**Guida al Moth Simulator**

***Istruzioni per l’uso***

1. Eseguire il file *‘Moth\_sim\_start\_v4.m’* (vedi dopo cosa contiene)
2. Eseguire il modello Simulink *Moth\_sim\_v4*

NB: per poter usare il simulatore è necessario connettere un joystick per controllare l’angolo d’attacco dell’ala del timone e la posizione longitudinale di dove sta seduto il velista. Consiglio di utilizzare l’app ‘PC Remote’ e utilizzare il preset di joystick allegato. Come fare (Android):

1. Installare sul telefono l’app ‘PC Remote’ di Monect (<https://www.monect.com/> )
2. Installare sul computer il software ‘PC Remote Receiver’
3. Aprire l’app sul telefono e il programma sul computer
4. Nella schermata dell’app, in basso, cliccare su Connect
5. Scegliere la modalità di connessione tra telefono e computer. Solitamente, io uso un cavo USB (per utilizzare questa modalità bisogna attivare il Tethering USB sul telefono, dovrebbe aprirsi in automatico la pagina delle impostazioni del telefono quando si sceglie la modalità di connessione USB)
6. A questo punto sul programma sul computer dovrebbe comparire la conferma di connessione
7. Sempre dal telefono, andare nella sezione Layouts (in basso)
8. Cliccare il + in alto a destra e poi Install layout
9. Selezionare il layout allegato ‘*Moth\_sim.mlo*’
10. Verificare la corretta connessione del joystick dal computer su Gestione dispositivi

Attenzione: se si utilizza un altro tipo di joystick (anche “reale”) è probabile che non funzioni per lo scorretto accoppiamento degli input.

***Descrizione modello***

Al momento, il simulatore modella il moto del moth su 3 gradi di libertà: 2 traslazionali (direzione longitudinale x e direzione verticale z) e 1 rotazionale (angolo di pitch o beccheggio θ).

Immagine che contiene diagramma, disegno, schizzo, testo

Descrizione generata automaticamente

*Ipotesi fondamentali*:

* I sistemi di riferimento (SDR) utilizzati sono i seguenti:
  + SDR inerziale (I): sistema di riferimento solidale con la terra (la costa, non il pianeta lol). NB: il verso positivo dell’asse z è verso il basso
  + SDR della water speed (WS): l’asse x di questo sdr è parallelo e opposto in verso al vettore WS. È utile per il calcolo delle forze delle ali, che poi vengono proiettate nel sdr inerziale.
  + SDR body (B): sistema solidale con lo scafo del moth (supposto corpo rigido) e centrato nel centro di massa dello scafo (NB: esclusa la persona)
* Il modello simula la barca dalla fase di decollo, in particolare “dall’istante appena successivo” a quello in cui tutto lo scafo è uscito dall’acqua. Questo ha come importante conseguenza che bisogna fornire una velocità iniziale della barca, che teoricamente dovrebbe corrispondere alla velocità che ha la barca appena esce dall’acqua (quindi al termine la prima fase di decollo).

Purtroppo, questo è dovuto al fatto che non abbiamo ancora informazioni sui coefficienti di drag dello scafo quando è immerso in acqua (e a vari livelli di immersione) perché è piuttosto complicato calcolarli.

* Il modello non include il grado di libertà di rollio; tuttavia, non è trascurabile l’angolo di roll, ma in prima approssimazione si suppone trascurabile la sua variazione in crociera (questa ipotesi non è ovviamente valida in virata). Per questo motivo viene considerato un angolo di rollio costante (o angolo di banco) indicato con μ.
* L’angolo di scarroccio (differenza tra direzione della prua della barca e direzione della rotta) è supposto trascurabile. Nelle barche foilanti è una buona approssimazione.
* Viene considerata una superficie dell’acqua piatta (assenza di onde). Ma “facilmente” implementabile.
* Non viene considerato il contributo delle forze aerodinamiche generate dalle terrazze, che anche in prima approssimazione probabilmente non sono trascurabili.
* Non viene considerato l’effetto del downwash generato dalla front wing sull’ala del rudder. È un effetto non trascurabile, tuttavia il velista nella realtà lo corregge “automaticamente” attraverso la regolazione dell’angolo dell’ala del timone. Quindi, questa assunzione rende meno verosimile il controllo del timone attraverso il joystick, ma non della fisica della barca.

Bisognerà, però, cercare di considerarlo.

* Il drag generato dalle ali in acqua viene sovrastimato del 30%, in quanto XFLR5 dovrebbe tendere a sottostimarlo. Bisognerà assolutamente ottenere dati più accurati

***Descrizione del programma***

Di seguito descrivo il file di start e tutti i blocchi che compongono il modello Simulink e le ipotesi/approssimazioni fatte per ogni sottosistema:

Nel file *‘Moth\_sim\_start\_v4.m’* di start della simulazione vengono caricati in memoria sostanzialmente i dati sull’inerzia della barca (geometria e massa), le caratteristiche delle ali e della vela (polari e superficie), la relazione che lega altezza e angolo del flap (che è il plot che si apre quando si esegue lo script) e le condizioni iniziali del modello.

*Equations of motion*: implementa in uno script le equazioni del moto scritte in forma vettoriale (per comodità nell’utilizzare i vettori posizione rispetto al centro di massa dei punti di interesse, dati come input dal file di start). Non sono state effettuate approssimazioni in termini di angoli.

NB: per comodità, le equazioni rotazionali sono scritte nel SDR body, la cui origine corrisponde al baricentro della barca (fornito dal CAD, la cui posizione è fisa). Il peso dell’uomo non va ad incidere sulla posizione di questo baricentro e il “contributo” dell’uomo è tenuto conto attraverso il momento generato dal peso dell’uomo rispetto al baricentro della barca. Se si considerasse direttamente il baricentro di tutto il sistema uomo + barca, sarebbe più complesso perché al muoversi del velista lungo le terrazze cambierebbe anche la posizione del centro di massa e tutti i momenti di inerzia della barca.

*Integrator e terminator*: riceve gli output del blocco *equations of motion* (derivate seconde delle variabili x,z,θ) e li integra nel tempo, calcolando la derivata prima e il valore della variabile in ogni istante di tempo (Solver: ode4 Runge-Kutta con un Time Step fissato indicato dalla variabile ST).

La simulazione si stoppa se z diventa minore di lower\_z\_limit (ovvero se lo scafo rientra in acqua e il modello fisico non vale più), se z diventa maggiore di 0.9 m (ovvero se le ali arrivano molto vicine alla superficie dell’acqua). I numeri sono da affinare quando il modello CAD sarà più completo. Inoltre il modello termina anche se l’angolo di pitch supera in modulo i 60°.

*Animation block*: utilizza un blocco presettato di Simulink (‘3DoF Animation’) per animare la “barca” (eh si, il razzo rosso è rappresentativo dello scafo del moth, non so come si cambi).

*Joystick Input*: utilizza un blocco presettato di Simulink che trasforma l’input del controller in segnali nella simulazione (l’output Throttle in realtà è la posizione longitudinale del velista).

*Sail*: implementa il moto relativo della barca rispetto alla massa d’aria e quindi calcola la spinta prodotta dalla vela.

Il blocco riceve in input la TWS (True Wind Speed) e il TWA (True Wind Angle), che sono rispettivamente l’intensità e l’angolo del vento rispetto alla direzione di rotta se la barca fosse virtualmente ferma. Quindi, vengono calcolate in ogni istante la AWS (Apparent Wind Speed) e il AWA (Apparent Wing Angle) partendo da TWS, TWA e x\_dot (la velocità orizzontale della barca).

Si suppone che la vela venga sempre regolata in modo “ottimale” ovvero, con un fissato angolo di attacco rispetto alla direzione di AWA. NB: questo non significa che la vela ha un angolo costante rispetto allo scafo (alla direzione di rotta), ma che viene regolata in ogni istante in modo ottimale rispetto al vento apparente che percepisce la barca stessa (che varia al variare della velocità della barca).

Immagine che contiene testo, linea, Diagramma, diagramma

Descrizione generata automaticamente

I coefficienti della vela sono stati ricavati da XFLR5. Il profilo utilizzato è molto sottile e con una “piccola curvatura” (rispetto ai profili delle tradizionali vele), deciso sulla base di osservazioni di foto in cui si nota che le vele di moth sono molto magre rispetto alle tradizionali vele (molto più simili ad ali). La forma della vela è stata “ricalcata” da una vela moth (comunque le forme sono tutte molto simili in prima approssimazione).

Immagine che contiene schermata, linea, oscurità, spazio

Descrizione generata automaticamente

Immagine che contiene schermata, linea, arte

Descrizione generata automaticamente

L’ultimo passaggio di questo blocco è calcolare le forze prodotte dalla vela rispetto al vento apparente (lift e drag), che vengono poi proiettate nelle direzioni longitudinale (forza di spinta T\_s) e trasversale dello scafo (forza di scarroccio S\_s; per questo modello a 3 GDL non ha nessuna influenza). Viene anche calcolata la componente della forza prodotta dalla vela che contribuisce a sollevare la barca, la quale è dovuta alla presenza di un angolo di rollio non nullo.

Il momento attorno all’asse di yaw (imbardata) generato dalla vela non ha influenza in questo modello a 3 GDL.

*Foils system*: questo blocco modella le due ali (fw=front wing e r=rudder). Partendo da coefficienti sperifmentali di lift, drag e momento ricavati da XFLR 5.

Dati in input la WS (water speed), l’angolo d’attacco delle ali, l’angolo di flap (fornito dal sistema di controllo dell’altezza) e l’angolo del timone (deciso dal timoniere) e le polari delle ali (caricate dal file di start) calcola le forza di lift, drag e il momento prodotto dalle due ali.

Le polari delle ali sono ricavate dalle analisi su XFLR5.

L’angolo d’attacco aoa è dato dalla somma dell’angolo theta (di pitch) e dell’angolo gamma (che è l’angolo della WS rispetto all’orizzontale).

*Height control system*: restituisce l’angolo di flap delle ali in funzione dell’altezza della barca (quindi, sostituisce il sistema di controllo della wand più camma). L’altezza della barca della superficie dell’acqua è misurata dalla punta del pennone di prua del moth (dove solitamente è fissata la wand). Al momento la funzione che collega altezza e angolo di flap è stata costruita “manualmente” e viene caricata dal file di start e ha andamento praticamente lineare (è il plot che compare quando si fa partire il file di start).

*Inertia block*: ricalcola il momento d’inerzia totale rispetto al centro di massa (rispetto all’asse y uscente dal foglio) in ogni istante, in quanto varia al variare della posizione della persona lungo lo scafo (mentre il momento d’inerzia dello scafo+vela+ali è supposto costante).

***Legenda variabili e grandezze***

|  |  |
| --- | --- |
| *nome variabile* | *Significato* |
| m\_(nome) | Massa dell’elemento specificato |
| i\_yy\_(nome) | Momento d’inerzia dell’elemento specificato rispetto al centro di massa dello scafo (centro del sdr body) |
| G\_(nome) | Baricentro dell’elemento specificato |
| AC\_(nome) o CA\_(nome) | Aerodynamic centre (centro aerodinamico) dell’ala o vela considerata |
| all\_pt | Matrice che racchiude tutte le posizioni dei vari elementi rispetto al centro di massa dello scafo |
| gamma\_angle | Angolo formato dalla WS rispetto all’orizzontale (positivo verso il basso) |
| theta\_angle | Angolo di pitch della barca (positivo verso l’alto) |
| aoa | Angle of attack (angolo d’attacco delle ali dato dalla somma di theta\_angle e gamma\_angle) |
| mu | Angolo di roll (o di banco o di inclinazione della portanza prodotta dalle ali) considerato costante |
| WS | Water speed (velocità della barca rispetto ad un sistema inerziale solidale con la superficie dell’acqua ed è quella che vedono le ali) |
| x\_dot | Velocità orizzontale della barca rispetto ad un sistema inerziale solidale con la superficie dell’acqua (il quale corrisponde con un solidale con la terra, perché è supposta corrente nulla) |
| z | Coordinata verticale che descrive l’altezza del baricentro della barca (positivo verso il basso) |
| z\_dot | Velocità verticale della barca rispetto ad un sistema inerziale solidale con la superficie dell’acqua |
| TWS | True wind speed |
| TWA | True wind angle |
| AWS | Apparent wind speed |
| AWA | Apparent wind angle |
| \_fw | Grandezza relativa alla Front Wing |
| \_r | Grandezza relativa all’ala del Rudder (timone) |
| \_sail | Grandezza relativa alla vela |
| L\_(nome) | Forza di lift |
| D\_(nome) | Forza di drag |
| M\_(nome) | Momento generato dall’ala rispetto al suo centro aerodinamico |
| T\_sail | Forza di spinta generata dalla vela |
| S\_sail | Forza di scarroccio generata dalla vela |
| Flap\_angle | Angolo del flap (positivo se il flap si inclina verso il basso e quindi aumenta la portanza) |
| Rudder\_aoa\_sailor | Angolo dato all’ala del timone dal velista tramite il controllo sullo stick (NB: non corrisponde all’angolo effettivo dell’ala del rudder rispetto alla WS) |
| aoa\_tot\_rudder | Angolo d’attacco effettivo dell’ala del rudder rispetto alla WS (dato dalla somma del aoa e del Rudder\_aoa\_sailor) |
| Lift\_contribution\_sail | Contributo di Lift generato dalla vela dovuto alla presenza di un angolo di rollio |
| wand\_attach\_pos | Posizione da cui viene misurata l’altezza della barca rispetto alla superficie dell’acqua (di default è impostata la posizione del pennone di prua dove di solito è fissata la wand; NB: l’altezza di questo punto differisce dall’altezza del baricentro della barca se l’angolo di pitch è non nullo) |
| lower\_z\_limit | Altezza del baricentro dello scafo al di sotto della quale la simulazione si stoppa, perché sostanzialmente lo scafo sarebbe rientrato in acqua e il modello fisico non vale più |

Scritto da Marco Salvato