Report Dinamica e Controllo Di Veicoli Spaziali

Gruppo 11

Immagine che contiene testo, logo, Carattere, bianco

Il contenuto generato dall'IA potrebbe non essere corretto.

Sommario

[Introduzione 3](#_Toc199804067)

[Assunzioni 3](#_Toc199804068)

[Requisiti 3](#_Toc199804069)

[Requisiti il blocco GNC 3](#_Toc199804070)

[Requisiti per le manovre 4](#_Toc199804071)

[Requisiti generali per lo svolgimento del progetto e la stesura del report 4](#_Toc199804072)

[Definizione del Chaser 5](#_Toc199804073)

[Simulatore orbitale 6](#_Toc199804074)

[Modello dei Thrusters 6](#_Toc199804075)

[GNC 6](#_Toc199804076)

[Manovre singole 7](#_Toc199804077)

[Manovra di Hohmann 8](#_Toc199804078)

[Manovra di Radial Boost 9](#_Toc199804079)

[Manovra di Cone Approach 10](#_Toc199804080)

[Manovre combinate 12](#_Toc199804081)

[Controllo di assetto 15](#_Toc199804082)

[Figura 1: Modello thrusters 6](#_Toc199804083)

[Figura 2 : Blocchi Rate Transition 6](#_Toc199804084)

[Figura 3 7](#_Toc199804085)

# Introduzione

Questo documento presenta il lavoro svolto ai fini ai fini della prova d’esame del corso di Dinamica e controllo di veicoli spaziali presso il Politecnico di Torino per l’A.A. 2024-2025.

Lo scopo del progetto è lo sviluppo di un simulatore orbitale per una manovra di rendezvous & docking.

## Assunzioni

* Il controllo di Posizione avviene solo tramite thrusters
* Il Chaser è dotato di 12 thrusters monodirezionali, disposti a coppie in entrambi i versi di ciascuna delle 3 possibili direzioni di moto, consentendo un controllo di posizione omnidirezionale
* I thrusters generano forze e momenti affetti da errori randomici
* La funzione di navigazione viene tralasciata, non si modellano quindi i sensori, le forze attuative in output sono considerate reali

## Requisiti

Il simulatore deve soddisfare i seguenti requisiti, suddivisi in sottosezioni

### Requisiti il blocco GNC

|  |  |
| --- | --- |
| ID requisito | Testo |
| THR-01 | La spinta fornita dai thrusters deve essere affetta da errore, causando conseguentemente un momento |
| THR-02 | Forze e momenti generati dai thrusters devono essere convertiti dal Body frame al frame LVLH |
| THR-03 | La spinta fornita dai thrusters deve essere affetta da errore, causando conseguentemente anche un momento |
| THR-04 | La variazione della forza dei thrusters deve avere la forma di un’onda quadra, modellata tramite blocchetto PWPF |
| POS-IN-01 | Il Blocco posizione deve ricevere in Input posizione e velocità desiderati |
| POS-OUT-02 | Il Blocco posizione deve fornire in output posizione e velocità reali |
| ATT-IN-01 | Il Blocco attitude deve ricevere in input le velocità angolari e il quaternione di stato desiderati |
| ATT-OUT-02 | Il Blocco attitude deve fornire in output i momenti attuativi nel body frame |
| GUID-FR-01 | Il Blocco Guida deve runnare alla frequenza di 1Hz |
| CNTR-FR-01 | Il Blocco Controllo di assetto deve runnare alla frequenza di 50 Hz |
| DNC-FR-01 | La Dinamica di Posizione deve runnare alla frequenza di 100 Hz |
| GNC-01 | I vari blocchi del GNC devono essere modellati come “Atomic Subsystems” |

### Requisiti per le manovre

|  |  |
| --- | --- |
| ID Requisito | Testo |
| HOH-01 | La Hohmann transfer deve iniziare alle coordinate [-3000; 0; 0] LVLH |
| RB-01 | La Radial Boost deve considerare come condizioni iniziali nominali (in caso di manovra singola) le coordinate [-500; 0; ] |
| CA-01 | La Cone Approach deve considerare come condizioni iniziali nominali (in caso di manovra singola) le coordinate [-4; 0; ] |
| CA-02 | L’errore di posizione finale della manovra di Cone Approach deve essere inferiore ai 2 m sull’asse x e inferiore a 0.01 m sull’asse y |

### Requisiti generali per lo svolgimento del progetto e la stesura del report

|  |  |
| --- | --- |
| ID Requisito | Testo |
| SIM-HOH-01 | Il Simulatore deve utilizzare un unico algoritmo di guida per la manovra di Hohmann |
| SIM-CA-01 | Il Simulatore deve utilizzare due diversi algoritmi di guida per la manovra di Cone Approach |
| REP-CA-01 | Il Report deve riportare il confronto tra i risultati ottenuti dai due algoritmi implementati per la Cone Approach |
| REP-MAN-01 | Il Report deve riportare i risultati delle 3 manovre svolte separatamente con condizioni iniziali indicate nei requisiti HOH-01, RB-01, CA-01 |
| REP-MAN-02 | Il Report deve riportare i risultati delle 3 manovre svolte in sequenza, considerando come condizione iniziale di ciascuna fase le condizioni finali della fase precedente |
| SIM-DEXT-01 | Il Simulatore deve considerare l’effetto dei seguenti disturbi esterni:   * J2 * Drag Atmosferica |
| REP-MAN-03 | Il Report deve presentare i seguenti grafici, sia nei casi di manovra completa che singole fasi   * Variazione della posizione nel piano X-Z * Variazione del vettore velocità nel piano X-Z * Variazione di y e per la manovra di Cone approach * Andamento delle Forze dei thrusters sui 3 assi |
| SIM-ATT-01 | La dinamica di assetto deve essere espressa mediate le equazioni di Eulero |
| SIM-ATT-02 | Le condizioni iniziali di assetto devono coincidere con quelle indicate nell’esercitazione 2 () |
| SIM-ATT-03 | Il controllo d’assetto deve avvenire tramite 2 algoritmi distinti |
| SIM-ATT-04 | Uno dei due algoritmi per il controllo d’assetto deve essere LQR |
| SIM-ATT-05 | Il controllo d’assetto deve tenere conto del disturbo esterno dovuto al gravity gradient |
| SIM-ATT-06 | Il controllo d’assetto deve tenere conto della presenza di 4 ruote d’inerzia tramite la matrice Z |
| REP-ATT-01 | Il Report deve presentare i seguenti grafici relativi all’assetto:   * Andamento temporale degli angoli di Eulero durante le manovre * Andamento temporale degli angoli di Eulero allo steady state * Andamento temporale delle velocità Angolari * Andamento temporale delle coppie applicate dalle Reaction Wheels nel Body Frame * Andamento temporale delle coppie applicate dalle Reaction Wheels nel frame delle Reaction Wheels * Andamento temporale del momento angolare delle Reaction Wheels nel Body Frame * Andamento temporale del momento angolare delle Reaction Wheels nel frame delle Reaction Wheels |

## Definizione del Chaser

Il Satellite Chaser indicato è il QSat-EOS, presenta le seguenti Caratteristiche:

* Dimensioni: 49x50x50 cm
* Massa: 50kg

Effettua il **controllo di Assetto** tramite delle **Reaction Wheels**, con

* Coppia massima 5 mNm

La desaturazione delle Reaction Wheels avviene tramite dei magnetorquers

Effettua il controllo di posizione tramite die Thrusters ad Idrazina con:

* Spinta massima (di ciascun singolo Thruster): 1N
* Impulso specifico: 220 s

# Simulatore orbitale

## Modello dei Thrusters

I Thrusters sono modellati mediante due blocchetti PWPF, affetti da un errore di …

Immagine che contiene testo, logo, Carattere, bianco

Il contenuto generato dall'IA potrebbe non essere corretto.

Figura 1: Modello thrusters

## GNC

In figura sono riportati i 3 blocchetti costituitivi del blocco GNC, con rispettivi input e output.

In figura vengono evidenziati i blocchetti di input rate transition utilizzati per variare le frequenze come da requisiti GUID-FR-01, CNTR-FR-01 e DNC-FR-01

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Immagine che contiene testo, logo, Carattere, bianco  Il contenuto generato dall'IA potrebbe non essere corretto. | Immagine che contiene testo, logo, Carattere, bianco  Il contenuto generato dall'IA potrebbe non essere corretto. | Immagine che contiene testo, logo, Carattere, bianco  Il contenuto generato dall'IA potrebbe non essere corretto. |
| Rate transition Guida | Rate transition Controllo | Rate transition Dinamica |
| Figura 2 : Blocchi Rate Transition | | |

## Manovre singole

In tutte le manovre viene introdotto l effetto dei disturbi dovuti al J2 e alla Drag Atmosferica, modellati come in figura

Immagine che contiene testo, logo, Carattere, bianco

Il contenuto generato dall'IA potrebbe non essere corretto.

Figura 3

### Manovra di Hohmann

Si è scelto di utilizzare come algoritmo per la manovra di Hohmann un LQR, riportato in figura

Immagine che contiene testo, logo, Carattere, bianco

Il contenuto generato dall'IA potrebbe non essere corretto.

Figura 4

La manovra di Hohmann inizia alle coordinate [-300; 0; 0].

Le evoluzioni temporali delle posizioni sul piano XZ e del vettore velocità relative alla manovra di Hohmann, nonché delle forze di sparo sono riportate in figura

|  |  |
| --- | --- |
| Immagine che contiene testo, logo, Carattere, bianco  Il contenuto generato dall'IA potrebbe non essere corretto. | Immagine che contiene testo, logo, Carattere, bianco  Il contenuto generato dall'IA potrebbe non essere corretto. |
| Figura 5 | |

### Manovra di Radial Boost

Si è scelto di utilizzare come algoritmo per la manovra di Radial Boost un LQR, riportato in figura

Immagine che contiene testo, logo, Carattere, bianco

Il contenuto generato dall'IA potrebbe non essere corretto.

Figura 6

La manovra di Radial Boost (eseguita come fase singola) inizia alle coordinate [-500; 0; 0].

Le evoluzioni temporali delle posizioni sul piano XZ e del vettore velocità relative alla manovra, nonché delle forze di sparo sono riportate in figura

|  |  |
| --- | --- |
| Immagine che contiene testo, logo, Carattere, bianco  Il contenuto generato dall'IA potrebbe non essere corretto. | Immagine che contiene testo, logo, Carattere, bianco  Il contenuto generato dall'IA potrebbe non essere corretto. |
| Figura 7 | |

### Manovra di Cone Approach

Per la Cone Approach sono stati utilizzati due differenti algoritmi: un LQR (Figura) e un PID (Figura)

In figura viene riportato il confronto dei risultati della manovra singola in posizione di inizio nominale

Immagine che contiene testo, logo, Carattere, bianco

Il contenuto generato dall'IA potrebbe non essere corretto.

Figura 8: Algoritmo 1 ( Posizioni x y z), velocità (x,y,z)

Immagine che contiene testo, logo, Carattere, bianco

Il contenuto generato dall'IA potrebbe non essere corretto.

Figura 9: Algoritmo 2 ( Posizioni x y z), velocità (x,y,z)

Immagine che contiene testo, logo, Carattere, bianco

Il contenuto generato dall'IA potrebbe non essere corretto.

Figura 10: Confronto risultati ( Posizioni x y z), velocità (x,y,z)

Commento al confronto risultati

## Manovre combinate

Di seguito vengono riportati i risultati delle manovre combinate, in particolare si evidenzia

* La manovra di Hohmann inizia alle coordinate [-3000; 0; 0] e termina alle coordinate [] (LVLH)
* La manovra di Radial Boost inizia alle coordinate [] e termina alle coordinate [] (LVLH)
* La manovra di Cone Approach inizia alle coordinate [] e termina alle coordinate [] (LVLH)

In figura vengono riportati gli andamenti delle posizioni, delle velocità e delle forze propulsive per ciascuna manovra.

In figura vengono riportati gli andamenti delle posizioni, delle velocità e delle forze propulsive per l intera manovra di rendezvous & docking

Immagine che contiene testo, logo, Carattere, bianco

Il contenuto generato dall'IA potrebbe non essere corretto.

Figura 11: Hohmann

Immagine che contiene testo, logo, Carattere, bianco

Il contenuto generato dall'IA potrebbe non essere corretto.

Figura 12: RB

Immagine che contiene testo, logo, Carattere, bianco

Il contenuto generato dall'IA potrebbe non essere corretto.

Figura 13: CA

Immagine che contiene testo, logo, Carattere, bianco

Il contenuto generato dall'IA potrebbe non essere corretto.

Figura 14: Tutto insieme

## Controllo di assetto

Per il controllo di assetto vengono impiegati due algoritmi distinti: un LQR ( figura) ed un PID (figura)

Entrambi tengono conto dell’effetto del gradiente gravitazionale, modellato come in figura.

Nelle figure vengono riportati gli andamenti temporali degli angoli di eulero per le 3 fasi della manovra completa di rendezvous & docking

In figura viene riportato l’andamento temporale delle coppie applicate dalle reaction wheels, rappresentate nel body frame (sinistra) e nel frame delle reaction wheels (destra)

In figura viene riportato l’andamento temporale del momento angolare dalle reaction wheels, rappresentato nel body frame (sinistra) e nel frame delle reaction wheels (destra)

Immagine che contiene testo, logo, Carattere, bianco

Il contenuto generato dall'IA potrebbe non essere corretto.

Figura 15: LQR

Immagine che contiene testo, logo, Carattere, bianco

Il contenuto generato dall'IA potrebbe non essere corretto.

Figura 16: Algoritmo 2

Immagine che contiene testo, logo, Carattere, bianco

Il contenuto generato dall'IA potrebbe non essere corretto.

Figura 17: Modello Gravity Gradient

Immagine che contiene testo, logo, Carattere, bianco

Il contenuto generato dall'IA potrebbe non essere corretto.

Figura 18: Andamento temporale degli angoli di Eulero durante le manovre di Hohmann (sinistra), Radial Boost (centro) e Cone Approach (destra)

Immagine che contiene testo, logo, Carattere, bianco

Il contenuto generato dall'IA potrebbe non essere corretto.

Figura 19: Andamento temporale delle velocità angolari durante le manovre di Hohmann (sinistra), Radial Boost (centro) e Cone Approach (destra)

Immagine che contiene testo, logo, Carattere, bianco

Il contenuto generato dall'IA potrebbe non essere corretto.

Figura 20: Andamento temporale delle coppie applicate dalle Reaction Wheels durante le manovre di Hohmann (sinistra), Radial Boost (centro) e Cone Approach (destra), rappresentate nel Body frame (in alto) e nel frame delle Reaction wheels (in basso)

Immagine che contiene testo, logo, Carattere, bianco

Il contenuto generato dall'IA potrebbe non essere corretto.

Figura 21: Andamento temporale del momento angolare delle Reaction Wheels durante le manovre di Hohmann (sinistra), Radial Boost (centro) e Cone Approach (destra), rappresentate nel Body frame (in alto) e nel frame delle Reaction wheels (in basso)