal d'aquesta Tesi es centra en el disseny d'un Sistema de Supervisió Intel·ligent (SIS). La tasca encomanada al SIS és la vigilància del procés, que consisteix en identificar i notificar a l'operador el seu estat de funcionament. Així per exemple, si el SIS detecta un estat de fallada, l'operador podrà emprendre les accions correctores adequades.

La originalitat d'aquest treball es basa en la proposta d'una metodologia de disseny basada en la interpretació d'esdeveniments significatius, detectats en els senyals mesurats. En aquesta metodologia, l'expert té un paper rellevant, proporcionant el seu coneixement heurístic del procés. Es proposa una arquitectura de supervisió estructurada en dos nivells: la interfície i el supervisor.

La interfície és l'encarregada d'abstreure informació significativa del procés, a partir de l'anàlisi dels senyals mesurats. Per aquest nivell, s'ha formalitzat una metodologia de disseny fonamentada en el paradigma de les finestres lliscants. Una finestra és un conjunt de dades consecutives d'un senyal, caracteritzada per una amplada i un desplaçament. Aplicant un càlcul determinat sobre aquestes dades és possible obtenir una nova dada. Així, l'anàlisi de diverses finestres consecutives proporciona un nou senyal sobre el que es pot aplicar un procediment similar. Continuant aquest procés iteratiu, es pot arribar a abstreure un senyal amb un contingut prou significatiu per a l'expert. Aquesta informació és transmesa al supervisor en forma d'esdeveniments.

El supervisor s'encarrega d'interpretar els diversos encadenaments d'esdeveniments observats, i notifica l'estat de funcionament del procés a l'operador. Per aquest nivell, s'ha desenvolupat una metodologia per a l'obtenció d'un model comportamental de la planta, com a màquina d'estats finits. El procediment de modelatge proposat considera la definició de models associats a diversos components del procés i a les interaccions que s'estableixen entre ells. L'autòmat final s'obté per composició de tots aquests models.

Ambdós nivells es nodreixen del coneixement heurístic de l'operador: definint els esdeveniments significatius a detectar mitjançant l'anàlisi dels senyals, i associant els encadenaments esperats a estats de funcionament.

La metodologia de disseny del SIS ha estat validada satisfactòriament mitjançant l'aplicació a un procés biotecnològic i a una estació de mecanitzat.

Diversos resultats d'aquest treball han estat presentats a congressos nacionals i internacionals.

Over the last decade, the design of supervisory systems for industrial processes has received a great deal of attention. One reason for this is the increased demands on performance, flexibility, and safety caused by increased awareness, environmental regulations, and customer-driven productivity.

The main purpose of this Thesis is the design of a Supervisory Intelligent System (SIS). The proposed SIS is concerned with process monitoring, consisting in process functional state identification and its notification to the operator. For example, on faulty state detection, the operator could apply the appropriate corrective action.

The originality of this work consists in proposing a design methodology based on the interpretation of significant events, detected from measured signals. In this methodology, heuristic knowledge supplied by operators and experts is very important. A two level supervision architecture is proposed: the interface and the supervisor.

The interface deals with abstracting significant process information by means of measured signals data analysis. For this level, a design methodology based on the sliding window paradigm has been formalised. A window is a signal data set, characterised by a duration and a sliding time. Running a specific computation on this data set produces new data. So, the analysis of different consecutive windows leads to a new signal on which a similar procedure can then be applied. Following this iterative process, a signal can be derived which carries enough significant information according to the operator. This information is transmitted to the supervisor as events.

The supervisor translates observed event sequences into process states, which later are notified to the operator. For this level, we propose a design methodology that supplies a behavioural plant model by means of a finite state machine description. This procedure is based on modelling process components and interactions between them. The final automaton is obtained by the composition of all these models.

Both SIS levels depend on the available operator heuristic knowledge: defining significant events which are to be detected using data analysis, and linking expected event sequences to functional states.

The SIS design methodology has been successfully validated through its application to a biotechnological process and a milling machine.

Several results in this dissertation have been presented at national and international conferences.