



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA
SUPERIOR INGENIEROS
INDUSTRIALES VALENCIA

TRABAJO FIN DE GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

DESARROLLO INTEGRAL DE UN QUADROTOR: DISEÑO DE UN ALGORITMO DE CONTROL PARA LA POSICIÓN X-Y BASADO EN SEÑALES GPS.

AUTOR: Castillo Frasquet, Alberto

TUTOR: García Gil, Pedro

Curso Académico: 2013-14

Memoria

Índice

1. Introducción.	7
1.1. Motivaciones y estado del arte.	9
1.2. Objetivos.	13
1.3. Resultados obtenidos.	14
1.4. Estructuración del documento.	15
2. Modelo teórico de un quadrotor.	17
2.1. Variables generales que caracterizan a un quadrotor.	17
2.2. Marcos de referencia.	18
2.3. Acciones aplicadas al quadrotor.	21
2.4. Modelo cinemático general.	22
2.5. Modelo dinámico general.	23
2.6. Modelo simplificado del quadrotor.	26
3. Descripción de la plataforma.	29
3.1. El grupo de motores.	31
3.1.1. Estructura de soporte y tren de aterrizaje.	31
3.1.2. Motores	32
3.1.3. Variadores	33
3.1.4. Hélices.	34
3.1.5. Batería y su soporte en la estructura.	35
3.1.6. Conexión eléctrico.	37
3.1.7. La protección.	38
3.2. El módulo de estabilización.	40
3.2.1. La IMU.	40
3.2.2. El sensor de altura.	41
3.2.3. El microprocesador programable.	42
3.3. La placa para vuelos en exteriores.	44
3.4. El mini-PC u ordenador de abordo.	48
3.5. Resultados finales.	51
4. Localización por GPS.	53
4.1. Posicionamiento basado en trilateración.	54
4.2. Determinación de la posición de los satélites y distancia que nos separa de ellos.	56
4.3. Fuentes de errores.	57
4.4. Sistemas DGPS.	59
4.5. Sensores GPS estándar. Ultimate GPS breakout v3.	60

5. Descripción y resultados experimentales del sistema GNSS/INS.	67
5.1. Ideas fundamentales sobre observadores y filtro de Kalman.	69
5.2. Conversión de las coordenadas latitud y longitud a medidas de posición locales (x,y).	70
5.3. Obtención de las proyecciones de la velocidad en cada eje v_x, v_y a partir del módulo V dado por el GPS.	71
5.4. Rotación de las medidas de la IMU desde el sistema de referencia del quadrotor al de tierra.	72
5.5. Necesidad de estimar el <i>offset</i> del acelerómetro.	74
5.6. Retraso en las medidas del GPS. Necesidad de aplicarlo a la IMU.	75
5.7. Aplicación del algoritmo de Kalman.	76
5.8. Comprobaciones realizadas.	79
5.9. Resultados experimentales obtenidos.	81
5.10. Mejoras y trabajos futuros.	83
6. Desarrollo y resultados de la ley de control x-y.	85
6.1. Modelo de control de posición.	86
6.2. Modelo de control simplificado.	86
6.3. Ley de control.	87
6.4. Ley de control con control de velocidad.	88
6.5. Generalización de la ley de control para los dos ejes.	90
6.6. Generalización a tres ejes. ¿Se puede considerar el control de altura independiente?.	92
6.7. Rotación de coordenadas para hacer el control independiente del yaw.	92
6.7.1. ¿Porqué únicamente funciona el control para $\psi=0$?	93
6.7.2. Solución al problema.	93
6.8. Gestión de WayPoints.	95
6.9. Algoritmo de control x-y final.	96
6.10. Resultados y simulaciones.	98
6.10.1. Control de posición de un desplazamiento recto.	98
6.10.2. Control de posición de un desplazamiento recto cuando $\psi \neq 0$.	99
6.10.3. Control de posición de un desplazamiento en diagonal.	102
6.10.4. Rechazo de Perturbaciones. Cambio brusco de velocidad durante el desplazamiento.	105
6.10.5. Rechazo de Perturbaciones. Viento.	105
6.10.6. Ejemplo de control de trayectorias basadas en el algoritmo de seguimiento de WayPoints. Avance recto ejecutando diagonales.	107
6.10.7. Capacidad para aproximar trayectorias más complejas. Seno + semicírculo.	107
6.11. Resultados experimentales. Simulaciones en bucle abierto.	110
6.11.1. Ensayo bucle abierto 1: Con el quadrotor en parado.	110
6.11.2. Ensayo bucle abierto 2: Oscilando en torno a la posición de referencia y cambiando el yaw.	112

6.12. Conclusiones y trabajos futuros. 112

Bibliografía

Referencias, 115

Anexos

Artículo para las jornadas de automática, 116

Descripción del modelo empleado en el simulador MatLab, 125

Presupuesto

Índice

1. Introducción.	3
2. Cuadro de precios de mano de obra.	3
3. Cuadro de precios de materiales.	4
4. Cuadro de precios de maquinaria.	6
5. Cálculo de horas dedicadas a cada tarea.	6
5.1. Capítulo 1: Desarrollo general del quadrotor.	7
5.2. Capítulo 2: Diseño del algoritmo de control x-y basado en señales GPS.	8
6. Cuadro de precios unitarios.	10
6.1. Capítulo 1: Desarrollo general del quadrotor.	10
6.2. Capítulo 2: Diseño del algoritmo de control x-y basado en señales GPS.	11
7. Cuadro de precios descompuestos.	11
7.1. Capítulo 1: Desarrollo general del quadrotor.	11
7.2. Capítulo 2: Diseño del algoritmo de control x-y basado en señales GPS.	17
8. Presupuesto de ejecución material, presupuesto de inversión y presupuesto base de licitación.	20