

Índice de contenidos

Resumen	1
----------------	----------

Resum	3
--------------	----------

Abstract	5
-----------------	----------

1. Introducción	7
------------------------	----------

1.1. El Controlador Predictivo Basado en Modelos (CPBM). Perspectiva Histórica	7
1.1.1. La metodología del control predictivo	7
1.1.1.1. Predictor	11
1.1.1.2. Función de coste	13
1.1.1.3. Optimizador	16
1.1.2. Evolución del CPBM	16
1.2. Motivación, objetivos y estructura de la tesis	21
1.2.1. Motivación	21
1.2.2. Objetivos	27

1.2.3. Estructura	28
2. Revisión del diseño del GPC MIMO E/S	31
2.1. Introducción	31
2.2. Definición del controlador	32
2.3. Presencia de restricciones	37
2.3.1. Planteamiento del problema de minimización	37
2.3.2. Clasificación de las restricciones	38
2.4. Conclusiones del capítulo	40
3. Diseño del controlador GPC MIMO en espacio de estados	43
3.1. Introducción	44
3.2. Modelo CARIMA en espacio de estados propuesto	45
3.2.1. Definición del modelo	45
3.2.2. Equivalencia entre modelos CARIMA	46
3.3. Predicción de las salidas	53
3.3.1. Obtención del modelo de predicción	53
3.3.2. Comparativa de los modelos de predicción	55
3.4. Índice de coste cuadrático para el GPC MIMO en espacio de estados	56
3.5. Ley de control del GPC MIMO sin restricciones	58
3.6. Estimación de los estados	61
3.6.1. Definición del observador	61
3.6.2. Diseño del observador por asignación de polos	61
3.6.3. Equivalencia entre el observador y los polinomios de filtrado	65
3.7. Representación en espacio de estados del bucle cerrado	69
3.8. Presencia de restricciones	71

3.8.1.	Planteamiento del problema de minimización	71
3.8.2.	Restricciones duras	71
3.8.3.	Restricciones blandas	76
3.9.	Comparación entre el GPC MIMO E/S y el GPC MIMO en espacio de estados	77
3.9.1.	Comparativa de la memoria que requieren	77
3.9.2.	Estimación comparativa del tiempo de cálculo de la acción de control	81
3.10.	Aplicación: reactor agitado	90
3.10.1.	Caso 1	91
3.10.2.	Caso 2	93
3.11.	Aplicación: péndulo invertido	95
3.12.	Conclusiones del capítulo	100
4.	Propiedades del controlador GPC en espacio de estados	103
4.1.	Introducción	104
4.2.	Análisis del modelo CARIMA	105
4.2.1.	Observabilidad del modelo CARIMA	105
4.2.2.	Controlabilidad del modelo CARIMA	105
4.2.3.	El Modelo CARIMA es una realización mínima	106
4.3.	Estudio de la existencia y unicidad de la ley de control	106
4.3.1.	Caso sin restricciones	107
4.3.1.1.	Casos en los que $N^T \bar{Q}N + \bar{R}$ es definida positiva	107
4.3.1.2.	Caso de existencia de infinitas soluciones	108
4.3.2.	Caso con restricciones	109
4.3.2.1.	Caso de infinitas soluciones	110
4.4.	Efecto de robustez del observador	115
4.5.	Análisis del bucle cerrado para el caso sin restricciones	121

4.6. Conclusiones del capítulo	125
5. Análisis y diseño de GPC estable	127
5.1. Introducción	127
5.2. Análisis de estabilidad nominal sin restricciones	128
5.2.1. Valor óptimo del índice de coste	128
5.2.2. Análisis de estabilidad	131
5.2.2.1. Casos en los que J_k^* no es función de Lyapunov	134
5.3. Diseño estable del GPC sin restricciones	139
5.3.1. Garantía de estabilidad	140
5.3.2. Método iterativo de elección de N_u y N_2 para diseño estable	143
5.4. Análisis de estabilidad con restricciones	146
5.4.1. Introducción	146
5.4.2. Resolubilidad	146
5.4.2.1. Aplicación de la Teoría de Conjuntos Invariantes al GPC	148
5.4.2.2. Caso de estimación de los estados mediante observador	159
5.5. Diseño estable de GPC con restricciones	168
5.5.1. Garantía de estabilidad	168
5.5.2. Método iterativo de elección de N_2 y N_u para diseño estable	169
5.6. Conclusiones del capítulo	172
6. Diseño robusto del GPC	173
6.1. Introducción	174
6.2. Diseño robusto: caso nominal	175
6.3. Diseño robusto: caso general	184
6.3.1. Conceptos básicos del control robusto \mathcal{H}_∞	186

6.3.1.1.	Incertidumbre estructurada, μ análisis.	191
6.3.2.	Diseño basado en LMIs	193
6.3.2.1.	Ideas previas	193
6.3.2.2.	Conceptos y definiciones	194
6.3.2.3.	Condiciones de estabilidad robusta	196
6.3.2.4.	Condiciones de satisfacción de especificaciones basadas en normas	205
6.3.2.5.	Condiciones de asignación de los polos en bucle cerrado .	217
6.3.2.6.	Inclusión de restricciones	223
6.3.2.7.	Condiciones para el caso de sistemas con parámetros va- riables con el tiempo	232
6.4.	Conclusiones del capítulo	234
7.	Control de sistemas no lineales	237
7.1.	Introducción	238
7.2.	Sistemas LPV	238
7.2.1.	Inclusión de un sistema no lineal dentro un sistema LPV	239
7.2.1.1.	Caso particular: sistemas no lineales identificados en dife- rentes puntos de funcionamiento	241
7.3.	Diseño del controlador-observador GPC para sistemas LPV	246
7.3.1.	Aplicación a una unión flexible	248
7.4.	Controladores LPV robustos	252
7.4.1.	Controlador-observador GPC-LPV	253
7.5.	Diseño del controlador-observador GPC-LPV	256
7.5.1.	Caso de sistemas LPV obtenidos por identificación	262
7.6.	Aplicación: vaporizador de gases	264
7.7.	Aplicación: motor diesel sobrealimentado	271

7.7.1. Introducción	271
7.7.2. Modelo del motor	272
7.7.3. Diseño del controlador GPC-LPV	273
7.8. Conclusiones del capítulo	280
8. Conclusiones de la Tesis y trabajos futuros	285
8.1. Conclusiones	285
8.2. Trabajos futuros	288
A. Demostraciones	291
A.1. Demostraciones correspondientes al capítulo 3	291
A.2. Demostraciones correspondientes al capítulo 4	297
A.3. Demostraciones correspondientes al capítulo 5	317
B. Análisis del rango de la matriz N	335
C. Cálculo de puntos de equilibrio	339
C.1. Introducción	339
C.2. Ecuaciones para el controlador GPC asociadas a las nuevas variables . . .	342
D. Teoría de conjuntos invariantes	345
D.1. Introducción	345
D.2. Conjuntos admisibles con respecto a la entrada y a la salida	346
D.3. Conjuntos robustos de un paso y conjuntos robustos alcanzados	346

D.4. Conjuntos positivamente invariantes robustos	347
D.5. Conjuntos invariantes robustos bajo control	348
D.6. Conjuntos robustamente controlables	349
D.7. Conjuntos robustamente estabilizables	350
D.8. Conjuntos robustamente admisibles y el cálculo del mayor conjunto invariante robusto bajo control	352
E. Análisis en frecuencia de matrices de transferencia discretas	355
E.1. Valores singulares	355
E.2. Respuesta en frecuencia de sistemas discretos	356
E.3. Normas inducidas	357
E.3.1. Algunas normas inducidas importantes de sistemas	357
E.3.2. Demostraciones	358
F. Resultados sobre LMIs	361
F.1. Demostraciones generales	361
F.2. Condiciones de estabilidad robusta	364
F.2.1. Incertidumbre afín en el bucle cerrado	364
F.2.2. Incertidumbre afín en el bucle cerrado con función de Lyapunov paramétrica afín	366
F.2.3. Incertidumbre afín en el bucle cerrado y función de Lyapunov con dependencia cuadrática	367
F.2.4. Incertidumbre LFR en el bucle cerrado	368
F.3. Condiciones de satisfacción de normas	372
F.3.1. Norma ∞	372
F.3.1.1. Cálculo de la norma ∞	372

G. Resultados sobre modelos LPV identificados **375**

G.1. Existencia y cálculo del estado del proceso en equilibrio 375

G.2. Existencia del estado del controlador en equilibrio 379

Bibliografía **383**
