



Guia docent

240AR054 - 240AR054 - Control Predictiu Basat en Models i Sistemes Híbrids

Última modificació: 16/04/2024

Unitat responsable: Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Industrial de Barcelona
Unitat que imparteix: 707 - ESAII - Departament d'Enginyeria de Sistemes, Automàtica i Informàtica Industrial.

Titulació: **Curs:** 2024 **Crèdits ECTS:** 4.5
Idiomes: Anglès

PROFESSORAT

Professorat responsable: CARLOS AUGUSTO OCAMPO MARTINEZ

Altres: RAMON SARRATE ESTRUCH

CAPACITATS PRÈVIES

Àlgebra lineal, Modelització i control de sistemes lineals a temps continu/discret, Optimització i Teoria dels sistemes a esdeveniments discrets.

COMPETÈNCIES DE LA TITULACIÓ A LES QUALS CONTRIBUEIX L'ASSIGNATURA

Específiques:

1. L'estudiant / a serà capaç d'analitzar i dissenyar sistemes lineals (mono i multivariables, representació externa i interna) i sistemes no lineals. Això inclou la seva estabilitat, el disseny de controladors i l'avaluació de la seva resposta en llaç tancat.
2. L'estudiant / a serà capaç d'utilitzar eines d'anàlisi i disseny assistit per ordinador de sistemes de control en les tasques habituals d'anàlisi, simulació i disseny de controladors.

Genèriques:

3. Tenir els adequats coneixements matemàtics, analítics, científics, instrumentals, tecnològics, d'informació i de gestió.
4. Capacitat de fer recerca, desenvolupament i innovació en l'àmbit de l'enginyeria de sistemes, de control i la robòtica, així com de dirigir el desenvolupament de solucions d'enginyeria en entorns nous o poc coneguts, relacionant creativitat, innovació i transferència de tecnologia

METODOLOGIES DOCENTS

La metodologia del curs combina les classes presencials (llició magistral i sessions de pràctiques) i l'aprenentatge autònom (resolució de problemes). Aquestes metodologies es detallen a la secció de descripció d'activitats.



OBJECTIUS D'APRENTATGE DE L'ASSIGNATURA

Al finalitzar el curs, l'estudiant serà capaç de:

- Adquirir i utilitzar els conceptes bàsics i fonamentals del disseny de controladors predictius basats en el model matemàtic del sistema.
- Dissenyar diferents estructures de controladors predictius lineals tenint en compte les principals qualitats (dinàmiques i/o estàtiques) del sistema en estudi.
- Modificar convenientment els dissenys de controladors predictius de tal manera que s'adeqüin a les exigències i oportunitats tecnològiques actuals.
- Identificar diferents dissenys de controladors predictius avançats (e.g., MPC híbrid, MPC no lineal, MPC explícit), i reconèixer les seves principals característiques, així com els seus fonaments.
- Enumerar les diferents classes de sistemes híbrids i descriure les seves principals característiques.
- Aplicar tècniques de modelització de sistemes híbrids.
- Analitzar sistemes híbrids per determinar les seves propietats i qualitats.
- Utilitzar eines informàtiques de suport a la modelització, simulació, anàlisi i control de sistemes híbrids.

HORES TOTALES DE DEDICACIÓ DE L'ESTUDIANTAT

Tipus	Hores	Percentatge
Hores grup petit	10,0	8.89
Hores grup gran	30,5	27.11
Hores aprenentatge autònom	72,0	64.00

Dedicació total: 112.5 h

CONTINGUTS

1. Introducció als sistemes híbrids

Descripció:

- 1.1 Característiques d'un sistema híbrid.
- 1.2 Exemples de sistemes híbrids.
- 1.3 Formalismes per modelitzar sistemes híbrids.

Objectius específics:

L'estudiant haurà de ser capaç de definir un sistema híbrid i conscienciar-se sobre la complexitat de les tècniques que permeten estudiar-los. Així mateix haurà de saber reconèixer els diferents tipus de formalismes que permeten descriure'ls matemàticament.

Activitats vinculades:

Lliçó magistral, resolució de problemes, examen final

Dedicació: 4h 15m

Grup gran/Teoria: 2h 15m

Aprenentatge autònom: 2h

2. L'autòmat híbrid

Descripció:

- 2.1 Representació matemàtica
- 2.2 Tipus d'autòmats híbrids
- 2.3 Propietats
- 2.4 Tècniques de verificació

Objectius específics:

L'estudiant haurà de ser capaç de modelitzar un sistema híbrid com un autòmat híbrid i saber reconèixer de quin tipus es tracta. Així mateix haurà de saber determinar les seves propietats a partir de les seves execucions. També haurà de saber reconèixer diferents tècniques formals de verificació d'autòmats híbrids. Finalment haurà de familiaritzar-se en l'ús d'eines informàtiques de suport a la modelització, simulació i anàlisi d'autòmats híbrids.

Activitats vinculades:

Lliçó magistral, sessions pràctiques, resolució de problemes, examen final

Dedicació: 26h

Grup gran/Teoria: 6h 30m
Grup mitjà/Pràctiques: 2h 30m
Aprentatge autònom: 17h

3. Els sistemes mixtes lògic-dinàmics

Descripció:

- 3.1 Representació matemàtica dels sistemes MLD
- 3.2 Altres formalismes equivalents: DHA, PWA.
- 3.3 Tècniques de verificació

Objectius específics:

L'estudiant haurà de ser capaç de modelitzar un sistema híbrid com a sistema MLD, DHA o PWA. També haurà de saber aplicar tècniques d'optimització per a la verificació d'aquest tipus de sistemes híbrids. Finalment haurà de familiaritzar-se en l'ús d'eines informàtiques de suport a la modelització, simulació i anàlisi d'aquests tipus de sistemes híbrids.

Activitats vinculades:

Lliçó magistral, sessions pràctiques, resolució de problemes, examen final

Dedicació: 26h

Grup gran/Teoria: 6h 30m
Grup mitjà/Pràctiques: 2h 30m
Aprentatge autònom: 17h



4. Control predictiu basat en model: Introducció i motivació

Descripció:

- 4.1 Control clàssic vs. Control modern
- 4.2 Estadístiques i aplicacions industrials
- 4.3 L'idea bàsica i els fonaments del MPC

Objectius específics:

L'estudiant haurà de ser capaç de conèixer les principals característiques del control predictiu i el seu paper actualment en el món de l'indústria i l'acadèmia. A més, haurà de ser capaç de descriure les parts fonamentals del disseny de controladors MPC i l'idea bàsica de l'estratègia completa.

Activitats vinculades:

Lliçó magistral, examen final

Dedicació: 6h 15m

Grup gran/Teoria: 2h 15m

Aprenentatge autònom: 4h

5. Control predictiu basat en models lineals

Descripció:

- 5.1 Formulació bàsica
 - 5.1.1 Elements
 - 5.1.2 Horitzons de predicció/control finits/infinits
 - 5.1.3 Manipulació de restriccions (febles, dures i variables en el temps)
- 5.2 Solució del problema de control predictiu
- 5.3 Estabilitat i factibilitat
 - 5.3.1 Restriccions terminals
 - 5.3.2 Incertesa del model
 - 5.3.3 Anàlisi de robustesa
 - 5.3.4 Factibilitat recursiva

Objectius específics:

L'estudiant haurà de ser capaç de plantejar un problema de control predictiu, definint adequadament cadascuna de les seves parts, així com descriure els diferents paràmetres de sintonia del controlador i com ajustar-los. A la vegada, l'estudiant adquirirà la capacitat de donar solució al problema de MPC plantejat. A més, es discutiran i adquiriran altres habilitats relacionades amb la descripció i millora de les prestacions en llaç tancat fent servir MPC.

Activitats vinculades:

Lliçó magistral, sessions pràctiques, resolució de problemes, examen final

Dedicació: 23h 30m

Grup gran/Teoria: 6h 30m

Grup mitjà/Pràctiques: 2h 30m

Aprenentatge autònom: 14h 30m

6. Limitacions de l'estratègia MPC

Descripció:

- 6.1 Complexitat
- 6.2 Factibilitat i existència de les solucions del problema de optimització
- 6.3 Requeriments computacionals i eines de programari
- 6.4 Implementacions en temps real (tècniques de MPC ràpid)
- 6.5 Sistemes dinàmics a gran escala

Objectius específics:

L'estudiant haurà de ser capaç de determinar els límits dels dissenys de control predictiu, trobant possibles solucions i estratègies alternatives per a superar-los. A més a més, l'estudiant serà capaç d'identificar la relació existent entre la naturalesa del sistema real i la família de controladors MPC adequats per l'esquema a llaç tancat resultant.

Activitats vinculades:

Lliçó magistral, resolució de problemes, examen final

Dedicació: 9h 15m

Grup gran/Teoria: 2h 15m

Aprenentatge autònom: 7h

7. Altres tècniques MPC

Descripció:

- 7.1 MPC explícit
 - 7.1.1 Conjunts factibles i invariants
 - 7.1.2 Programació multiparamètrica
- 7.2 MPC no lineal
 - 7.2.1 Formulació general
 - 7.2.2 Algoritmes de solució
 - 7.2.3 Exemples bàsics
- 7.3 MPC Híbrid
 - 7.3.1 Formulació general
 - 7.3.2 Algoritmes de solució
 - 7.3.3 Exemples bàsics

Objectius específics:

L'estudiant serà capaç de determinar la solució explícita d'un problema MPC mitjançant l'ús d'optimització multiparamètrica i el càlcul de conjunts factibles i invariants. A més a més, serà capaç de reconèixer els conceptes i les eines bàsiques pel plantejament de problemes MPC per sistemes de diversa natura, tals com sistemes no lineals i híbrids.

Activitats vinculades:

Lliçó magistral, sessions pràctiques, resolució de problemes, examen final

Dedicació: 17h 15m

Grup gran/Teoria: 4h 15m

Grup mitjà/Pràctiques: 2h 30m

Aprenentatge autònom: 10h 30m

ACTIVITATS

1. LLIÇÓ MAGISTRAL

Descripció:

El professor exposarà la teoria i introduirà exercicis breus per millorar l'aprenentatge de la matèria, que seran resolts pels estudiants a classe. El professor fomentarà la participació activa dels estudiants. Es planificaran sessions de 2h/3h per setmana per a aquesta activitat.

Material:

Transparències, bibliografia i enunciats d'exercicis breus.

Lliurament:

Exercicis resolts a classe

Dedicació: 28h

Grup gran/Teoria: 28h

2. SESSIONS PRÀCTIQUES

Descripció:

S'utilitzaran eines informàtiques de càlcul numèric (com MATLAB) per a la simulació i anàlisi de sistemes híbrids i pel disseny de controladors MPC. Els enunciats de pràctiques es resoldran en parelles. Es planificaran sessions de 2.5h per setmana per a aquesta activitat.

Material:

Enunciats de pràctiques, guies d'usuari de les eines informàtiques, transparències i bibliografia.

Lliurament:

Informes de pràctiques

Dedicació: 26h

Aprenentatge autònom: 16h

Grup mitjà/Pràctiques: 10h

3. RESOLUCIÓ DE PROBLEMES

Descripció:

Es proposaran problemes que comportaran un desenvolupament teòric i pràctic, i l'ús d'eines informàtiques. Els problemes hauran de ser resolts de forma individual.

Material:

Enunciats de problemes, guies d'usuari de les eines informàtiques, transparències i bibliografia.

Lliurament:

Informes de problemes

Dedicació: 20h

Aprenentatge autònom: 20h



4. EXAMEN FINAL

Descripció:

Es planificarà un examen al final del curs, que avaluarà el contingut de tot el curs. L'examen es resoldrà individualment amb l'ajut d'apunts i llibres, i possiblement també amb eines informàtiques.

Material:

Examen, transparències i bibliografia.

Lliurament:

L'examen resolt.

Dedicació: 38h 30m

Aprenentatge autònom: 36h

Grup gran/Teoria: 2h 30m

SISTEMA DE QUALIFICACIÓ

Les capacitats i competències adquirides s'avaluaran mitjançant tres activitats:

- informes de pràctiques (30% de la nota del curs)
- informes de problemes (30% de la nota del curs)
- examen final (40% de la nota del curs)

BIBLIOGRAFIA

Bàsica:

- Camacho, E.F.; Bordons, C. Model predictive control [en línia]. 2nd ed. London: Springer-Verlag, 2004 [Consulta: 05/04/2017]. Disponible a: <http://dx.doi.org/10.1007/978-0-85729-398-5>. ISBN 1852336943.
- Goodwin, G.C.; Seron, M.; De Doná, J. Constrained control and estimation : an optimization approach [en línia]. Berlin: Springer-Verlag, 2005 [Consulta: 17/11/2014]. Disponible a: <http://link.springer.com/book/10.1007/b138145>. ISBN 978-1-84628-063-4.
- Rawlings, J.B.; Mayne, D.Q. Model predictive control : theory and design. Madison, Wisconsin: Nob Hill Pub, 2009. ISBN 9780975937709.
- Maciejowski, J.M. Predictive control with constraints. Great Britain: Prentice Hall, 2002. ISBN 0201398230.
- Schaft, A.J.van der; Schumacher, J.M. An introduction to hybrid dynamical systems. London ; New York: Springer-Verlag, 2000. ISBN 9781852332334.
- Bemporad, A.; Morari, M. "Control of systems integrating logic, dynamics, and constraints". Automatica [en línia]. Vol. 35, núm. 3 (1999), p. 407-427 Disponible a: <http://www.sciencedirect.com/science/journal/00051098>.- Tondel, P.; Johansen, T.A.; Bemporad, A. "An algorithm for multi-parametric quadratic programming and explicit MPC solutions". Automatica [en línia]. Vol. 39, núm. 3 (2003), p. 489-497 Disponible a: <http://www.sciencedirect.com/science/journal/00051098>.- Lunze, Jan ; Lamnabhi-Lagarrigue, Françoise (eds.). Handbook of Hybrid Systems Control : Theory, Tools, Applications [en línia]. New York: Cambridge University Press, 2009 [Consulta: 22/04/2016]. Disponible a: <http://site.ebrary.com/lib/upcatalunya/detail.action?docID=10356367>. ISBN 9780521765053.

Complementària:

- Cassandras, Christos G; Lafortune, Stéphan. Introduction to discrete event systems. 2nd ed. Boston: Kluwer Academic Publishers, 2008. ISBN 9780387333328.
- Liberzon, D. Switching in systems and control. Boston: Birkhauser, 2003. ISBN 978-0-8176-4297-6.
- Borrelli, F. Constrained optimal control of linear and hybrid systems. Berlin [etc.]: Springer-Verlag, 2003. ISBN 978-3-540-00257-4.
- Schröder, J. Modelling, state observation, and diagnosis of quantised systems. Berlin: Springer-Verlag, 2002. ISBN 978-3-540-44075-8.
- Goebel, R.; Sanfelice, R.G.; Teel, A.R. "Hybrid dynamical systems". IEEE Control Systems Magazine [en línia]. Vol. 29, núm. 2 (2009), p.28-93 Disponible a: <http://ieeexplore.ieee.org/servlet/opac?punumber=37>.- Lemmon, M.D.; He, K.X.; Markovskiy, I. "Supervisory hybrid systems". IEEE Control Systems Magazine [en línia]. Vol. 19, núm. 4 (1999), p. 42-55 Disponible a: <http://ieeexplore.ieee.org/servlet/opac?punumber=37>.- Bemporad, A.; Morari, M.; Dua, V.; Pistikopoulos, E.N. "The explicit linear quadratic regulator for constrained systems". Automatica [en línia]. Vol. 38, núm. 1 (2002), p. 3-20 Disponible a: <http://www.sciencedirect.com/science/journal/00051098>.- Mayne, D.Q.; Rawlings, J.B.; Rao, C.V.; Sokaert, P.O.M. "Constrained model predictive control: Stability and optimality". Automatica [en línia]. Vol. 36, núm. 6 (2000), p. 789-814 Disponible a:



<http://www.sciencedirect.com/science/journal/00051098>.

RECURSOS

Enllaç web:

- <http://control-ps2316-sept2009.wikispaces.com/file/view/CONTROL+PREDICTIVO.pdf>. Bordons; C., Control predictivo: Metodología, tecnología y nuevas perspectivas. Technical report, Departamento de Ingeniería de Sistemas y Automática, Universidad de Sevilla, Aguadulce, Almería, 2000
- <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.111.717&rep=rep1&type=pdf>. Bemporad, A., Modeling, Control and Reachability Analysis of Discrete-time Hybrid Systems, Lecture Notes & DISC School on Hybrid Systems, Mar. 2003.
- <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.76.2926&rep=rep1&type=pdf>. Lygeros, J., Lecture Notes on Hybrid Systems. Department of Electrical and Computer Engineering University of Patras. Greece. 2004.