بنام خدا



پروژه درس کنترل تطبیقی

استاد:دکتر ابجدی

دانشجو:صادق سلمانی ورنامخواستی

شماره دانشجویی:921418103

ربات پرنده

کوادرتور چیست؟؟؟



کوادرتور یا کوادروکوپتر یا پرنده چهار ملخه نوعی عمودپرواز است که بخاطر استفاده از چهار ملخ بصورت صلیبی این لقب را به ان داده اند. این نوع پیکربندی به پرنده این امکان را میدهد تا پرنده بتواند به راحتی و بطور مساوی در تمامی جهات حرکت کند و قدرت مانور فوق العاده ای داشته باشد. اما این پرنده بر خلاف ظاهر ساده خود بسیار بسیار پیچیده است بطوری که طراحی این نوع از پرنده ها در کشورهای محدودی انجام میگیرد و در کشور ما ایران فقط دانشگاه قزوین توانسته تا حدودی به این فناوری دست پیدا کند . اما مشکل بزرگی که بر سر طراحی همچین پرنده هایی وجود دارد مسئله پایداری این نوع از پرنده هاست که کار بسیار پیچیده ای است . در زیر به برخی از مشکلاتی که ممکن است تعادل پرنده را برهم بزند خواهیم پرداخت:

1-تغییر دور ناخواسته پره ها و عدم تعادل در سرعت چرخش پره ها:

این امر ممکن است بخاطر عوامل زیاد و گوناگونی اتفاق بیفتد ازجمله اصطکاک متفاوت موتورها بخاطر کثیفی موتورها یا همدور نبودن خود موتورها یا عدم همخوانی استپهای کنترل دور یا مسائلی از این دست میباشد.

2-عدم تعادل وزنی پرنده:

 این مسئله که بسیار شایع است ممکن است بخاطر عواملی چون تغییر مرکز ثقل و یا نصب نامتقارن تجهیزات اصلی و یا فرعی مانند دوربینها و سنسورها و یا عوامل خارجی دیگر رخ دهد

 3-اما مهمترین مسئله در عدم پایداری باد است:

 باد به تنهای میتواند تعادل تمامی پرنده ها را برهم بزند و کوادرتور هم جدا از این مسئله نیست.اما بادها جور دیگری هم خودنمایی میکنند و ان تاثیر باد ناشی از خود ملخها که شامل جریان گردابی ملخها و جریان برگشتی از سطح زمین میشود که بصورت نامتعادل به خود پره ها و بدنه پرنده برخورد کرده و بشدت تعادل پرنده را برهم میزند.

اما اثر مشکل عدم تعادل به این گونه است که اگر پرنده به هر دلیلی از دلایل فوق 1درجه و شاید هم کمتر از تعادل خارج شود بردار رانش موتورها از حالت عمود خارج شده و پرنده به صورت ناخواستا به یک سمت حرکت میکند که این امر با ازدیاد زاویه ناپایداری سرعت بیشتری میگیرد به طوری که باعث برخورد ناخواسته و عدم ثابت ایستادن پرنده میشود و در نهایت منجر به سقوط و انهدام پرنده میشود.
کوادرتور از چهار ملخ که دو به دو بر خلاف جهت هم میگردند تشکیل شده است. یعنی به این صورت که دو ملخ روبروی هم به صورت همجهت به یک سمت میچرخد و دو ملخ هم به صورت همجهت بوده و در خلاف جهت جفت ملخ اول میچرخد.

اما نحوه کنترل حرکت کوادرتورها به صورت زیر است:
برای حرکت پرنده در محور عمود باید دور جفت ملخهای یک جهت کم و به همون مقدار دور جفت ملخ جهت مخالف افزوده شود. این کار باعث میشود که بدون تغییر ارتفاع نیروی عکس العمل یک سمت از سمت دیگر بیشتر بشود و در نتیجه پرنده در یک سمت حول محور عمودی بچرخد

اما برای حرکت پرنده حول محور عرضی و طولی لازمه بین دو ملخ همجهت یک تفاضل دور به وجود بیاریم.به این ترتیب یک سمت پرنده به سمت بالا رفته و طرف دیگر به سمت پایین میل پیدا میکند که این امر باعث کچ شدن بردار رانش و حرکت پرنده به سمتی که بازویش پایین تر است میشود و هر چه مقدار این انحراف بیشتر باشد سرعت پرنده نیز بیشتر میشود. برای تغییر ارتفاع هم فقط کافی است سرعت هر ۴ ملخ را با هم کم یا زیاد کنیم
موتور : اکثر کوادروهای پیشرفته از موتورهای بدون جاروبک برای حرکت استفاده میکنند.
این نوع موتور ها بسیار کوچک- سبک و پرقدرتند. دلیل این امر هم این است که بخاطر عدم وجود جاروبک یا همان زغال در این نوع موتورها هم اصطکاک بسیار کم بوده و هم میتوان توان و جریان بالایی را به موتور اعمال کرد.

اسپید کنترل:

 یا همان راه انداز موتور براشلس :در موتورهای بدون جاروبک بخاطر عدم وجود جاروبک عمل کموتاسیون وتغییر قطبها و در نهایت چرخش موتور بصورت مصنوعی و توسط اسپید کنترل یا درایو موتور بدون جاروبک انجام میشود. اصول کلی کارکرد این قطعه بر اساس تولید نوسان که برق مستقیم را به صورت متناوب در میاورد نیز میباشد.

در انتخاب درایو باید دقت بسیاری شود که تعداد استپهای پیشبینی شده در درایو هر چه بیشتر باشد پرنده پروازی نرمتر و پایدارتری را به نمایش خواهد گذاشت.

ملخ : در انتخاب ملخ دو فاکتور از بقیه پر اهمیت تر است و آن دو طول و گام ملخ است که معمولا به اینچ و به صورت پیوسته بروی ملخ نوشته میشود. برای مثال ملخ ۶\*۸ ملخی است با طول ۸ اینچ و گام ۶ اینچ. گام یا همان میزان پیشروی به میزان پیشروی ملخ در هر دور در واحد اینچ نیز اطلاق میشود. البته ملخها از منظر نوع موادی که در ساخت ان به کار رفته هم به چند دسته تقسیم بندی میشوند که از ان جمله میتوان به ملخهای چوبی - پلاستیکی و مواد مرکب یا کربنی نیز اشاره کرد.

باطری : شاید دغدغه اصلی سازندگان وسایل پرنده الکتریکی تامین انرژی این نوع از پرنده هاست. شاید در گذشته ای نه چندان دور این امر تا حدودی غیر ممکن مینمود اما با ورود و عرضه باطریهای لیتیوم پلیمر یا همان لیپو دنیای پرنده های الکتریکی وارد مرحله جدیدی از زندگی خویش شد. چون باطریهای لیپو با دارا بودن وزن کم - قدرت زیاد و قدرت تخلیه جریان بسیار بالا میزان ساعت پروازی به مراتب بالاتری را به پرنده های الکتریکی میدهند.

شاسی یا بدنه : اما اخرین قسمت بدنه پرنده است که میتوان از بیشتر مواد سبک وزن در ساخت ان استفاده کرد اما در پرنده های حرفه ای تا نیمه حرفه ای اکثرا از الیاف کربن برای ساخت بدنه کوادروتورها استفاده میشود چون الیاف کربن با دارا بودن مقاومت بسیار بالا وزن بسیار کمی را به خود اختصاص میدهند.

  1 .کنترل وضعیت کوادروتور توسط کنترل تطبیقی

## معادلات حرکت کوادروتور:

اگرچه که کوادروتور یک وسیله شش درجه آزادی است، ولی تنها دارای چهار پره می­باشد، از این‌رو ممکن نیست که در همه درجات آزادی به set-point مطلوب برسد و تنها در بیشترین حالت در چهار درجــــه آزادی بهset-point مطلوب خواهد رسید. به خاطر ساختار خوب کوادروتور­، انتخاب چهار متغیر کنترل پذیر و جداسازی آنها بسیار آسان است، و سبب می­شود کنترل کوادروتور آسان­تر شود. چهار حرکت اصلی که اجازه می­دهد کوادروتور به ارتفاع و حالت مورد نظر برسد، به صورت زیر است:

### 1-نحوه حرکت کوادروتور در راستای محور Z:

این فرمان با افزایش یا کاهش سرعت همه روتور­ها به یک اندازه به وجود می­آید. این امر سبب وارد شدن یک نیروی عمودی جهت بالا رفتن و پایین آمدن کوادروتور می­شود. اگر کوادروتور در حالت افقی باشد جهت عمودی دستگاه اینرسی و دستگاه بدنی در یک راستا قرار خواهد گرفت در غیر این صورت این نیروی تراست ایجاد­شده، سبب تولید شتاب در راستای افقی و عمودی می­شود. شکل ‏0‑1، فرمان تروتل را نشان می­دهد. رنگ آبی سرعت زاویه­ای روتور­ها را مشخص می­کند که برابر ΩH +ΔA برای هر روتور است. ΔA مقدار مثبت اضافه‌شده به روتور است و نمی­تواند بسیار بزرگ باشد زیرا مدل در نهایت تحت تأثیر غیرخطی­ها و saturation قرار می­گیرد.

شکل ‏0‑1 : حرکت تروتلینگ



### 2-نحوه حرکت رول کوادروتور:

رول : (U2) این فرمان با افزایش (یا کاهش) سرعت روتور چپ و کاهش (یا افزایش) سرعت روتور راست انجام می­شود. این کار سبب ایجاد گشتاوری حول محور xB شده و کوادروتور را می­چرخاند. مقدار تراست عمودی ثابت مانده و برابر همان مقداری است که هنگام هاور کردن تولید شده بود، بنابراین این فرمان تنها منجر به شتاب زاویه­ای رول می­شود. مقادیر مثبت ΔA و ΔB به گونه­ای انتخاب می­شوند که مقدار تراست عمودی تغییر نکند. می­توان ثابت کرد که به ازای مقادیر کوچک رول بسیار بزرگی به کوادروتور وارد کنیم زیرا باعث می­شود مدل در نهایت تحت تأثیر غیرخطی­ها و saturation قرار بگیرد. ΔA داریم ΔB ≈ ΔA. همانند حالت قبلی نمی­توانیم



شکل ‏0‑2 : حرکت رول

###

### 3-نحوه حرکت پیچ کوادروتور:

پیچ : (U3) این فرمان شباهت زیادی به فرمان رول دارد و با افزایش (یا کاهش) سرعت روتور جلویی و با کاهش (یا افزایش) سرعت روتور عقبی اتفاق می­افتد، این امر سبب تولید گشتاوری حول محور yB شده که کوادروتور را می­چرخاند و مقدار تراست عمودی برابر مقدار هاور، ثابت باقی می­ماند در نتیجه این فرمان تنها سبب ایجاد شتاب زاویه­ای پیچ در وسیله می­شود. همانطور که در تصویر 4 مشاهده می­شود، مانند نمونه قبل ΔA و ΔB به گونه‌ای انتخاب می¬شوند که تراست عمودی بدون تغییر باقی بماند و زیاد بزرگ نباشند. به ازای مقادیر کوچک داریم ΔB ≈ ΔA .



شکل ‏0‑3 : حرکت پیچ

###

### 4-نحوه حرکت یاو کوادروتور:

یاو : (U4) این فرمان با افزایش (یا کاهش) سرعت روتور جلویی و عقبی و کاهش (یا افزایش) سرعت روتور چپ و راست به طور همزمان اتفاق می­افتد. این امر سبب اعمال گشتاوری حول zB به کوادروتور شده که باعث چرخش وسیله می­شود. تراست عمودی همان مقدار ثابت هاور کردن را دارد در نتیجه این فرمان تنها سبب پیدایش شتاب زاویه­ای یاو، در کوادروتور می­شودΔA و ΔB بگونه­ای انتخاب می­شوند که تراست عمودی بدون تغییر باقی بماند و زیاد بزرگ نباشند و به ازای مقادیر کوچک داریم .ΔB ≈ ΔA



شکل ‏0‑4 : حرکت یاو

همانطور که می­دانید xو y و zموقعیت مرکزجرم کوادروتور نسبت به دستگاه اینرسی هستند و ϕ و θ وψ زوایای اویلر بوده که بیانگر وضعیت و جهت­گیری وسیله پرنده نسبت به دستگاه مختصات اینرسی می­باشند. m جرم و Ixx و Iyyو Izz ممان‌های اینرسی کوادروتور بوده و Jr  و Ωr به ترتیب ممان اینرسی و سرعت زاویه‌ای پره­های روتور هستند. U1 و U2 و U3  و U4 ورودی­های کنترلی برای تغییر ارتفاع و زوایای رول و پیچ و یاو هستند.

برای استخراج معادلات دینامیکی شش ­درجه آزادی حرکت کوادروتور از قوانین نیوتن و اولر (‏0‑2) در دستگاه بدنی استفاده می‌شود.

|  |  |
| --- | --- |
|  (‏0‑1)  | Σ FB = m + ωB × mVB |
|  (‏0‑2)  | Σ MB = I + ωB × mωB |

## گشتاور نیروهای آیرودینامیکی حول شفت موتور و ها

نیروهای آیرودینامیکی که به پره­ها وارد می­شوند سبب تولید گشتاور حول شفت[N.m] Qو تولید گشتاور حول هاب [N.m] (R , P) می­شوند.

|  |  |
| --- | --- |
| (‏0‑3)  | Q = CQ ρ A (Ω Rrad )2 R - λ) - = (1 + μ2 ) + λ ( θ0   |
| (‏0‑4)  |  (-1)i = = - Q1 + Q2 – Q3 + Q4  |

می­توان گشتاور Q را برابر با dΩ2 فرض کرد. به دلیل یکسان نبودن توزیع نیروی تراست در سرتاسر پره، گشتاورهای رول و پیچ حول هاب تولید می­شوند، که گشتاور رول برابر است با :

|  |  |
| --- | --- |
| (‏0‑5)  | R = CR ρ A (Ω Rrad )2 Rrad  = - μ ( θ0 - - λ) |
| (‏0‑6)  | (-1)i+1 = = R1 - R2 + R3 - R4  |

و گشتاور پیچ تولید شده برابر صفر است (P=0,Cp=0).

###  گشتاور نیروی هاب حول مرکز جرم

نیروی هاب به دو نیروی در راستای محورx و y تقسیم شد که از نیروی در راستای y به دلیل کوچک بودن صرف­­نظر می­شود. اگر فاصله صفحه محل اثر نیرو تا مرکز جرم کوادروتور را h در نظر بگیریم، گشتاوری حول محور y دستگاه بدنی به وجود می­آید:

|  |  |
| --- | --- |
| (‏0‑7)  |  = h () |

همچنین نیروی هاب موتورهای 2 و 4 باعث گشتاوری حول محور z دستگاه بدنی می­شوند :

|  |  |
| --- | --- |
| (‏0‑8)  |  =  |

معادلات دینامیکی حرکت چرخشی کوادروتور را در دستگاه بدنی بصورت زیر می­باشد :

|  |  |
| --- | --- |
| (‏0‑9)  |  |

Ixx = (Iyy -Izz) - JrΩr  + U2

Iyy = (Izz –Ixx) + JrΩr  + U3

Izz = (Ixx –Iyy) + Jr r +U4

m = -(cosϕ sinθ cosψ + sinϕ sinψ) U1

m = -(cosϕ sinθ sinψ - sinϕ cosψ)U1

m = mg - (cosϕ cosθ)U1

ترم­هایJrΩr وJrΩr و Jr r مبین گشتاور ناشی از اثرات ژایروسکوپیک پره­ها می­باشند. در مقایسه با سایر گشتاورهای وارد بر کوادروتور، این اثرات ژایروسکوپیک نقشی در وضعیت و جهت­گیری کوادروتور ندارند و تنها برای افزایش دقت و بدست آوردن مدل کاملتری از کوادروتور در معادلات آورده شده­اند، لذا در شبیه­سازی و حصول سیستم کنترلی نقشی نخواهند داشت. با این کار از پیچدگی کلی سیستم کاسته خواهد شد. از طرفی از آنجا که هدف در این قسمت از گزارش شبیه­­سازی و کنترل کوادروتور در شرایط هاور می­باشد، لذا سرعت زاویه­ای کوادروتور حول محورهای دستگاه مرجع اینرسی کوچک بوده به همین دلیل می­توان از اثرات ژایروسکوپیک صرف­نظر کرد. در معادلات اخیر مقادیر کنترلی از ترکیب سرعت زاویه­ای روتور ها بوجود می­آیند :

U = =

# خطی­سازی معادلات حالات غیرخطی

روشی که برای خطی­سازی استفاده می­کنیم بسط سری تیلور است. معادلات حاکم غیرخطی هستند و باید حول شرایط پروازی پایدار هاور خطی شوند. عمل خطی­سازی با استفاده از ژاکوبین معادلات غیر­خطی نسب به تمام متغیر­های حالت حول نقطه کاری هاور X0 و U0 انجام می‎شود.

(U0 = [ mg 0 0 0] ,X0 = [0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0])

هدف این قسمت از پروژه شبیه­سازی شرایط پروازی هاور در غیاب عدم قطعیت­ها و اغتشاشات است. با استفاده از نرم­افزار متلب و تابع ode45 به حل معادلات دیفرانسیل رفتار کوادروتور با شرایط اولیه صفر می‌پردازیم. سرعت زاویه­ای هر روتور از ابتدا ثابت و برابر سرعت زاویه­ای تعادل است که به روش زیر محاسبه می­شود(کدهای مربوط به شبیه­­سازی در ضمیمه C آمده­است) :

شرایط اولیه : X0 = [0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0]

 → 4b = mg → Ω0 =

با استفاده از بسط تیلور و خطی­سازی حول شرایط تعادل پروازی هاور داریم:

Ixx = U2

Iyy U3

Izz U4

m = gθ

m = gϕ

m = mg -U1

همانطور که مشاهده می­کنید سیستم چند ورودی –چند خروجی کاملاً از هم دیکوپله شده­اند. با لاپلاس گرفتن از طرفین معادلات اخیر فرم جدیدی از معالدات دست پیدا خواهیم نمود.

حال که معادلات را به فرم تابع تبدیل مرتبه دوم داریم می­توانیم از روش­های گفته شده در کتاب منترل تطبیقی غیرخی کاربردی اسلوتین استفاده کنیم.

## کنترل تطبیقی مستقیم(direct adaptive control)

برای کنترل وضعیت کوادروتور از روش کنترل تطبیقی مدل مرجع مطابق با قسمت 8.3 کتاب اسلوتین عمل خواهیم کرد. نتایج شبیه سازی­ها و نمودار سیمولینکی طراحی شده در ادامه نشان داده شده است. نمودار اول و دوم مقادیر زوایای رول و پیچ و یا هستند که بخوبی مقادیر مرجع ثابت صفر و سینوسی را تعقیب نموده­اند. ونمودار سوم و چهارم تخمین پارامترهای ثابت سیستم می­باشند.



شکل ‏0‑5 : بلوک دیاگرام کنترل تطبیقی مدل مرجع

شکل ‏0‑6 : زوایای رول و پیچ و یاو به هنکام تعقیب فرمان ورودی سینوسی

شکل ‏0‑7 : تخمین پارامترهای ممان اینرسی به هنگام ورود مرجع سینوسی

 شکل ‏0‑8 : زوایای رول و پیچ و یاو به هنگام پایدار سازی از زاویه 45 درجه و رسیدن صفر



شکل ‏0‑9: پارامترهای تخمین زده شده به هنگام ورودی مرجع صفر

در نمودارهایی که نشان دهنده زوایای معرف وضعیت هستند خطوط تیره نشاندهئده پاسخ مدل مرجع به سیگنال ورودی بوده و خطوط کامل نشان دهنده پاسخ سیستم تحت کنترل تطبیقی بوده بخوبی مشاهده می­شود که خروجی پلنت بخوبی مدل مرجع را تعقیب کرده و خطای ماندگار را به صفر می­رساند.