

Contenido

Plataforma de contenidos interactivos	XVI
Página Web del libro	XVII
Prólogo	XVIII
Organización del libro	XX
Capítulo 1 Robótica	1
1.1 Introducción	3
1.2 Clasificación de los robots	10
1.2.1 Robots móviles	10
1.2.2 Robots móviles acuáticos	11
1.2.3 Drones robots aéreos	12
1.2.4 Robots humanoides	12
1.2.5 Robots industriales	14
1.3 Desarrollo histórico de la robótica	17
1.4 Control de robots manipuladores	23
1.5 Tecnología y construcción de robots	25
1.5.1 Servomotores de transmisión directa	26
1.6 Estadísticas de robótica	28
1.7 Tendencias en robótica para 2021-2026	32

1.7.1 Programas internacionales en R&D	34
1.8 Sociedades científicas de robótica	37
1.9 Resumen	41
1.10 Problemas propuestos	42

Capítulo 2 Encoders y servomotores	43
---	-----------

2.1 Introducción	45
2.2 Encoders	46
2.2.1 Encoders incrementales	46
2.2.1.1 Encoders en cuadratura	49
2.2.2 Encoder absoluto	52
2.2.3 Glosario para encoders	54
2.3 Servomotores	56
2.3.1 Modos de operación de un servomotor	58
2.3.1.1 Modo posición	58
2.3.1.2 Modo velocidad	58
2.3.1.3 Modo torque	58
2.4 Funcionamiento de un servomotor	60
2.4.1 Servoamplificador	60
2.4.2 Motor de corriente directa	62
2.4.3 Sistema de engranes	63
2.5 Servomotores de transmisión directa	64
2.5.1 Diagrama a bloques de un servomotor	67
2.6 Resumen	71
2.7 Problemas propuestos	72

<p>Capítulo 3 Preliminares matemáticos</p>	73
--	-----------

3.1	Introducción	75
3.2	Vectores	76
3.2.1	Intervalos	77
3.2.2	Espacio vectorial	78
3.2.3	Norma euclidiana $\ \mathbf{x}\ $	80
3.2.4	Operaciones y propiedades entre vectores	82
3.2.5	Producto cruz vectorial	93
3.3	Matrices	99
3.3.1	Matrices especiales	100
3.3.2	Operaciones de matrices	101
3.3.3	Matriz cuadrada	108
3.3.4	Matrices simétricas y antisimétricas	114
3.4	Funciones cuadráticas	117
3.4.1	Funciones definidas positivas	121
3.4.2	Matriz definida positiva	127
3.4.3	Gradientes de funciones de energía	132
3.4.4	Matriz jacobiana	134
3.5	Resumen	138
3.6	Problemas propuestos	139

<p>Capítulo 4 Cinemática analítica de Euler</p>	141
---	------------

4.1	Introducción	143
4.2	Cinemática analítica de Euler	144
4.2.1	Matrices de rotación	148
4.2.2	Composiciones de traslación y rotación	151
4.2.3	Matriz de rotación alrededor del eje z , $R_z(\theta)$	155

4.2.4	Matriz de rotación alrededor del eje x , $R_x(\theta)$	159
4.2.5	Matriz de rotación alrededor del eje y , $R_y(\theta)$	161
4.2.6	Propiedades de las matrices de rotación elementales	163
4.3	Ángulos de Euler	166
4.4	Movimiento de traslación y rotación	175
4.5	Cinemática diferencial	177
4.5.1	Matrices antisimétricas	177
4.5.2	Derivada de matrices ortogonales	180
4.5.3	Operaciones mixtas entre $\mathbf{p}_1 \times \mathbf{p}_2$ y $S(\mathbf{p}_1)$	185
4.6	Cinemática diferencial de Euler	190
4.7	Resumen	203
4.8	Problemas propuestos	205

Capítulo 5 Cinemática directa

207

5.1	Introducción	209
5.2	Morfología del robot	210
5.2.1	Tipos de robots manipuladores	214
5.3	Cinemática directa	215
5.3.1	Cinemática inversa	218
5.3.2	Cinemática diferencial	219
5.3.3	Cinemática diferencial inversa	220
5.4	Matrices de transformación homogénea	221
5.4.1	Matrices homogéneas de rotación y traslación	223
5.5	Cinemática de robots manipuladores	225
5.6	Configuración antropomórfica (RRR)	231
5.6.1	Péndulo	231
5.6.2	Robot antropomórfico de 2 gdl	238
5.6.2.1	Cinemática directa del robot planar de 2 gdl	238
5.6.2.2	Cinemática inversa del robot planar de 2 gdl	242

5.6.2.3	Cinemática diferencial del robot planar de 2 gdl	243
5.6.3	Brazo robot de 3 gdl	248
5.6.3.1	Cinemática directa del brazo robot de 3 gdl	248
5.6.3.2	Cinemática diferencial	253
5.6.3.3	Cinemática inversa del brazo robot de 3 gdl	256
5.7	Robot SCARA (RRP)	263
5.7.1	Cinemática diferencial del robot SCARA	266
5.7.2	Cinemática inversa del robot SCARA	267
5.8	Robot cilíndrico (RPP)	270
5.8.1	Modelo cinemático del robot cilíndrico	271
5.8.2	Cinemática diferencial del robot cilíndrico	272
5.8.3	Cinemática inversa del robot cilíndrico	273
5.9	Robot esférico (RRP)	276
5.9.1	Modelo cinemático del robot esférico	277
5.9.2	Cinemática diferencial del robot esférico	278
5.9.3	Cinemática inversa del robot esférico	279
5.10	Robot cartesiano (PPP)	283
5.10.1	Modelo cinemático del robot cartesiano	284
5.10.2	Cinemática diferencial del robot cartesiano	285
5.11	Resumen	288
5.12	Problemas propuestos	289

Capítulo 6
Dinámica

293

6.1	Introducción	295
6.2	Ecuaciones de Euler-Lagrange	296
6.3	Modelo dinámico	298
6.4	Propiedades del modelo dinámico	299
6.4.1	Efecto inercial	299
6.4.2	Fuerzas centrípetas y de Coriolis	301

6.4.3	Par gravitacional	303
6.4.4	Fenómeno de fricción	304
6.4.5	Modelo de energía mecánica	307
6.4.6	Modelo de potencia mecánica	308
6.4.7	Propiedad de pasividad	308
6.4.8	Linealidad en los parámetros	309
6.5	Ecuación diferencial ordinaria (ODE)	312
6.6	Desarrollo de modelos dinámicos	314
6.6.1	Sistema masa resorte amortiguador	314
6.6.2	Centrífuga	317
6.6.3	Péndulo	320
6.6.4	Brazo robot de 2 gdl	327
6.6.5	Brazo robot de 3 gdl	344
6.6.6	Robot cartesiano de 3 gdl	375
6.7	Resumen	378
6.8	Problemas propuestos	379

Capítulo 7 Identificación paramétrica

381

7.1	Introducción	383
7.2	Algoritmo de mínimos cuadrados	384
7.2.1	Algoritmo recursivo de mínimos cuadrados	386
7.2.2	Señal de excitación persistente	391
7.2	Ejemplos de identificación paramétrica	402
7.4	Resumen	428
7.5	Problemas propuestos	429

Capítulo 8	
Control de posición	431
8.1 Introducción	433
8.2 Teoría de estabilidad de Lyapunov	434
8.2.1 Sistemas dinámicos	434
8.2.2 Puntos de equilibrio	438
8.2.3 Función candidata de Lyapunov	443
8.2.4 Método directo de Lyapunov	443
8.2.5 Principio de invariancia	447
8.2.6 Norma $\mathcal{L}_q^n[\mathbf{f}]$	450
8.3 Control de posición	461
8.4 Control por moldeo de energía	464
8.5 Control PD	470
8.5.1 Análisis cualitativo del control PD	473
8.5.2 Función estricta para el regulador PD	493
8.6 Clasificación de algoritmos de control	496
8.6.1 Algoritmos de control no acotados	496
8.6.2 Algoritmos de control acotados	502
8.6.3 Algoritmos de control saturados	507
8.7 Control PID	512
8.8 Control punto a punto	521
8.8.1 Índice de desempeño	524
8.9 Resumen	526
8.10 Problemas propuestos	527

Capítulo 9 Control de trayectoria	529
--	------------

9.1 Introducción	531
9.2 Control de trayectoria	532
9.3 Familia de algoritmos de control PD+	534
9.3.1 Control proporcional derivativo plus (PD+)	536
9.4 Familia de control par-calculado	551
9.4.1 Control par-calculado	552
9.5 Resumen	555
9.6 Problemas propuestos	556

Referencias	557
--------------------	------------

Índice analítico	561
-------------------------	------------