

VILNIAUS UNIVERSITETAS
MATEMATIKOS IR INFORMATIKOS FAKULTETAS
PROGRAMŲ SISTEMŲ KATEDRA

Bakalaurinis darbas

Autonominis ketursraigčio skrydžio valdymas
Autonomus Control of Quadcopter Flight

Atliko: 4 kurso 1 grupės studentas
Rytis Karpuška
(parašas)

Darbo vadovas:
Irus Grinis, lekt.
(parašas)

Recenzentas:
Vytautas Valaitis.....
(parašas)

Vilnius
2014

Turinys

| | |
|---|----|
| Įvadas | 2 |
| 1. Ketursraigčio techninė įranga | 3 |
| 1.1. Rėmas, varikliai ir propeleriai | 3 |
| 1.2. Valdymo elektronika | 4 |
| 2. Matematinis skrydžio modelis | 5 |
| 2.1. Lokali ir globali koordinačių sistemos | 5 |
| 2.2. Keliamoji jėga | 6 |
| 2.3. Sukamoji jėga | 7 |
| 2.4. Bendras judėjimo modelis | 7 |
| 3. Kampinės padėties skaičiavimas | 8 |
| 3.1. Kvaternionai | 8 |
| 3.2. Kampinės padėties skaičiavimas pagal giroskopą | 8 |
| 3.3. Kampinės padėties skaičiavimas pagal akselerometrą | 8 |
| 3.4. Galutinis kampinės padėties radimas | 8 |
| 4. Kampinės padėties valdymo algoritmas | 9 |
| 4.1. PID valdymo algoritmas | 9 |
| 4.2. PID pritaikymas ketursraigčio valdymui | 9 |
| 5. Skrydžio valdymas | 10 |
| 5.1. Atviro-ciklo valdymas | 10 |
| 5.2. Kampinės pozicijos tikslų lentelė | 10 |
| 5.3. Atviro-ciklo valdymo trūkumai | 10 |
| 6. Programinė įranga | 11 |
| 6.1. Bendroji architektūra | 11 |
| 6.2. Kompiuteriui skirtas klientas | 11 |
| 6.3. Retransmitorius | 11 |
| 6.4. Ketursraigčio pagrindinis valdiklis | 11 |
| Išvados | 12 |
| Literatūros sąrašas | 13 |

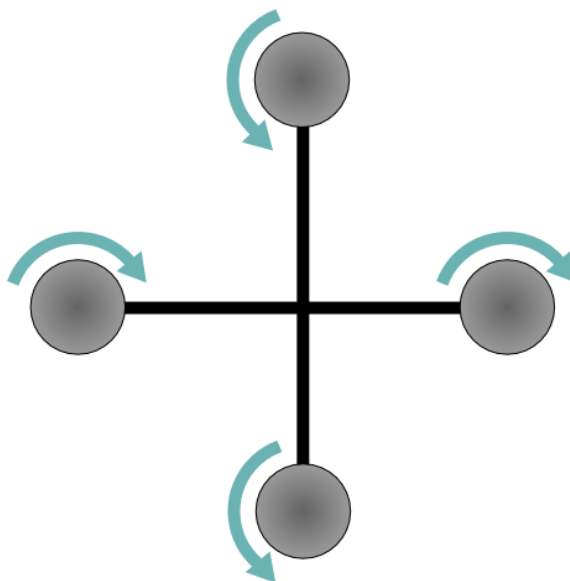
Ivadas

1. Ketursraigčio techninė įranga

Įprasto ketursraigčio techninė struktūra yra palyginus lengvai suprojektuojama bei pagaminama tačiau to negalima pasakyti apie programinę įrangą, bei algoritmus valdančius skrydį.

1.1. Rėmas, varikliai ir propeleriai

Ketursraigis susideda iš „X“ formos rėmo, kurio galuose yra po elektrinį bešepetėlinį variklį su propeleriu. Priešingai nei įprastuose sraigtasparniuose, šių propelerių atakos kampas nėra reguliuojamas, o tai leidžia stipriai supaprastinti skraidyklės techninę struktūrą ir atsisakyti sudėtingų mechaninių dalių. Varikliai skirstomi į dvi grupes iš kurių viena sukasi pagal laikrodžio rodyklę, kita – prieš laikrodžio rodyklę. Šių variklių sukimosi greitis yra reguliuojamas siekiant išgauti tinkamą sukamąją bei keliamąją jėgas.



1 pav. Ketursraigčio rėmo ir variklių išdėstymas. Jų sukimosi kryptys.

Šio darbo tikslams pasiekti buvo nupirktas „HobbyKing x525“ 600mm skersmens rėmas, pagamintas iš aliuminio ir stiklo pluošto. Taip pat elektriniai bešepetėliniai 160W galios varikliai „Turnigy D2822“ ir 8 colių ilgio, bei 4 laipsnių atakos kampo propeleriai.

1.2. Valdymo elektronika

Stabilaus skrydžio išlaikymas ketursraigtyje yra per sudėtinga užduotis žmogui (pilotui) todėl pasitelkiama pagalbinė elektronika palengvinanti ketursraigčio valdymą.

Valdymo elektronikai išskiriami tokie uždaviniai:

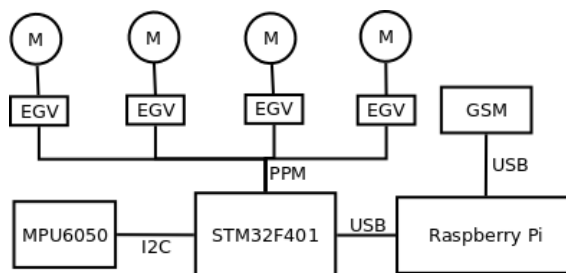
- Skrydžio stabilizavimas bei kontrolė
- Ryšio su pilotu arba valdančia sistema palaikymas
- Sugeneruoti galios signalus reikalingus varikliams

Skrydžio stabilizavimas bei kontrolė. Skrydžio stabilizavimui bei kontrolei atlikti naudojami sensoriai pagal kurių duomenis yra paskaičiuojami kokių korekcinųjų veiksmų reikia imtis norint įgyvendinti piloto ar valdančios sistemos komandas. Išskiriami svarbiausi parametrai yra tikslumas bei greitis.

Atsižvelgiant į reikalavimus šiems parametrams, buvo parinktas kompanijos „STMicroelectronics“ procesorius „STM32F401“ bei kompanijos „InvenSense“ sensorius „MPU6050“

Ryšio su pilotu arba valdančia sistema palaikymas. Ryšio palaikymas parametrizuojamas pagal duomenų persiuntimo greitį ir latenciją, bei veikimo ribas. Ketursraigčio atveju persiunčiami duomenys yra tik valdymo signalai iš piloto arba valdančios sistemos, todėl buvo pasirinktas GSM ryšys. Taip pat „Raspberry pi“ kompiuteris su „Linux“ operacine sistema atlikdavo viską kas reikalinga GSM ryšiui palaikyti.

Galios signalų generavimas. Bešepetėliniai varikliai reikalauja trijų galio signalų jų sukimuisi palaikyti. Šiam tiklui buvo nupirkti 18A elektroniniai greičio valdikliai galintys suvaldyti apie 200W galios, tad puikiai tinkantys 160W galios varikliams.

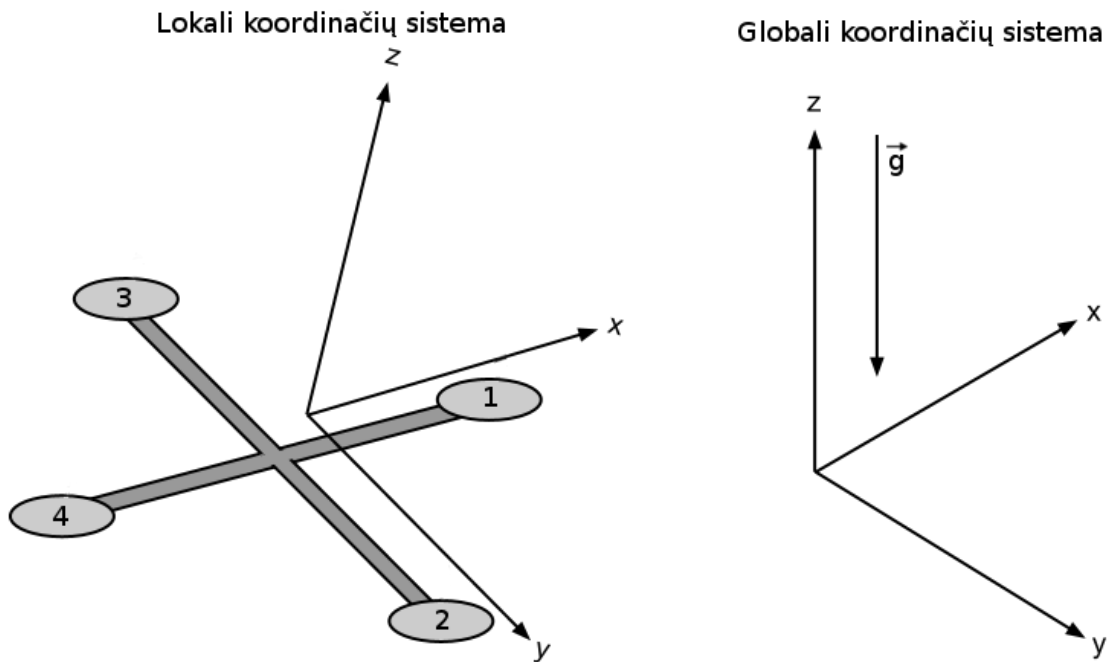


2 pav. Ketursraigčio elektronikos sudedamųjų dalių schema.

2. Matematinis skrydžio modelis

2.1. Lokali ir globali koordinatinių sistemų

Pravartu apibrėžti lokalią ir globalią koordinatinių sistemas, kuriose nagrinėsime ketursraigčio dinamiką. Lokaliajoje koordinatinių sistemoje x ir y ašis yra sulygiuota su ketursraigčio rėmo strypais, kur X rodo pirmojo variklio kryptimi, Y - antrojo. Globali sistema yra susieta su žemės gravitaciniu laiku, ir toje sistemoje gravitacinio lauko vektorius nukreiptas priešinga Z ašiai kryptimi.



3 pav. Lokalios ir Globalios koordinatinių sistemų palyginimas.

Konvertavimas tarp šių koordinatinių sistemų bus vykdomas kvaternionų pagalba (žr.: TODO_SKYR_NR):

$$q_l = q_p * q_g * q_p^{-1} \quad (1)$$

ir į priešingą pusę:

$$q_g = q_p^{-1} * q_l * q_p \quad (2)$$

Čia q_g – tašką arba vektorių globalioje koordinatinių sistemoje atvaizduojantis kvaternionas, q_l – tašką arba vektorių lokaliajoje koordinatinių sistemoje atvaizduojantis

kvaternionas, q_p – kampinės pozicijos kvaternionas (žr.: TODO_SKYR_NR).

2.2. Keliamoji jėga

Ketursraigtis sukuria keliamąją jėgą priversdamas judėti orą žemyn. Pagal trečią niutono dėsnį, kokia jėga ketursraigtis veikia, orą, tokio pačio dydžio, tik priešingos krypties jėga oras veikia ketursraigį.

$$F_{qa} = -F_{aq} \quad (3)$$

Čia F_{qa} jėga, kuria ketursraigtis veikia orą, o F_{aq} jėga, kuria oras veikia ketursraigį. Darome prielaidą, kad oras iki ketursraigčiui jį pajudinant nejudėjo, o iš to seka:

$$F = m * a \quad (4)$$

Čia $F = |F_{qa}|$, m - oro, kuriam suteikiamas pagreidis, masė, o a pagreitis suteikiamas orui.

Propelerio prastumamas oro kiekis yra tiesiogiai proporcingas propelerio sukimosi greičiui:

$$A = \omega * C \quad (5)$$

Čia A yra oro tūris prastumtas per vieną apsisukimą, ω yra propelerio sukimosi greitis, o C - konstanta priklausanti tik nuo propelerio savybių susiejanti sukimosi greitį su tūriu.

Pagal prielaidą, kad oras prieš propeleriui jį pasiekiant nejudėjo, skaičiuojame propelerio sukuriamą oro pagreitį:

$$a = \frac{V}{\delta t} \quad (6)$$

kur V yra įgyjamas oro greitis prasisukus propeleriui

$$a = \frac{\omega * C}{\delta t} \quad (7)$$

Čia C yra konstanta priklausanti tik nuo nekintančių propelerio savybių.

$$a = \frac{\omega * C}{1/\omega} \quad (8)$$

$$a = \omega^2 * C \quad (9)$$

2.3. Sukamoji jėga

2.4. Bendras judėjimo modelis

3. Kampinės padėties skaičiavimas

3.1. Kvaternionai

3.2. Kampinės padėties skaičiavimas pagal giroskopą

3.3. Kampinės padėties skaičiavimas pagal akselerometrą

3.4. Galutinis kampinės padėties radimas

4. Kampinės padėties valdymo algoritmas

4.1. PID valdymo algoritmas

4.2. PID pritaikymas ketursraigčio valdymui

5. Skrydžio valdymas

5.1. Atviro-ciklo valdymas

5.2. Kampinės pozicijos tikslų lentelė

5.3. Atviro-ciklo valdymo trūkumai

6. Programinė įranga

6.1. Bendroji architektūra

6.2. Kompiuteriui skirtas klientas

6.3. Retransmitorius

6.4. Ketursraigčio pagrindinis valdiklis

Išvados

- [AAJ+01] - *Implementing a Sensor Fusion Algorithm for 3D Orientation Detection with Inertial/Magnetic Sensors*, <http://franciscoraulortega.com/pubs/Algo3DFusionsMems.pdf>
- [SSF+11] - *A sensor fusion algorithm for an integrated angular position estimation with inertial measurement units*, http://www.date-conference.com/proceedings/PAPERS/2011/DATE11/PDFFILES/IP1_06.PDF
- [MS11] - *Modeling, Design and Experimental Study for a Quadcopter System Construction*, <http://brage.bibsys.no/xmlui/bitstream/id/86811/uiareport.pdf>