

Índice

1	Introducción	1
1.1	Introducción general	1
1.2	Estado del arte	2
1.2.1	Vehículos aéreos no tripulados o UAV	2
1.2.2	Clasificación de los UAV	2
1.2.3	Cuadricópteros	6
1.2.4	Sistemas de posicionamiento local	8
1.3	Trabajos previos	16
1.3.1	Sistemas de posicionamiento local	16
1.3.2	Control de cuadricopteros.	18
1.4	Objetivos	20
1.4.1	Objetivo general	20
1.4.2	Objetivos específicos	20
1.5	Alcances y limitaciones	20
1.5.1	Alcances	20
1.5.2	Limitaciones	21
1.6	Metodología	21
2	Descripción y modelado de un cuadricóptero	23
2.1	Descripción del cuadricóptero	23
2.2	Orientación del helicóptero	26
2.3	Modelo dinámico	30
2.3.1	Formulación Euler lagrange	30
3	Control del sistema	41
3.1	Linealización del sistema	41
3.2	Control PID	46
3.3	Control de orientación, lazo externo	48
3.4	Sintonización y diseño de controladores PID	49
3.4.1	Sintonización a través de <i>PID Tuner</i>	49
3.4.2	Sintonización de forma teórica.	54
3.5	Simulación e implementación del sistema controlado.	61
4	Creación de un sistema de posicionamiento local	66
4.1	Distancia entre dos dispositivos DWM1000	67
4.2	Algoritmo a implementar en un espacio 2D	69
4.3	Simulación para la estimación de Posición en 2D	70
4.4	Algoritmo a implementar en un espacio 3D	74
4.5	Simulación para la estimación de Posición en 3D	75
5	Control y posicionamiento local	78
6	Implementación y resultados para el sistema de posicionamiento local	83
6.1	Materiales para el desarrollo del LPS	83

6.1.1	DWM 1000	83
6.1.2	Placa PCB DWM 1000	86
6.1.3	Arduino DUE	87
6.1.4	Alimentación	88
6.1.5	ESP 8266-01	88
6.1.6	Arduino Pro Micro	89
6.2	Construcción de los dispositivos Tag y Anchor.	91
6.3	Resultados experimentales	94
6.4	Arquitectura del sistema	101
6.5	Interfaz gráfica	108
6.5.1	Processing	108
6.5.2	Thingspeak	110
7	Implementación del control	113
7.1	Desplazamiento de un dron e	113
7.2	Construcción del radio-control	114
7.3	Como se comunica un dron e con un radio control	115
7.4	Planteamiento de construcción del control	119
8	Conclusión y trabajos futuros	126
8.1	Conclusiones	126
8.2	Trabajos futuros	127
9	Bibliografía	129
10	Anexos	134
10.1	PCB	134
10.2	Códigos	141

Índice de figuras

1	Drone micro/mini [64].	2
2	Drone de estatura media [65].	3
3	Drone de gran tamaño [66].	3
4	Drone de ala fija [67].	5
5	UAV con ala rotacional [68] [69].	6
6	Cuadricóptero [70].	7
7	Trilateración satelital [71].	9
8	ToA [5].	12
9	TDoA [5].	12
10	AoA [31].	13
11	RSSI [72].	14
12	Sistema de posicionamiento local, Localino [16].	16
13	Sistema de posicionamiento local, Pozyx [17].	16
14	Sistema de posicionamiento local, iBeacon [18].	17
15	Sistema de posicionamiento local, IndoorAtlas [19].	17
16	Creación de un drone y control basado en funciones de Lyapunov [57].	18
17	Lazo de control planteando por Kerma [60].	19
18	Cuadricóptero.	23
19	Movimientos traslacionales de un drone	24
20	Sistemas coordenados ligados a un drone.	26
21	Sistemas coordenados ligados a un drone.	27
22	Representación del sistema dinámico en dos subsistemas.	40
23	Diagrama PID [74].	47
24	Lazo de control.	47
25	Interfaz de la aplicación <i>PID Tuner</i>	50
26	PID-controller.	51
27	Sintonización PID.	52
28	Sintonización PID para X e Y.	53
29	Control del sistema en el software Matlab.	61
30	Eachine-Dron E016F [75].	62
31	Movimiento a lo largo de los ejes con respecto al sistema coordenado I	63
32	Movimiento a lo largo de los ejes con respecto al sistema coordenado I	63
33	Movimiento a lo largo de los ejes con respecto al sistema coordenado I	64
34	Movimiento a lo largo de los ejes con respecto al sistema coordenado I	65
35	Ejemplo para la estimación de una posición.	66
36	Distancia que hay entre el punto a los Anchors.	67
37	Realización de una circunferencia al rededor del punto a analizar.	67
38	Descripción del proceso de obtener la distancia entre dos dispositivos.	68
39	Estimación de la posición de un objeto en un plano 2D.	71
40	Estimación para n-antenas en el mismo sitio.	72
41	Estimación de la posición de un objeto en un espacio 3D.	76
42	Estimación de la posición de un objeto mostrada desde una vista en el eje XY.	76
43	Lazo de control con el sistema de posicionamiento local.	78

44	Entrada de referencia al sistema.	79
45	Señal de referencia con el error del posicionamiento.	79
46	Bloque <i>Switch</i>	80
47	Acción para el movimiento en el eje X.	80
48	Señales de referencia	81
49	Control y localización de un cuadricóptero.	82
50	Diagrama de funcionamiento DWM1000.	84
51	Pin out del chip DWM 1000.	84
52	Módulo DWM 1000 [76].	85
53	Tablero DWM1000 [77].	86
54	Pines de salida tablero DWM1000 [77].	86
55	Arduino DUE [50].	87
56	Arduino Due pinout [78].	87
57	Alimentación de la placa [79].	88
58	Alimentación de la placa [80].	88
59	Esp 8266-01 [81].	89
60	Arduino pro micro [52].	89
61	Arduino pro micro PINOUT [82].	90
62	Proceso de construcción.	91
63	Proceso de construcción.	91
64	Conexión entre DWM1000 y microcontrolador.	92
65	Conexión Tag.	92
66	Conexión Anchor.	93
67	Conexión entre DWM1000 y placas que trabajan a 5(V) con convertidor lógico.	93
68	Situación LOS.	94
69	Gráfico de los resultados experimentales de la distancia entre dos antenas para una situación LOS.	96
70	Situación NLOS.	98
71	Gráfico de los resultados experimentales de la distancia entre dos antenas para una situación NLOS.	99
72	Arquitectura del sistema de posicionamiento local. Elaboración propia . . .	102
73	Estructura envió de mensajes entre Tag y Anchor.	103
74	Proceso Tag para montarlo en el sistema de posicionamiento.	104
75	Envío de posición al Anchor.	104
76	Funcionamiento Anchor-WiFi.	105
77	Circuito para la simulación de posición.	108
78	Posicionamiento en Arduino.	109
79	Interfaz software Processing.	109
80	Posición del objeto en Processing.	110
81	Conexión ESP 8266.	110
82	Interfaz ThingSpeak.	111
83	Interfaz de un espacio en 3D ThingSpeak.	111
84	Control del dron. Elaboración propia	114
85	Control.	114
86	Stick por dentro.	115

87 Comunicación entre dron y radio control. Elaboración propia 115

88 PWM de forma teórica. Elaboración propia 117

89 Señales PWM mandadas por un Taranis X7 117

90 Señal PPM. Elaboración propia 118

91 Brújula digital [85]. 121

92 Conexión propuesta para el control. 121

93 Stick, rango de valores para cada variable. Elaboración propia 122

94 Conexión Tag 123

95 Conexión Anchor 123

96 Arquitectura para el control de un dron. Elaboración propia 124

97 Diagrama de flujo para el control de un dron. Elaboración propia 125

98 Primer paso para la realización de un PCB en Eagle. 134

99 Segundo paso para la realización de un PCB en Eagle. 135

100 Tercer paso para la realización de un PCB en Eagle. 135

101 Cuarto paso para la realización de un PCB en Eagle. 136

102 Schematic para el Tag. 136

103 Schematic para los Anchors. 137

104 Schematic para el Anchor con antena WiFi. 137

105 Sexto paso para la realización de un PCB en Eagle. 138

106 Séptimo paso para la realización de un PCB en Eagle. 138

107 Pcb a imprimir del Anchor en el software Eagle. 139

108 Pcb a imprimir del Anchor con antena WiFi en el software Eagle. 139

109 Pcb a imprimir del Tag en el software Eagle. 140