

Conclusions

Contribucions d'aquesta Tesi

En aquesta Tesi s'ha desenvolupat una metodologia per a la concepció de supervisors de processos dinàmics. Per dur a terme aquesta tasca de disseny, les úniques fonts d'informació que s'han considerat han estat el conjunt de senyals mostrejats disponibles i el coneixement expert sobre el procés.

Un supervisor ha de ser capaç d'identificar l'estat de funcionament del procés: si és normal o de fallada, per exemple. Els senyals aporten informació actualitzada del procés i han de permetre detectar el seu estat de funcionament i el moment en que es produeix un canvi d'estat.

L'operador o enginyer aporta el seu coneixement expert sobre el procés, i pot ajudar a identificar el seu estat de funcionament a partir de la interpretació dels senyals mostrejats disponibles. L'únic coneixement que es requereix fa referència al comportament del procés. No és necessari disposar d'una descripció del procés en equacions diferencials o en diferències.

El disseny del supervisor es basa en l'obtenció d'un model comportamental del procés, implementat com un sistema a esdeveniments discrets. Els senyals són analitzats amb la finalitat de detectar els esdeveniments significatius que, segons l'expert, permetran identificar l'estat de funcionament.

Les principals contribucions de la Tesi són les següents:

- Proposta d'una arquitectura de supervisió basada en dues etapes: una etapa de detecció d'esdeveniments significatius i una etapa de processament mitjançant un model DES, per a la determinació de l'estat de funcionament del procés.
- Desenvolupament d'una metodologia per a la detecció d'esdeveniments significatius a partir de l'anàlisi dels senyals mostrejats disponibles.
- Desenvolupament d'una metodologia sistemàtica per al modelatge del procés com a màquina d'estats finits.

L'arquitectura de supervisió, que es proposa en aquesta Tesi, s'assembla a la plantejada per altres autors. Per exemple, a [65], Antsaklis descriu una estructuració en dos nivells molt similars. La novetat està en la base metodològica que s'ha desenvolupat per al seu disseny i implementació. D'una

banda, per a la detecció d'esdeveniments significatius s'ha formalitzat el paradigma de les finestres lliscants. D'altra banda, per a l'obtenció d'un model DES s'ha tipificat un conjunt de possibles components, i s'ha establert un procediment de combinació dels models DES d'aquests components per a l'obtenció del model DES del procés.

Un altre aspecte a destacar és que és necessària la intervenció de l'expert en ambdues etapes de disseny:

- Enumerant els esdeveniments que són significatius. Això permet dissenyar l'algorisme de detecció corresponent.
- Relacionant cada possible ordenament d'esdeveniments amb un dels estats de funcionament possibles. D'aquesta manera es pot construir el model a esdeveniments discrets del procés com a màquina d'estats finits.

Ambdues metodologies s'han il·lustrat per separat en els Capítols 2 i 3, respectivament. Posteriorment, en el Capítol 4, s'ha il·lustrat la metodologia de disseny completa, aplicada a la supervisió de dos processos reals.

Per a la realització d'aquests exemples s'ha utilitzat l'entorn de programació SIMULINK[®] de MATLAB[®]. Per a l'etapa d'abstracció d'informació s'ha desenvolupat la llibreria de blocs ABSALON, programats mitjançant *S-Functions*. Per implementar els sistemes a esdeveniments discrets s'ha utilitzat STATEFLOW[™].

Convé assenyalar que diversos aspectes del treball d'aquesta Tesi han estat presentats anteriorment a diverses conferències[11][91][92][93][94][95] i aplicats en alguns projectes de Fi de Carrera. Així mateix, és important mencionar que aquest treball s'ha desenvolupat parcialment en el marc de 2 projectes de recerca: el projecte europeu ESPRIT **TIGER** *Real-Time Situation Assessment of Dynamic, Hard to Measure Systems*, i el projecte espanyol CICYT **CADASUTRA** *CAD para la Detección, Diagnóstico y Seguimiento en Tiempo Real de Procesos Industriales*. Finalment, només cal afegir que aquesta Tesi ha estat desenvolupada en diverses estades al *LAAS, Laboratoire d'Architecture des Systemes del CNRS a Toulouse*.

Proposta de línies d'estudi i desenvolupament futures

L'estudi desenvolupat en aquesta Tesi ha permès identificar un conjunt de possibles vies de continuïtat, que s'enuncien tot seguit:

- Respecte a l'arquitectura de supervisió:
 - La metodologia desenvolupada en aquesta Tesi té per finalitat el disseny d'un supervisor amb tasques de vigilància. És a dir,

L'objectiu del supervisor és identificar l'estat de funcionament del procés. No obstant, en l'apartat 1.1 s'han enumerat altres tasques que pot desenvolupar. Fonamentalment, es basen en dotar el supervisor de la capacitat de planificar i emprendre accions sobre el procés. És el que Kotch anomena *control supervisor*[62]. La proposta és desenvolupar una metodologia que permeti dissenyar supervisors amb aquesta capacitat de reacció afegida. Per exemple, es podria investigar el disseny de sistemes tolerants a fallades[27].

- Respecte a la metodologia de detecció d'esdeveniments significatius:
 - Tot disseny d'un pla de detecció comporta la necessitat d'ajustar un conjunt de paràmetres de configuració que pot arribar a ser numerós. En aquesta Tesi, s'ha proposat un procediment manual iteratiu per l'ajust d'aquests paràmetres. Una proposta de millora és investigar la possibilitat d'automatitzar aquest procés total o parcialment mitjançant alguna tècnica d'aprenentatge.
 - Actualment la teoria només contempla la possibilitat que l'*analitzador de finestres* accepti com entrada una finestra corresponent a un sol senyal. La proposta és estendre aquesta teoria a fi que un analitzador de finestres pugui realitzar càlculs mixtes a partir de les dades contingudes en finestres de senyals diferents. Per exemple, podria donar-se el cas que es volgués obtenir un atribut de sortida combinant la informació continguda en dos senyals.
 - L'aplicació d'aquesta teoria a la resolució de nous problemes reals comportarà de ben segur la necessitat de desenvolupar nous blocs analitzadors basats en finestres, que passarien a ampliar la llibreria ABSALON. Això permetrà desenvolupar nous algorismes per a l'abstracció d'informació significativa, enriquint les possibilitats del SIS.
- Respecte a la metodologia de modelatge del procés com a DES:
 - L'expert del procés és un element clau en aquesta metodologia: ha de ser capaç d'enumerar tots els encadenaments d'esdeveniments esperats. Efectivament, l'expert del procés suposa una font de coneixement heurístic que s'ha d'explotar. Tanmateix, fóra interessant complementar la participació de l'expert amb alguna tècnica d'autoaprenentatge. Aquesta tècnica es podria nodrir de diversos enregistraments dels senyals del procés, i s'intentaria que com a resultat proporcionés encadenaments d'esdeveniments o estats de funcionament esperats. De fet, la idea d'identificar estats de funcionament mitjançant tècniques de classificació no és nova. A [13][102][103][104][105], ja es va utilitzar l'algorisme LAMDA

per a construir satisfactòriament un autòmat que modelava un procés biotecnològic. D'altra banda, a [12], es va aplicar també al modelatge d'una màquina eina. No obstant, la proposta va encaminada a investigar la possibilitat d'utilitzar algun mètode basat en les xarxes neuronals o en tècniques de classificació per a l'aprenentatge de les transicions esperades entre els estats de funcionament.

- Per a determinar l'estat de funcionament del procés s'ha utilitzat un model de DES lògic, que només es preocupa de les seqüències d'aparició dels esdeveniments. A l'apartat 1.3 s'han presentat altres tipus de models més complerts com els temporitzats o els estocàstics. Aquests models incorporen informació temporal i permeten avaluar propietats quantitatives del procés. La proposta és investigar l'obtenció d'aquests nous tipus de models (com el descrit per Lunze[74]) i avaluar-ne les seves possibilitats en les tasques de supervisió. Per exemple, un model temporitzat ens podria servir per detectar la manca d'un esdeveniment esperat en un moment donat, i aquesta manca podria indicar una situació anormal.
- La implementació del DES s'ha fet utilitzant el formalisme dels Statecharts. Es tracta d'un formalisme molt potent que permet expressar màquines d'estat de forma visualment clara. No obstant, en l'actualitat no es veu recolzat per un desenvolupament teòric d'anàlisi de propietats o de disseny. La proposta és intentar estendre la teoria dels autòmats finits[55][86] al cas dels Statecharts.
- Una crítica fonamentada al modelatge mitjançant autòmats és la complexitat dels models que corresponen a processos amb un gran número de components. Segons s'ha comentat a l'apartat 1.3, un dels punts forts de les XdP (*i.e.*, xarxes de Petri) és que en aquests casos es poden arribar a obtenir models més simples que amb autòmats. La proposta és investigar el modelatge del procés mitjançant XdP i avaluar-ne les possibilitats.