
Titulació:

Enginyeria Superior Aeronàutica

Alumne (nom i cognoms):

Jordi Salvador Bernadí

Títol PFC:

Disseny d'un software prototip per l'administració de senyals a bord d'un coet espacial destinat a òrbites baixes.

Director del PFC:

Miquel Sureda, Josefina López Herrera

Convocatòria de lliurament del PFC

Febrer 2010

Contingut d'aquest volum:

-Annexes-

Annexes

**Disseny del sistema de processament de
dades en vol d'un coet espacial**

Contingut:

Annex 1: Senyals a gestionar en un coet espacial	3
Annex 2: Sistemes de coordenades emprats	9
Annex 3: Simulador de control	10
Annex 4: Taula dels tipus de senyals.....	13
Annex 5: Variables i estructures emprades en el prototip	14
Annex 6: Manual d'execució del prototip.....	20
Annex 7: Documents digitals adjunts	21

Annex 1: Senyals a gestionar en un coet espacial

A continuació es presenta una llista de les principals senyals que cal gestionar en un coet. No es tracta d'una llista exhaustiva sinó d'una primera aproximació que pot ser utilitzada com a referència a l'hora de saber quines dades cal administrar. No obstant el lector es pot fer ja una clara idea de la complexitat del sistema i de l'elevat nombre de senyals a gestionar.

Bateries:

· Unitat de gestió de la bateria (BMU):

Sortides:

Voltatge requerit per cada sistema.

Voltatge de les bateries.

Voltatge en cada cel·la.

Nivell de descàrrega de les bateries.

Nivell de càrrega de les bateries (no sempre es disposa de sistema de recàrrega).

Temperatura de les bateries.

Temperatura de les cel·les.

Pressió de les cel·les.

Entrades:

Nivell de voltatge necessari en cada càrrega.

Límit de la intensitat de sortida.

Límit de la intensitat d'entrada.

· Unitat de control i distribució de potència (PCDU):

Sortides:

Corrent en cada canal de subministrament.

Entrades:

Selecció dels canals actius de subministrament.

Límit de corrent en cada canal de subministrament.

Motor:

· Sistema de control de l'alimentació:

Sortides:

Flux màssic:

Sortida del tanc de gas pressuritzant.

Sortida del tanc de propergol.

Entrada i sortida turbines.

Entrada i sortida bombes d'alimentació.

Injectors.

Pressió:

Tanc de gas pressuritzant.

Tanc de propergol.

Turbines.

Bombes d'alimentació.

Injectors.

Temperatura:

Tanc de gas pressuritzat.

Tanc de propergol.

Turbines.

Bombes d'alimentació.

Injectors.

Nivell dels tancs de combustible.

Velocitat de rotació de les turbines d'alimentació.

Entrades:

Nivell d'obertura de les vàlvules d'alimentació.

Vàlvules dels tancs de propergol.

Vàlvules dels tancs de compressió.

Vàlvules de les turbines.

- Sistema d'ignició:

Sortida:

Senyal de comprovació d'encesa.

Entrades:

Senyal d'engegada.

Senyal d'apagada.

- Sistema de control de la combustió:

Sortides:

Pressió en la cambra de combustió.

Temperatura en la cambra de combustió.

- Sistema de control tèrmic:

Sortides:

Temperatura de diferents parts del motor:

Sistema d'alimentació.

Cambra de combustió.

Tovera.

Entrades:

Nivell d'obertura de les vàlvules del fluid refrigerant

- Sistema de control de la tovera:

Sortides:

Temperatura en diversos punts de la tovera.

Pressió en diversos punts de la tovera.

Actitud:

-Inertial measurement unit (IMU)

Sortides:

Velocitat angular x_b

Velocitat angular y_b

Velocitat angular z_b

Acceleració angular x_b

Acceleració angular y_b

Acceleració angular z_b

Angles d'Euler.

-Actuadors

Entrades (depenent de la solució tècnica seleccionada):

Tovera balancejant:

Posició de la ròtula.

Motors auxiliars laterals:

Mateixes senyals que pel motor principal. La llista es pot retallar no sent necessari un control igual d'exhaustiu.

Superfícies aerodinàmiques:

Deflexió de les superfícies de control.

Navegació:

- Sistema de posicionament:

Sortides:

Acceleració x_b

Acceleració y_b

Acceleració z_b

Velocitat x_b

Velocitat y_b

Velocitat z_b

Coordenada x.

Coordenada y.

Coordenada z.

Altitud baromètrica.

- Sistema tub pitot:

Sortides:

Velocitat respecte el vent.

- Actuadors:

Motor principal i els mateixos actuadors comentats anteriorment pel control d'actitud.

Control Tèrmic:

Sortides:

Temperatura dels diferents subsistemes del coet.

Temperatura de punts estratègics de l'estructura del coet.

Entrades:

Senyal pels controladors de temperatura: flux de líquids refrigerants, velocitat de ventiladors, etc.

Estructura:

Sortides:

Vibracions estructurals, certs nivells podrien ser crítics pel bon funcionament de certs dispositius o per la payload.

Telemetria:

Cal gestionar totes les dades tant d'entrada com de sortida que rep i envia l'aparell a fi de poder realitzar-ne el correcte seguiment i control des de l'estació de terra.

Control subsistemes:

Tots els subsistemes tindran, a més de les senyals pròpies ja esmentades, les següents senyals:

Sortida:

Senyal d'operativitat.

Entrada:

Senyal d'encesa/apagada.

Annex 2: Sistemes de coordenades emprats

Sistema de referència inercial (O_1, x_1, y_1, z_1):

Al estar parlant de vehicles espacials destinats a òrbites terrestres es pot considerar com a sistema de referència inercial el lligat al planeta Terra. L'eix z_1 coincideix amb l'eix de rotació de la Terra i apunta cap el pol nord, l'eix x_1 està contingut en l'Equador i s'orienta cap a un punt fix (el punt Àries o equinocci de primavera) i el eix y_1 forma un trèdre amb els dos anteriors.

Sistema d'eixos terra (O_e, x_e, y_e, z_e):

Sistema topocèntric giratori (a la velocitat de rotació de la Terra). L'origen d'aquest és un punt fixa de la superfície terrestre. L'eix z_e va dirigit cap el centre de la Terra, l'eix x_e està dirigit cap a una direcció fixa (el Nord) i l'eix y_e forma trèdre amb els dos anteriors.

Sistema d'eixos horitzó local (O_h, x_h, y_h, z_h):

L'origen del sistema pot ser qualsevol punt del pla de simetria de l'aparell en qüestió. Els eixos d'aquest sistema s'agafen paral·lels als eixos terra que existirien en el punt subcoet (punt d'intersecció del radi vector que uneix el centre masses de l'avió amb la superfície terrestre).

Sistema d'eixos cos (O_b, x_b, y_b, z_b):

El sistema d'eixos cos representa al sòlid rígid coet. El seu origen pot ser qualsevol punt del pla de simetria de l'aparell, tot i que per conveniència es sol utilitzar el centre de masses de l'aparell. L'eix z_b s'agafa contingut en el pla vertical de simetria i dirigit cap avall en posició vertical de vol. L'eix x s'agafa contingut en el pla horitzontal senyalant cap a un punt fix del coet. Finalment l'eix y_b forma trèdre amb els dos anteriors.

Annex 3: Simulador de control

Per tal de disposar d'un conjunt de dades amb les que executar el prototip s'ha realitzat un senzill simulador de vol d'un coet en 3D. L'objectiu d'aquest programa no és l'obtenció d'un simulador de vol realista sinó la simple generació d'una sèrie de dades estructurades sota un format requerit en la base de dades.

L'algoritme utilitzat és senzill, simplement s'estableix la connexió amb la base de dades per a continuació entrar en un bucle en el que es van primer simulant les senyals per a continuació emmagatzemar-les en la base de dades. Es pot veure l'esquema de funcionament en el diagrama de la figura 1.

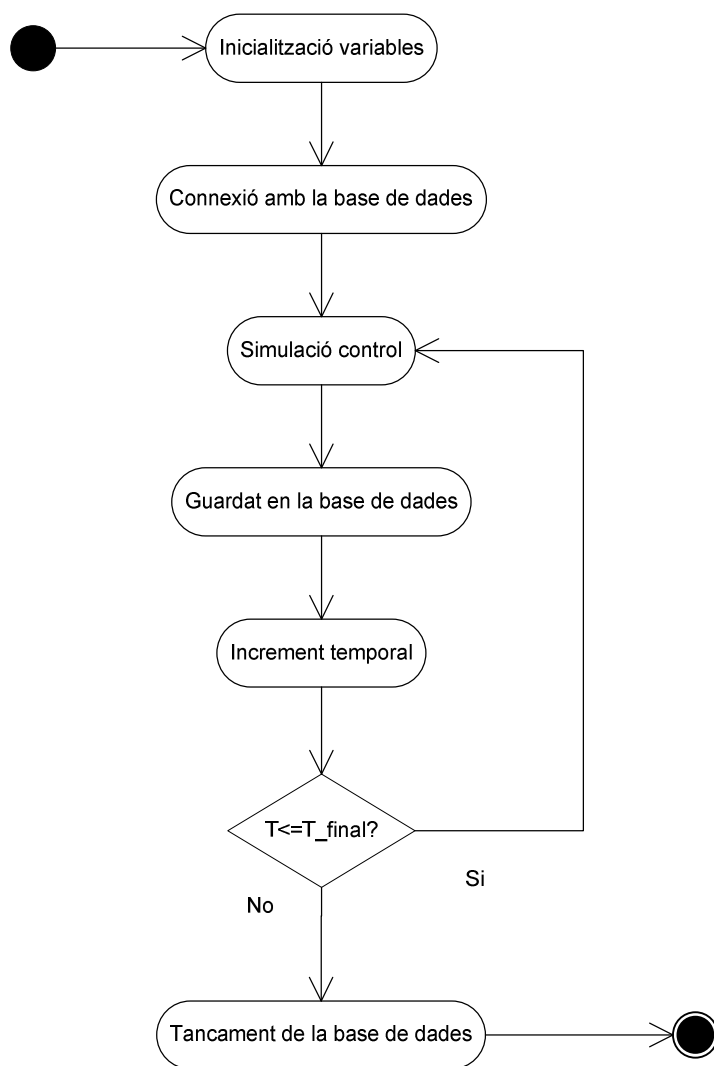


Figura 1. Diagrama d'activitat del programa de simulació

Les senyals que s'han generat han estat les següents:

- Posició del coet respecte un sistema de referència inercial, tres components (x , y , z).
- Velocitat del coet respecte un sistema de referència inercial, tres components (v_x , v_y , v_z).
- Acceleració del coet respecte un sistema de referència inercial, tres components (a_x , a_y , a_z).
- Velocitat del coet en eixos cos, tres components (v_{bx} , v_{by} , v_{bz}).
- Acceleració del coet en eixos cos, tres components (a_{bx} , a_{by} , a_{bz}).
- Velocitat angular del coet respecte els eixos cos, tres components (ω_x , ω_y , ω_z).
- Acceleració angular del coet respecte els eixos cos, tres components (α_x , α_y , α_z).
- Angles d'Euler (rotació entre el sistema de referència inercial i els eixos cos), tres components (ϵ_x , ϵ_y , ϵ_z).

Remarcar que les úniques dades que es guarden són les de control, doncs les de captura són emmagatzemades pel procés de captura, que simula la seva adquisició des dels sensors implementant un cert període de mostreig.

Les taules es guarden directament a la base de dades pertinent.

L'estructura del programa permet afegir fàcilment més senyals per emmagatzemar en cas de necessitat. Això és així degut al fet a que el procés de guardat de senyals està parametrizat, sent els valors definits en una estructura *switch* que conté totes les dades d'interès. Només cal doncs afegir els paràmetres de la nova senyal en una opció extra del *switch* perquè el programa la guardi també en la base de dades. Òbviament la senyal en qüestió ha de ser generada dintre de les equacions.

Al inici del programa es defineixen totes les constants necessàries per l'execució del simulador. Aquestes poden ser modificades directament per l'usuari seguint les indicacions.

El procés de simulació implementat actualment és el següent:

1. En primer lloc es calcula la força que fa el motor en eixos cos a partir del flux màssic i la velocitat d'ejecció dels gasos.
2. A continuació es suma la força de fregament amb l'aire, obtenint la força total a que està sotmès l'aparell.
3. Es passa la força resultant a eixos horitzó, en els quals es troba velocitat, acceleració i posició a partir de les lleis de Newton.

4. Es passa els valors anteriors novament a eixos cos per obtenir l'acceleració i la velocitat en aquest sistema de referència.

S'han implementat tota una sèrie de funcions que permeten realitzar tots els tractaments amb les matrius i rotacions necessàries.

Com es pot veure es tracta d'un model físic molt senzill que no contempla variacions en la actitud, quedant aquestes fixades per les condicions inicials. No entrava dintre de l'abast d'aquest projecte la creació d'un simulador de tres dimensions per un coet espacial, de forma que es va decidir en el seu moment no dedicar un temps excessiu en la creació d'aquest, doncs la programació d'un simulador més real implicava la implementació d'equacions iteratives amb els consegüents problemes que això implica, podent ser considerat un projecte final de carrera en si mateix.

Annex 4: Taula dels tipus de senyals

Type_code	Senyal	Codi identificador	Descripció
pos	posició	0	Posició del coet respecte un sistema de referència inercial.
vel	velocitat	1	Velocitat del coet respecte un sistema de referència inercial.
acc	acceleració	2	Acceleració del coet respecte un sistema de referència inercial.
velb	velocitat cos	3	Velocitat del coet en eixos cos.
accb	acceleració cos	4	Acceleració del coet en eixos cos.
euler	angles d'Euler	5	Angles de rotació entre els sistema de referència inercial i els eixos cos.
wb	velocitat angular	6	Velocitat angular del coet respecte els eixos cos.
ab	acceleració angular	7	Acceleració angular del coet respecte els eixos cos.

Type_code: Identificació en cadena de caràcters de la senyal. Permet conèixer fàcilment quina senyal s'està observant.

Codi identificador: Identificació numèrica de la senyal. S'utilitza per referenciar la senyal en els vectors de variables.

Annex 5: Variables i estructures emprades en el prototip

En les taules que hi ha a continuació es comenten les principals variables i estructures que s'utilitzen en el prototip, a fi que el lector pugui tenir una referència d'aquestes.

Variables del procés de tractament

Nom:	signal
Tipus:	Const int
Descripció:	Nombre de senyals de captura a gestionar

Nom:	task
Tipus:	Const int
Descripció:	Nombre de tasques a gestionar

Nom:	response
Tipus:	Const int
Descripció:	Nombre de senyals d'actuació a gestionar

Nom:	data
Tipus:	Const int
Descripció:	Nombre de dades totals (senyals+respostes)

Nom:	Nbuf
Tipus:	Const int
Descripció:	Nombre de camps del buffer

Nom:	Nhist
Tipus:	Const int
Descripció:	Nombre de camps de l'històric

Nom:	time_end
Tipus:	Const int
Descripció:	Duració màxima de l'execució del programa

Nom:	signal_cap	
Tipus:	estructura	
Descripció:	Guarda les senyals capturades	
Camps:		
ide:	Tipus:	double
	Descripció:	Identificació de la senyal
type_code	Tipus:	Char [6]
	Descripció:	Codi identificatiu del tipus de senyal
signal_value_x	Tipus:	double
	Descripció:	Valor de la primera coordenada de la senyal
signal_value_y	Tipus:	double

	Descripció:	Valor de la segona coordenada de la senyal
signal_value_z	Tipus:	double
	Descripció:	Valor de la tercera coordenada de la senyal
cap_time	Tipus:	Char [30]
	Descripció:	Data i hora en la que la senyal ha estat capturada
pr_time	Tipus:	Char [30]
	Descripció:	Data i hora en la que la senyal ha estat processada
rel_time	Tipus:	double
	Descripció:	Temps relatiu des del inici del processament fins al moment en que s'ha capturat la senyal

Nom:	signal_control	
Tipus:	estructura	
Descripció:	Guarda les senyals de control	
Camps:		
ide:	Tipus:	double
	Descripció:	Identificació de la senyal
type_code	Tipus:	Char [6]
	Descripció:	Codi identificatiu del tipus de senyal
signal_value_x	Tipus:	double
	Descripció:	Valor de la primera coordenada de la senyal
signal_value_y	Tipus:	double
	Descripció:	Valor de la segona coordenada de la senyal
signal_value_z	Tipus:	double
	Descripció:	Valor de la tercera coordenada de la senyal
rel_time	Tipus:	double
	Descripció:	Temps relatiu des del inici del processament fins al moment en que s'ha guardat la senyal

Nom:	buffer3	
Tipus:	estructura	
Descripció:	Guarda les senyals de control i de captura	
Camps:		
capture:	Tipus:	signal_cap
	Descripció:	Guarda les senyals capturades
control	Tipus:	signal_control
	Descripció:	Guarda les senyals de control
treated	Tipus:	bool
	Descripció:	Indica si la senyal en qüestió ha estat tractada

Nom:	hist3	
Tipus:	estructura	
Descripció:	Guarda les senyals de control i de captura	
Camps:		
capture:	Tipus:	signal_cap
	Descripció:	Guarda les senyals capturades
ide_c:	Tipus:	double

	Descripció:	Identificació de la senyal de control associada
st_time	Tipus:	Char [30]
	Descripció:	Data i hora en el que la senyal ha estat enviada pel sistema de telemetria
sent	Tipus:	bool
	Descripció:	Indica si la senyal en qüestió ha estat enviada

Nom:	final
Tipus:	bool
Descripció:	Indica si el programa ha arribat al final del processament

Nom:	read_control
Tipus:	bool
Descripció:	Controla la lectura de senyals de control pel buffer

Nom:	myData
Tipus:	MYSQL [data]
Descripció:	Estructura per guardar les lectures de la base de dades

Nom:	res
Tipus:	MYSQL_res [data]
Descripció:	Estructura per guardar les lectures de la base de dades

Nom:	row
Tipus:	MYSQL_row[data]
Descripció:	Estructura per guardar les lectures de la base de dades

Nom:	attr
Tipus:	pthread_attr_t
Descripció:	Atributs dels fils

Nom:	capture
Tipus:	pthread_t [signal]
Descripció:	Fils de captura

Nom:	control
Tipus:	pthread_t [task]
Descripció:	Fils de control

Nom:	actuate
Tipus:	pthread_t [response]
Descripció:	Fils de resposta

Nom:	store
Tipus:	pthread_t [data]
Descripció:	Fils de historial

Nom:	st
Tipus:	SYSTEMTIME
Descripció:	Guarda els temps del sistema

Nom:	mutex_attr
Tipus:	pthread_mutexattr_t
Descripció:	Atributs de les variables de exclusió mútua

Nom:	m_buffer
Tipus:	pthread_mutex_t [signal]
Descripció:	Variables de exclusió mútua per bloquejar el buffer

Nom:	s_capture
Tipus:	sem_t [signal]
Descripció:	Semàfor de control dels fils de captura

Nom:	s_control
Tipus:	sem_t [signal]
Descripció:	Semàfor de control dels fils de control

Nom:	c_capture
Tipus:	bool [signal]
Descripció:	Variable de control dels senyals de captura

Nom:	c_capture
Tipus:	bool [signal]
Descripció:	Variable de control de les funcions de control

Nom:	buffer
Tipus:	buffer3 [signal][Nbuf]
Descripció:	Buffer on es van guardant les senyals

Nom:	ide_buffer_pr
Tipus:	Int [signal]
Descripció:	Última posició del buffer que ha sigut processada

Nom:	ide_buffer_st
Tipus:	Int [signal]
Descripció:	Següent posició del buffer que serà emmagatzemada

Nom:	hist
Tipus:	hist3 [signal][Nbuf]
Descripció:	Dades de l'històric

Nom:	ide_hist_send
Tipus:	int [signal]
Descripció:	Següent posició del historial que ha de ser enviada

Nom:	ide_buffer_sent
Tipus:	int
Descripció:	Següent posició del buffer que serà enviada

Variables del procés de captura

Nom:	Signal3	
Tipus:	estructura	
Descripció:	Guarda les senyals capturades des de la base de dades	
Camps:		
ide:	Tipus:	double
	Descripció:	Identificació de la senyal
type_code	Tipus:	Char [6]
	Descripció:	Codi identificatiu del tipus de senyal
signal_value_x	Tipus:	double
	Descripció:	Valor de la primera coordenada de la senyal
signal_value_y	Tipus:	double
	Descripció:	Valor de la segona coordenada de la senyal
signal_value_z	Tipus:	double
	Descripció:	Valor de la tercera coordenada de la senyal
cap_time	Tipus:	Char [30]
	Descripció:	Data i hora en la que la senyal ha estat capturada
rel_time	Tipus:	double
	Descripció:	Temps relatiu des del inici del processament fins al moment en que s'ha capturat la senyal

Nom:	dt
Tipus:	double
Descripció:	Increment de temps desitjat en la simulació

Nom:	T
Tipus:	double
Descripció:	Temps de processament

Nom:	t_sim_ "signal_type"
Tipus:	Signal3
Descripció:	Taula temporal per les senyals adquirides

Nom:	t_sim_control_ "signal_type"
Tipus:	Signal
Descripció:	Taula temporal per les senyals de control

Nom:	myData
Tipus:	MYSQL
Descripció:	Estructura emprada per guardar les lectures en la base de dades

Annex 6: Manual d'execució del prototip

Per poder executar el prototip cal disposar d'un ordinador amb la plataforma windows y el programa MySQL instal·lat.

Si es compleixen els requisits anteriors cal procedir de la següent manera:

1. Obrir el servidor de MySQL de la forma que es faci habitualment.
2. Crear en ell una nova base de dades anomenada rocketdb.
3. Executar en el servidor de MySQL els scripts CreateTables.sql i CreateTablesHist.sql en aquest ordre.

Les comandes a executar són:

```
source "path"/CreateTables.sql;  
source "path"/CreateTablesHist.sql;
```

Cal que les comandes siguin processades des de la base de dades rocketdb.

4. Executar el programa simulador_control.exe, el qual generarà les variables de control
5. Executar el programa prototip. Cal en primer lloc executar el programa simulador_capture.exe que simularà l'adquisició de dades des dels sensors. Simultàniament s'executa el programa RocketControl.exe, que realitzarà tot el procés de tractament.
6. Executar l'historial. Executant el programa Historial.exe es realitza una còpia de seguretat de totes les dades emprades.

Un cop fets aquests passos l'usuari ja pot consultar els resultats en la base de dades historial. A més el prototip porta implementat una sèrie de impressions de pantalla que permeten seguir el procés en temps real.

Tots els arxius esmentats es troben en el suport digital adjuntat amb aquest projecte.

Annex 7: Documents digitals adjunts

Aquest projecte va acompanyat d'un suport digital adjunt on hi ha els programes realitzats. Aquests són:

- CreateTables.sql: Script que genera les taules de control i captura.
- CreateTablesHist.sql: Script que genera les taules del historial.
- Simulador_control.exe: Programa que genera les senyals de control.
- Simulador_capture.exe: Programa que realitza el procés de captura.
- RocketControl.exe: Programa que realitza el procés de tractament.
- Historial.exe: Programa que realitza una còpia de seguretat de les dades emprades en la base de dades.