
Índice de contenidos

Resumen	v
Resum	vii
Abstract	ix
Agradecimientos	xi
Índice de contenidos	xvi
1 Introducción	1
1.1 Motivación	1
1.2 Planteamiento del problema	1
1.3 Definiciones	4
1.4 Objetivos	5
1.5 Estructura de la tesis	6
2 Estado del arte	9
2.1 Introducción	9
2.2 Antecedentes	9
2.3 Resultados preliminares	12
2.3.1 Predicción de salidas mediante interpolación	12
2.3.2 Predicción de salidas basado en modelo entrada-salida	12
2.3.3 Predicción de salidas basado en el filtro de Kalman	20
2.4 Conclusiones	21
3 Diseño de predictores en representación entrada salida	23
3.1 Descripción del problema	23
3.1.1 Escenario de muestreo	23
3.1.2 Parametrización del escenario de muestreo	25
3.1.3 Planta	25
3.2 Predictor	26
3.2.1 Implementación del predictor	27
3.2.2 Error de predicción	29
3.2.3 Objetivo del diseño	31
3.3 Diseño de predictores ante muestreo regular	32
3.4 Diseño determinista de predictores	35
3.4.1 Diseño de predictores para estabilidad nominal	35
3.4.2 Diseño de predictores \mathcal{H}_∞	38
3.4.3 Diseño de predictores \mathcal{H}_2	43
3.4.4 Diseño de predictores \mathcal{H}_{2g}	45
3.4.5 Diseño de predictores ℓ_1	47
3.5 Diseño estocástico de predictores	48
3.5.1 Diseño de predictores para estabilidad nominal	49
3.5.2 Diseño de predictores para atenuar perturbaciones	50
3.6 Consideraciones de diseño	54
3.6.1 Robustez frente a perturbaciones de entrada	55

3.6.2	Robustez al error de modelado	57
3.6.3	Retardo en la acción de control	59
3.6.4	Mediciones con etiqueta de tiempo incierta	63
3.6.5	Muestreo asíncrono	65
3.6.6	Minimización del error entre mediciones	71
3.6.7	Identificación de parámetros en procesos con medidas escasas	72
3.6.8	Diseño de predictores con objetivos combinados	73
3.7	Simplificaciones	75
3.7.1	Reducción del número de vectores de ganancia a almacenar	75
3.7.2	Reducción del coste computacional de las LMI	76
3.7.3	Interpolación de ganancias	77
3.7.4	Diseño basado en la minimización de la frecuencia de medición	80
3.8	Conclusiones	80
4	Diseño de predictores en representación interna	83
4.1	Introducción	83
4.2	Descripción del problema	83
4.2.1	Planta	83
4.2.2	Escenario de muestreo	86
4.2.3	Parametrización del escenario de muestreo	86
4.3	Predictor	87
4.3.1	Implementación del predictor	87
4.3.2	Equivalencia con el predictor entrada salida	89
4.3.3	Error de predicción	90
4.3.4	Objetivo de diseño	93
4.4	Diseño de predictores ante muestreo regular	94
4.5	Diseño determinista de predictores	95
4.5.1	Estabilidad nominal	95
4.5.2	Observabilidad y detectabilidad	97
4.5.3	Atenuación \mathcal{H}_∞	99
4.5.4	Atenuación \mathcal{H}_2	102
4.5.5	Atenuación \mathcal{H}_{2g}	105
4.5.6	Atenuación ℓ_1	106
4.6	Diseño estocástico de predictores	107
4.6.1	Diseño para estabilidad nominal	107
4.6.2	Diseño para atenuar perturbaciones	108
4.7	Consideraciones de diseño	112
4.7.1	Robustez al error de modelado	113
4.7.2	Retardo en la acción de control	115
4.7.3	Mediciones con etiqueta de tiempo incierta	117
4.7.4	Muestreo asíncrono	118
4.7.5	Minimización del error en bucle abierto	122
4.7.6	Diseño basado en la minimización de frecuencias de medición	122
4.7.7	Diseño de predictores con objetivos combinados	122
4.8	Simplificaciones	123
4.8.1	Reducción del número de ganancias a almacenar	124
4.8.2	Simplificación de las LMI	124
4.8.3	Interpolación de ganancias	124
4.9	Sensores virtuales basados en el filtro de Kalman	125
4.9.1	Sistemas monovariable	125
4.9.2	Sistemas multivariables	129
4.9.3	Predicción óptima	132
4.10	Conclusiones	132

5	Predicción de salidas en sistemas no lineales	135
5.1	Introducción	135
5.2	Descripción del problema	135
5.2.1	Planta	135
5.2.2	Escenario de muestreo	136
5.2.3	Parametrización del escenario de muestreo	137
5.3	Predictor	137
5.3.1	Error de predicción	138
5.3.2	Objetivo del diseño	138
5.4	Diseño de predictores para muestreo convencional	139
5.4.1	Diseño para estabilidad nominal	139
5.4.2	Diseño basado en la atenuación de perturbaciones	140
5.5	Diseño de predictores para muestreo bifrecuencia	142
5.5.1	Diseño para estabilidad nominal	142
5.5.2	Diseño basado en la atenuación de perturbaciones	144
5.6	Diseño de predictores para muestreo variante en el tiempo	147
5.6.1	Diseño para estabilidad nominal	147
5.6.2	Diseño basado en la atenuación de perturbaciones	148
5.7	Consideraciones de diseño	151
5.7.1	Minimización del error en bucle abierto	151
5.7.2	Mediciones con retardo	152
5.7.3	Simplificaciones	152
5.8	Diseño de predictores basados en el filtro de Kalman extendido	153
5.9	Conclusiones	153
6	Análisis de sistemas de control inferencial	155
6.1	Introducción	155
6.2	Análisis de SCI basado en la representación entrada-salida	155
6.2.1	Planteamiento del problema	155
6.2.2	Dinámica del bucle cerrado	157
6.2.3	Principio de separación	160
6.2.4	Ejemplos	162
6.3	Análisis de SCI basado en la representación interna	164
6.3.1	Planteamiento del problema	164
6.3.2	Dinámica del bucle cerrado con muestreo periódico	167
6.3.3	Dinámica del bucle cerrado con muestreo escaso	169
6.4	Conclusiones	173
7	Aplicaciones	175
7.1	Introducción	175
7.2	Control de posición de un puente grúa	175
7.3	Posicionado de un robot móvil mediante detección de azulejos	181
7.3.1	Introducción	181
7.3.2	Descripción del robot	181
7.3.3	Modelo del robot	182
7.3.4	Estimación de la posición	185
7.4	Estimación de corriente en un motor de inducción	190
7.5	Estimación de sustancias en un biorreactor	197
8	Conclusiones y trabajo futuro	203
8.1	Conclusiones	203
8.1.1	Diseño de predictores	203
8.1.2	Análisis de sistemas de control inferencial	205
8.2	Trabajo futuro	205

A	Fundamentos matemáticos	207
A.1	Introducción	207
A.2	Normas	207
A.2.1	Definiciones	207
A.3	Análisis de sistemas discretos vía LMI	210
A.3.1	Estabilidad nominal	210
A.3.2	Norma \mathcal{H}_∞	211
A.3.3	Norma \mathcal{H}_2	212
A.3.4	Norma \mathcal{H}_{2g}	213
A.3.5	Norma ℓ_1	214
A.4	Estabilidad de sistemas variantes en el tiempo de forma paramétrica	215
A.5	Observabilidad y detectabilidad	216
A.5.1	Sistemas lineales invariantes en el tiempo	217
A.5.2	Sistemas conmutados	218
A.6	Diseño de predictores para sistemas no lineales	219
A.6.1	Estabilidad nominal	219
A.6.2	Atenuación de perturbaciones	221
B	Resultados auxiliares en el diseño de predictores	223
B.1	Diseño estocástico de predictores monovariantes	223
B.1.1	Demostración del teorema 3.5.2 (diseño \mathcal{H}_∞)	223
B.1.2	Demostración del teorema 3.5.3 (diseño \mathcal{H}_2)	224
B.1.3	Demostración del teorema 3.5.4 (diseño \mathcal{H}_{2g})	225
B.1.4	Demostración del teorema 3.5.5 (diseño ℓ_1)	226
B.2	Diseño determinista de predictores multivariantes	226
B.2.1	Demostración del teorema 4.5.2 (diseño \mathcal{H}_∞)	226
B.2.2	Demostración del teorema 4.5.3 (diseño \mathcal{H}_2)	227
B.2.3	Demostración del teorema 4.5.4 (diseño \mathcal{H}_{2g})	228
B.2.4	Demostración del teorema 4.5.5 (diseño ℓ_1)	229
B.3	Diseño estocástico de predictores multivariantes	230
B.3.1	Demostración del teorema 4.6.2 (diseño \mathcal{H}_∞)	230
B.3.2	Demostración del teorema 4.6.3 (diseño \mathcal{H}_2)	231
B.3.3	Demostración del teorema 4.6.4 (diseño \mathcal{H}_{2g})	232
B.3.4	Demostración del teorema 4.6.5 (diseño ℓ_1)	232
C	Notación	235
	Bibliografía	240