

Universidad de Concepción
Facultad de Ingeniería
Departamento de Ingeniería Mecánica

Profesor Patrocinante
Dr. Emilio Dufeu D.

Diseño del Sistema de Control de un Avión no Tripulado

Enzo Pettinelli Reyes

Informe de Memoria de Título
para optar al Título de
Ingeniero Civil Mecánico

Enero 2003

Sumario

El objetivo general de esta memoria es analizar desde el punto de vista de estabilidad y control, el avión no tripulado diseñado en [1], con el fin de diseñar un controlador de cabeceo, utilizando la teoría clásica de control. El trabajo consta de nueve capítulos. El primer capítulo corresponde a una introducción general del trabajo realizado.

El segundo capítulo está referido a la configuración preliminar del avión no tripulado, abarcando los parámetros propios de la geometría del avión, condiciones de vuelo, condiciones de inspección y perfiles aerodinámicos.

En el tercer capítulo se tratan los elementos físicos que controlan al avión en cabeceo. Estos elementos están representados principalmente por la superficie de control longitudinal (elevador), y los actuadores que mueven a estas superficies. Se explica en que consiste cada uno de estos elementos y como actúan. En el caso de los actuadores o servoelevadores se explica el funcionamiento de cada tipo y sus componentes.

El capítulo cuatro se centra en el análisis de la estabilidad, base para el posterior análisis de los sistemas de control y su justificación como tal. Se analiza la estabilidad y control estático longitudinal del avión no tripulado, así como también los parámetros influyentes en éste.

En el quinto capítulo se dan las bases teóricas para el posterior análisis de la respuesta longitudinal total y respuesta longitudinal aproximada. Se muestra el análisis matricial en espacio estado realizado para la obtención de la respuesta longitudinal del avión no tripulado y parámetros asociados.

El capítulo seis corresponde al análisis de la respuesta longitudinal libre del avión no tripulado. Se analiza la respuesta del sistema total de cuarto orden y sus aproximaciones de menor orden.

La respuesta longitudinal forzada del avión se trata en el capítulo siete, en que se analiza la respuesta ante una entrada escalón e impulso, con amplitudes de las deflexiones del elevador de uno y cinco grados. Para el caso de la respuesta impulsiva, se utiliza una entrada impulsiva triangular, creada con la finalidad de obtener una representación más apegada a la realidad del comportamiento longitudinal del avión ante este tipo de señal.

El análisis de la respuesta longitudinal, da la base para la creación de un controlador de cabeceo. Es en este análisis en que se decide que parámetros de la oscilación necesitan ser controlados.

En el capítulo ocho se realiza el control longitudinal de la aeronave, en lazo cerrado. Es decir se tiene como base un sistema de control con retroalimentación, llamado autopiloto. Se analizan dos tipos (comúnmente utilizados) de autopilotos de cabeceo mediante la teoría clásica de control. El primer autopiloto corresponde a un sistema con retroalimentación unitaria y un controlador

proporcional integral derivativo en el lazo abierto. La planta del sistema de control es en este caso la función de transferencia de cabeceo del avión.

El segundo autopiloto corresponde a un sistema de control que consta de dos lazos, uno interior y otro exterior. En el lazo interior se tiene una retroalimentación con ganancia, en donde la planta de control es la función de transferencia de velocidad angular de cabeceo. El lazo exterior es similar al del primer autopiloto, sin embargo el sistema, a diferencia del primero, es controlado básicamente por la retroalimentación de velocidad angular y un sistema compensador en atraso, diseñado mediante el método del lugar de las raíces, ambos en el lazo interior.

Como capítulo final se tienen las conclusiones generales del trabajo.

Índice

1	INTRODUCCIÓN.....	1
1.1	SISTEMAS UAV.....	1
1.1.1	<i>Breve reseña histórica de los aviones no tripulados.....</i>	<i>1</i>
1.1.2	<i>Aplicaciones de los sistemas UAV.....</i>	<i>2</i>
1.2	GENERALIDADES.....	3
1.3	OBJETIVOS GENERALES.....	5
2	CONFIGURACIÓN PRELIMINAR DEL UAV.....	6
2.1	DEFINICIÓN DE LA MISIÓN DEL AVIÓN NO TRIPULADO.....	6
2.2	ÁREA A CUBRIR Y TIEMPO MÁXIMO DE DETECCIÓN.....	7
2.3	CARGA ÚTIL.....	8
2.4	CONDICIONES DE VUELO.....	12
2.5	PERFILES AERODINÁMICOS UTILIZADOS.....	14
2.6	CONFIGURACIÓN DEL AVIÓN NO TRIPULADO.....	16
3	SUPERFICIES DE CONTROL Y ACTUADORES.....	19
3.1	SUPERFICIE DE CONTROL LONGITUDINAL.....	19
3.2	ACTUADORES.....	23
3.2.1	<i>Sistema de control irreversible.....</i>	<i>23</i>
3.2.1.1	<i>Operación de actuadores hidráulicos.....</i>	<i>24</i>
3.2.1.2	<i>Operación de actuadores electrohidrostáticos.....</i>	<i>25</i>
3.2.1.3	<i>Operación de actuadores electromecánicos.....</i>	<i>25</i>
3.2.1.4	<i>Actuadores comunes en aviones no tripulados.....</i>	<i>25</i>
4	ESTABILIDAD LONGITUDINAL.....	26
4.1	ECUACIONES DEL MOVIMIENTO Y DERIVADAS DE CONTROL Y ESTABILIDAD.....	29
4.2	ESTABILIDAD LONGITUDINAL ESTÁTICA.....	31
4.3	ESTABILIDAD LONGITUDINAL ESTÁTICA TOTAL.....	36
4.3.1	<i>Punto neutro en condición de palanca fija.....</i>	<i>37</i>
4.3.2	<i>Estabilidad longitudinal con palanca libre.....</i>	<i>38</i>
4.4	ESTABILIDAD Y CONTROL ESTÁTICO DEL AVIÓN NO TRIPULADO.....	41
5	RESPUESTA LONGITUDINAL.....	51
5.1	MODOS DE OSCILACIÓN.....	54

5.1.1	<i>Aproximación de periodo corto</i>	55
5.1.2	<i>Aproximación fugoide</i>	56
6	RESPUESTA LONGITUDINAL LIBRE DEL UAV	57
6.1	RESPUESTA LIBRE DEL SISTEMA DE CUARTO ORDEN Y APROXIMACIONES.....	58
6.1.1	<i>Evaluación de las aproximaciones de periodo corto y fugoide</i>	62
7	RESPUESTA LONGITUDINAL FORZADA EN LAZO ABIERTO	64
7.1	RESPUESTA FORZADA EN LAZO ABIERTO ANTE UNA ENTRADA ESCALÓN.....	66
7.1.1	<i>Respuesta ante una entrada escalón de cinco grados</i>	72
7.2	RESPUESTA FORZADA EN LAZO ABIERTO ANTE UNA ENTRADA IMPULSO.....	75
7.2.1	<i>Respuesta del UAV ante una entrada impulsiva triangular de cinco grados</i>	79
8	CONTROL DEL UAV EN LAZO CERRADO	81
8.1	AUTOPILOTO DE CABECEO.....	81
8.1.1	<i>Autopiloto de desplazamiento de cabeceo</i>	83
8.1.1.1	Controlador PID	85
8.1.2	<i>Autopiloto con retroalimentación de velocidad angular de cabeceo</i>	91
8.1.3	<i>Comparación entre autopiloto de desplazamiento de cabeceo y de desplazamiento de cabeceo con retroalimentación de velocidad angular.</i>	101
9	CONCLUSIONES	103
	TRABAJOS FUTUROS	105
	ANEXO 1	109
	ANEXO 2	124