



This is the **published version** of the bachelor thesis:

Benito Pastor, Hector; Rexachs del Rosario, Dolores Isabel, dir. Creació d'un dron. 2024. (Enginyeria Informàtica)

This version is available at <https://ddd.uab.cat/record/298964>

under the terms of the  license

Creació d'un Dron

Hector Benito Pastor

1 de juliol de 2024

Resum— Aquest article presenta una visió general del treball realitzat per al desenvolupament de un dron. El objectiu del projecte es crear un drone controlat amb wifi a través del ordinador que pugui realitzar moviments simples com alçar el vol o anar en alguna direcció dins d'un espai controlat. Es descriu els diversos mòduls implicats i com aquests estan connectats al microcontrolador, així com la connexió entre el dron i el controlador d'aquest. Es discuteix el ús de diversos algorismes i de la fusió de sensors per tal de fer un control del vol efectiu, i es realitzen diversos test per tal de comprobar la qualitat tant de cada mòdul del sistema com del producte final.

Paraules clau— Dron, Wifi, STM32, PWM, PID, Fusió de Sensors, TDD.

Abstract— This article presents an overview of the work carried out for the development of a drone. The aim of the project is to create a wifi-controlled drone through a computer that can perform simple movements such as take off or move into some direction within a controlled space. It describes the various modules involved and how they are connected to the microcontroller, as well as the connection between the drone and its controller. The use of various algorithms and sensor fusion is discussed in order to make an effective flight controller, and several tests are performed in order to check the quality of each module of the system as well as the final product.

Keywords— Drone, Wifi, STM32, PWM, PID, Sensor Fusion, TDD.

software de tot el sistema, els test realitzats, i finalment els resultats obtinguts i les conclusions.

1 INTRODUCCIÓ - CONTEXT DEL TREBALL

UN dron es un vehicle aeri pilotat remotament o totalment automàtic que porten càmeres, sensors, paquets i equips de comunicació[1]. Totes les operacions de vol són realitzades sense un humà a bord. Aquest tipus de vehicle aeri també es pot anomenar UAV (Unmanned Aerial Vehicle) per les seves sigles en anglès.

La motivació d'aquest treball es la de aprendre com funciona un dron tant a nivell hardware com software, per a finalment realitzar un prototip de dron funcional que fagi les tasques bàsiques de moviment que podria fer un dron convencional, canviant el sistema de comunicació, que per a un dron comercial sol ser un mando radiocontrol, per una connexió wifi.

Dins d'aquest article s'explicarà els objectius del projecte, la metodologia a seguir i la planificació de les tasques (veure en el annex A.1 i A.2), l'estat de l'art i les normatives vigent sobre l'ús de drons, una llista dels components que s'utilitzaran i com estaran connectats entre si, els disseny

2 OBJECTIUS

El objectiu d'aquest projecte consisteix en crear un UAV controlat a través de un ordinador per wifi. Dins d'aquest objectiu principal es poden treure d'altres per tal de definir amb més detall el objectiu:

- Cada part del UAV ha de ser modular per tal de poder re-utilitzar-se.
- El sistema final ha de complir les normatives vigents per a poder operar.
- El sistema ha de ser segur i fiable i tenir funcions de recuperació i resiliència en situacions d'emergència com una pèrdua de senyal.

Tot això fent test unitaris al llarg del procés per tal de assegurar el funcionament correcte del software.

Per part del requisits que el UAV haurà de complir, aquest haurà de tenir la capacitat de moure's en un espai de tres dimensions rebent ordres desde un ordinador a través de wifi, i a més ser capaç de mantenir la altura de vol si no arriben altres ordres i de equilibrar-se en cas de variacions no desitjades de la seva orientació com una ràfega de vent.

• E-mail de contacte: Hector.Benito@autonoma.cat
• Menció realitzada: Enginyeria de Computadors
• Treball tutoritzat per: Dolores Rexachs (DACSO)
• Curs 2023/24

3 ESTAT DEL ART I NORMATIVA

Els primers drons tenien un ús estrictament militar, mentre que conforme la tecnologia s'ha anat desenvolupant ha entrat cada cop més en l'àmbit civil, on actualment es troben en gran varietat de camps com en tasques de rescat, agricultura, mapeig del terreny, cinema i fotografia, etc.



Fig. 1: MQ9 Reaper, dron de reconeixement militar d'els EEUU

Els drons es poden classificar en diversos tipus[3], un de ells seria la seva estructura, on poden ser d'ala fixa, més semblants a un avió, o ala rotatoria, on hi han diversos tipus més depenent de la quantitat de motors, el més comú d'ells seria el quadcopter, de 4 motors. També es poden dividir en la quantitat d'autonomia que poseeixen, passant de ser controlats remotament per un humà, a tenir navegació automàtica i planificació de tasques complexes, o detecció de persones o objectes, tot sense el control d'un humà. Finalment un altre punt com es poden classificar es egons la normativa de la EASA(agència de la unió europea para la seguridad aerea), on hi han 7 classes, la C0 son drons petits de poca massa (250g) i velocitat que serien més joguines. A partir de la C1 amunt han de dur un sistema de geoconsciència per tal de respectar els llocs on es pot volar i on no es pot, i depenent de cada classe es podra tenir un pes major o menor, fins al màxim de 25kg.

Dins de la normativa espanyola[4], tot aquell que vulgui volar un dron haura de complir els següents requisits:

- registrar-se i obtenir un numero de operador que s'enganxarà al dron.
- formar-se com a pilot i adquirir la qualificació necessaria segons el ús que se li doni al dron(per operar un dron en categoria oberta son les subcategories A1 i A3).
- tenir una assegurança que cobreixi la responsabilitat civil contra tercers en cas d'accidents.
- tenir en compte les regles de vol segons la categoria del dron que s'ha explicat enteriorment(C0-C6).
- tenir en compte les zones on es pot volar el dron, evitant aeroports, zones militars, zones urbanes, etc.
- Haura de estar equipat amb un sistema de identificació a distancia directa(DRI) i disposar de un numero serie únic.

4 COMPONENTS

Per a tal de dur a terme el projecte s'ha de fer un meticulosa investigació dels components necessaris per tal de fer el sistema, ja que hi han components com els controladors dels motors i els motors que han de ser compatibles entre si. També s'ha de anar tenint en compte per al disseny que la quantitat de pins del microcontrolador escollit sigui suficient per a connectar tots els components, i que aquest disposi de la capacitat de còmput suficient per a poder dur a terme els algorismes necessaris. Els següents components llistats han estat els escollits, i a la descripció de cada un explico el perquè i una petita explicació de les seves característiques.

4.1 STM32F411

Per a computar les dades dels diferents sensors i transformar-les en dades per a controlar els actuadors, s'utilitzarà el microcontrolador STM32F411CEU6 com el de la figura 2, pertanyent a la sèrie STM32 basat en una arquitectura de 32 bits ARM cortex-M4, amb un freqüència de funcionament de fins a 100MHz i 512kb de memòria i 128kb de RAM, que per tant compta amb una capacitat de còmput suficient per a la tasca.

També compta amb 48 pins[6] amb una àmplia gamma de perifèrics integrats, com port PWM per a controlar els motors, port I2C i SPI per rebre dades dels sensors, port UART per rebre les ordres del mòdul wifi o altres com CAN, USB, ADC i diversos pins GPIO.

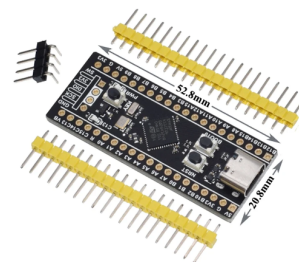


Fig. 2: STM32F411

4.2 ESP8266 ESP01

Per tal de comunicar-se entre el microcontrolador i l'ordinador, s'utilitzarà el ESP8266 ESP01 com en la figura 3, que es perfecte ja que es un mòdul wifi compacte basat en el microcontrolador ESP8266. Aquest mòdul es programarà a través del microcontrolador utilitzant comandos AT, amb els que se li indicarà que ha de actuar com a acces point per tal de poder establir amb l'ordinador una connexió, i haurà de iniciar un servidor que es connectarà amb el client que estarà corrent desde el ordinador per tal de poder enviar i rebre missatges com les comandes de moviment o el nivell de bateria.

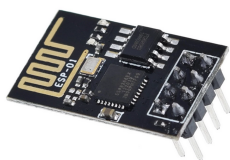


Fig. 3: ESP8266 ESP01

4.3 GY-521 MPU6050

Per tal de equilibrar el UAV en cas de forces que alterin la inclinació d'aquest com ràfeges de vent, el sensor GY-521 MPU6050 com el de la figura 4 s'encarregarà, utilitzant oscil·loscopis i accelerometres de tres eixos, de enviar dades d'acceleració i velocitat angular del UAV a través de I2C al microcontrolador per tal de que aquest corregeixi la perturbació.

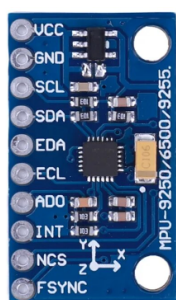


Fig. 4: GY-521 MPU6050

4.4 GY-BMP280

Per tal de poder mantenir la altura del UAV, el sensor GY-BMP280 com el de la figura 5 detectarà la pressió del aire amb una resolució de fins a un 0.01hPa i enviarà a través de I2C aquest informació al microcontrolador per a que aquest fagi els càlculs necessaris per saber la altura, i així fer les maniobres necessàries per mantindre o canviar la altura de vol. El mòdul és de baix consum, ideal per a aplicacions portàtils com un UAV.

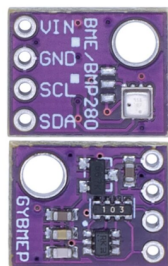


Fig. 5: GY-BMP280

4.5 RS2205

Per tal de poder moure's per l'espai, aquest motors brushless rs2205(figura 6) de gran potència són ideals per a UAV, amb un disseny optimitzat per a màxima eficiència energètica, lleugers gràcies a materials com l'alumini o el

carboni del que està fet i compatible amb diverses games de bateries de liti i de ESC.



Fig. 6: motor RS2205

4.6 ESC

Per a controlar la velocitat dels motors, els ESC(figura 7) permeten ajustar al velocitat dels motors de manera precisa i instantània, el que proporciona un gran control. També incorporen funcions de protecció contra sobrecàrrega i sobrecaientament, el que protegeix els motors i dona més fiabilitat al sistema. Es poden controlar amb senyals PWM i altres protocols, com Oneshot i DSHOT.

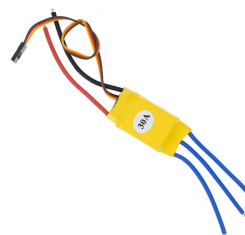


Fig. 7: ESC 30A

4.7 Hèlices

Per tal de transformar el moviment generat pels motors en força de sustentació que elevi el UAV, les hèlices triblade de 5 polzades com les de la figura 8 donaran major força de sustentació i una millor estabilitat que les biblade, a canvi de consumir més energia.



Fig. 8: hèlices

4.8 Bateria lipo

Les bateries Lipo ofereixen una alta capacitat de emmagatzematge en un format compacte i lleuger, això permet al

UAV obtenir una autonomia més llarga i un millor rendiment global, en aquest cas s'utilitzarà un abteria lipo de 2200mAh de capacitat i 11,1V com la de la figura 9.



Fig. 9: Bateria lipo 3s

4.9 Matek Mini Power Hub

Per tal de centralitzar i distribuir la alimentació elctrica entre els diversos components del UAV es fa ús de una PDB(Power Distribution Board) que es pot veure a la figura 10, ja que simplifica el cablejat del UAV i simplifica el manteniment. També incorpora protecció contra curtcircuits que protegeix els components i un BEC(battery eliminator circuit) per regular el corrent i poder connectar components que utilitzin un menor voltatge del que dona la bateria.

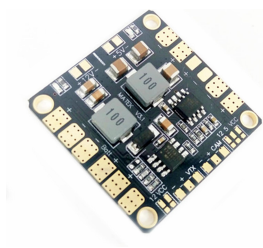


Fig. 10: Matek Mini Power Hub

4.10 QAV250

Per a unir tots els components en una estructura lleugera i resistent he triat el QAV250 de 250mm de diàmetre com el que es pot veure a la figura 11, que es complementa amb els altres components com els motors o la grandària de la bateria, i que permet una configuració modular que facilita la substitució de peces i els seu manteniment.



Fig. 11: Estructura

4.11 Pes Total

Un cop escollits els components, s'ha de assegurar que els motors puguin aixecar el pes total de forma còmode, i per això primer s'ha de calcular el pes total del UAV, i després dividir-lo entre el nombre de motors que hi ha al UAV, que són quatre, per saber el pes que haurà de suportar cada un.

Els pesos estimats de cada component són:

- STM32F411(1): 10,5g
- QAV250(1): 135g
- ESP8266 ESP01(1): 1g
- GY-521 MPU6050(1): 3g
- GY-BMP280(1): 1g
- RS2205(4): 144g
- Hèlices(4): 11,2g
- Bateria lipo(1): 140g
- Matek Mini Power Hub(1): 6g
- ESC(4): 116g

Per tant, el pes total del UAV serà de 567,7g que dividit entre el nombre de motors serà de 142g per motor. Depenent de la mida de les hèlices i la tensió que es proporcioni als motors, aquest tindrà una menor o major força de sustentació, en aquest cas calculant que la tensió que solen estar els ESC es a 30A i les hèlices són de 5 polzades, la força de sustentació del un motor serà de 1160g[5], per tant la relació força/pes serà de 8, que és més que suficient per operar el UAV.

4.12 Diagrama de Blocs

Finalment s'ha de fer un diagrama de blocs per a veure com els diversos components queden connectats com es pot veure a la figura 12, on les línies negres són els cables que subministren energia al sistema i els cables vermells comuniquen dades entre ells, i tots van a parar al microcontrolador.

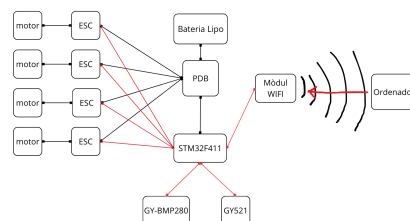


Fig. 12: Diagrama de Blocs del sistema

5 DISSENY

El disseny del sistema consistirà en definir amb més claredat que en el diagrama de blocs com es connectarà cada element i quin tipus de connexió s'utilitzarà. També s'extreuran els requeriments per tal de saber quines funcions ha de realitzar i amb quin rendiment ha de funcionar. Finalment es farà un disseny preliminar del programa servidor/client que s'encarregarà de transmetre la informació, i el programa de control de vol.

5.1 Requeriments del sistema

Per tal de saber les funcions que ha de realitzar el dron i amb quin rendiment ho ha de fer primer es farà una llista dels requeriments funcionals i no funcionals del sistema.

5.1.1 Requeriments funcionals

Control desde l'ordinador:

- El sistema ha de permetre al usuari controlar al dron utilitzant un ordinador a través de wifi
- El sistema ha de proporcionar una interfície d'usuari on es mostri com controlar el dron de manera efectiva
- El usuari ha de poder realitzar accions com despegar, aterritzar, canviar la altitud i ajustar la direcció del dron a través de la interfície
- El dron ha de comptar amb leds que indiquin les part delanteres i darreres d'aquest.

Manteniment de l'altura:

- El sistema ha de incloure un algoritme de control de altitud que permeti al dron mantenir una altitud específica de vol de manera estable
- El dron ha de ser capaç de ajustar automaticament la altitud per compensar canvis ambientals, com una ràfega de vent.

Equilibri del dron:

- El sistema ha de implementar un algoritme de control de estabilitat que procuri que el dron es mantingui nivellat i equilibrat durant el vol.
- El sistema ha de ser capaç de detectar i corregir qualsevol inclinació no desitjada a través dels sensors i actuadors

Seguretat:

- si s'acaba la bateria o es perd la connexió amb el ordinador el dron ha de fer un aterrisatge de emergència.
- es donarà prioritat a la estabilitat del sistema abans de les ordres rebudes per l'ordinador.

5.1.2 Requeriments no funcionals

Connexió wifi:

- La connexió wifi entre el ordinador i el dron ha de tenir una baixa latència per garantir una resposta ràpida a les ordres del usuari.
- S'ha de minimitzar la interferència i la pèrdua de senyal per mantenir una comunicació estable entre l'ordinador i el dron.

Estabilitat i presició del control:

- El sistema de control del dron ha de ser precís i estable per garantir un vol suau i controlat en tot moment.
- S'ha de minimitzar la variabilitat en el manteniment de la altitud per a una millor correcció del error sense soroll.

Consum d'energia:

- El dron ha de ser eficient en termes de consum de energia per a prolongar la duració de la bateria i augmentar el temps de vol
- S'han de aplicar estratègies de gestió de energia per optimitzar el ús de la bateria i reduir el consum quan sigui possible.

5.2 Diagrama de connexions

Un cop ja hem aclarit que ha de fer el sistema, hem de veure com connectar els diversos components explicats al apartat anterior.

Per al microcontrolador STM32F411CEU6 les connexions de comunicació entre els diversos sensors, els ESC i el mòdul wifi són:

$PB6(SCL), PB7(SDA) \rightarrow GY521$
 $PB10(SCL), PB3(SDA) \rightarrow BMP280$
 $PA9(TX), PA10(RX) \rightarrow ESP8266ESP01S$
 $PA0, PA1, PA2, PA3 \rightarrow 4xESC$

En el cas de les connexions per alimentar de electricitat els ESC i motors i el microcontrolador es farà utilitzant el pinout de la PDB com es pot veure a la figura 14, i les connexions serien:

$BEC5V, GND \rightarrow STM32F411CEU6$
 $4xVCC, GND \rightarrow 4xESC$
 $VCC, GND \rightarrow BMS$

Aquestes connexions s'han extret de les imatges que es poden trobar al annex A.3 del pinout del STM32F411CEU6 i de la PDB Matec Mini Power Hub.

Finalment el diagrama de connexions quedaria com es pot veure en la figura 15, notar que els sensors es connectaran a la alimentació de 3,3v del microcontrolador, mentre que el mòdul wifi es connectarà directament a la PDB utilitzant un divisor de tensió, ja que pot arribar a consumir 250mAh i això podria fer que no funcionés correctament el microcontrolador.

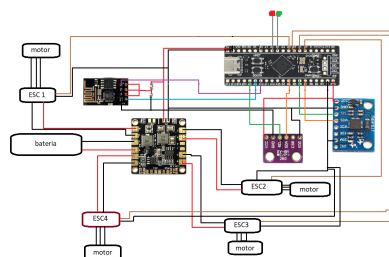


Fig. 13: Diagrama de connexions del dron

5.3 Diagramas de flux

Per a explicar el funcionament del software que complirà amb els requisits exposats anteriorment, s'explicarà els diversos mòduls software que hi haurà i com funcionen, i es mostraran els diagrames de flux d'aquest per tal de tenir una representació més gràfica.

5.3.1 sensor fusion i filtre de kalman

Per tal de poder saber la inclinació en tots els angles del dron i la seva altura es farà servir els mòduls mencionats an-

teriorment, però les mesures que treuran poden ser de poca fiabilitat degut a factors externs com el soroll en el accelerometre o les ràfegues de vent en els sensor de pressió, i per tant s'ha de buscar una manera de tenir unes mesures fiables ja que d'aquestes depèn el correcte funcionament del dron. Per tal de donar fiabilitat es farà servir una fusió de sensors i el filtre de kalman.

La fusió de sensors consisteix en utilitzar la mateixa mesura però extreta de dues maneres diferents, com seria per exemple el angle pitch, que es pot extreure tant de les mesures de l'accelerometre com del giroscopi. Això ens dona dues mesures que podran no ser del tot fiables, però que la mitja d'elles ho serà molt més que només una sola[8].

Però només amb les dues mesures no serà suficient, ja que si una d'elles o ambdues estan molt allunyades de la realitat no servirà de res tenir les dues. Per a solucionar això s'afegeix el filtre de kalman, que a través de un bucle de predicció i correcció, on inicialment es fa una estimació del estat i la fiabilitat de que aquest sigui correcte, després basant-se en el model del sistema prediu el possible següent valor, i quan obté el valor real llegit es compara amb la predicció feta i es calcula el grau de fiabilitat de la mesura, i finalment es combina per a actualitzar l'estat. En la figura següent es poden veure les dues fases i les formules que s'utilitzen.

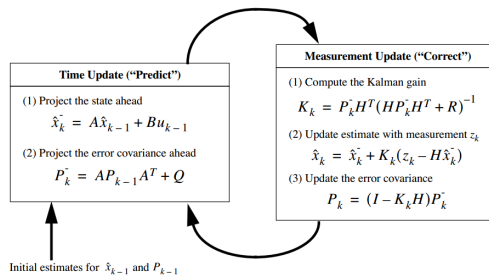


Fig. 14: diagrama flux filtre de kalman[7]

5.3.2 calibratge dels motors

El control de la potència dels motors es fa a través dels ESC(Electronic Speed Controller).Per tal de poder canviar la potència s'haurà de passar una senyal PWM[9] als ESC, i aquests seran els que controlin els motors, així que per tant només caldrà configurar els ESC a través de la senyal PWM que se li passa, i un cop configurats la senyal PWM passarà a ser el modulador de potència dels motors.

Primer de tot s'haurà de crear la senyal PWM per a poder-la passar al ESC i configurar-lo. La senyal PWM haurà de tenir una freqüència de 50hz. Per tal de que sigui així s'haurà d'utilitzar la formula següent: $F_{timer} = F_{clock}/(prescaler * period)$, on F_{clock} es la freqüència de rellotge que li arriba al timer, en el nostre cas de 9Mhz, el prescaler un valor que actua com a contador un cop arriba al màxim es reseteja, el que indica un cycle nou de la senyal, i el period es refereix al temps que tarda entre cada augment del contador, per tant el temps de cada cycle sera la mutliplicació del prescaler i el period.

Un cop s'ha generat la senyal PWM es passarà a calibrar el ESC per a que sàpiga quina es la senyal mínima i màxima que podra rabre i així modular la potència segons la senyal PWM. Per a fer això s'haurà de fer la rutina que es mostra

en la següent figura, i un cop fet el calibratge ja es podra passar la potència dels motors amb la senyal PWM.

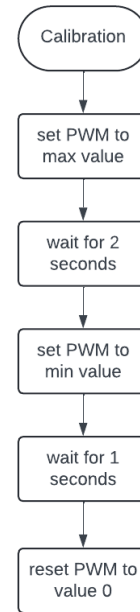


Fig. 15: diagrama de fluxe de la calibració d'un motor

5.3.3 controlador de vol

El control de vol consisteix en un programa software que controla la velocitat de rotació i el angle del dron rebuda desde la IMU per tal de estabilitzar el drone o si es rep comandes de moviment posar el drone en el angle adequat per a que es mogui. Per tal de fer això es farà servir un controlador PID (Proportional Integral Derivative) que si se li proveeix un angle calcularà la veloictat angular i si se li proveeix la velocitat angular calcularà la senyal PWM en microsegons que s'ha de enviar a cada motor. Com es pot veure a la figura 16, la funció del PID es rebre el error entre la lectura del sensor i la comanda, i aplicar les tres formules $P = K_p \times e$, $I = k_i \times \int e$, i $D = k_d \times (\text{angleSensor} - \text{angleSensorAnterior})$, on k_p, k_i i k_d són constants que s'ha de calibrar per tal de que el control PID funcioni el millor possible, i finalment sumar els resultats de aquestes per a fer la sortida.

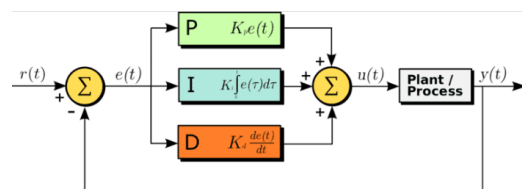


Fig. 16: Funció PID

Dins del controlador de vol hi han dos bucles que es van fent continuament per a cada angle pitch, roll i yaw. El bucle interior també anomenat rate mode rep una velocitat de rotació desitjada desde el wifi, i li resta la velocitat de rotació actual que té el dron calculada per el giroscopi, després se li pasa aquesta velocitat a la funció PID i aquesta retorna

la senyal que se li hauria de passar als motors, i finalment es junten les senyals que han generat les funcions PID per a cada angle i es passen les senyals finals a cada motor.

Un problema d'aquest tipus de mode es que un cop es deixa de premer per anar cap a una direcció, el dron no corregirà la inclinació i ho ahura de fer l'usuari manualment prement el botó per a la direcció contrària. Per això es fa el bucle exterior del controlador, que un cop es deixi de prémer el botó automàticament es retornarà a una inclinació neutral.

El segon bucle utilitza el filtre de kalmann de un dimensió per a unir la velocitat de rotació calculada pel giroscopi i el angle calculat per el accelerometre, i retorna un angle que es restarà al angle desitjat per l'usuari i aquest angle es passarà per una funció PID, que retornarà una velocitat de rotació que es passarà al rate mode. Aquest mode s'anomena stabilize mode, i els angle afectats només seran el pitch i roll, ja que no volem que el yaw retorni a cert angle.

En la següent figura 17 es pot veure els dos mode explicats, en blau el rate mode i en negre el tros afegit per al stabilize mode.

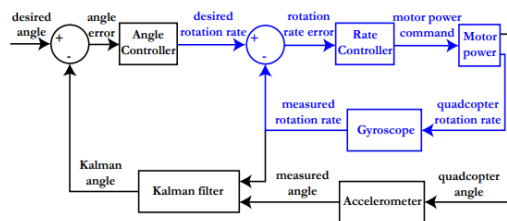


Fig. 17: Mode de estabilització

Per altra banda, també hi ha un altre mode anomenat velocity mode, el qual permetrà mantindre la altura de vol un cop s'hagi deixat de prémer el botó que augmenta o disminueix la potencia de tots els motors. Primer se li passarà la velocitat vertical desitjada, que se li restarà la velocitat vertical calculada a través del filtre de kalmann de dues dimensions, que utilitza la altura mesurada per el baròmetre i la velocitat vertical en el eix de la z mesurada per el accelerometre. Aquesta velocitat vertical es passarà a una funció PID, que tindrà com a resultat la potencia a la que haurien d'anar els motors, i aquí es un s'unirà amb el stabilize mode explicat abans per a fer les senyals PWM adequades per a cada motor.

A la següent figura 18 es pot veure el velocity mode explicat anteriorment.

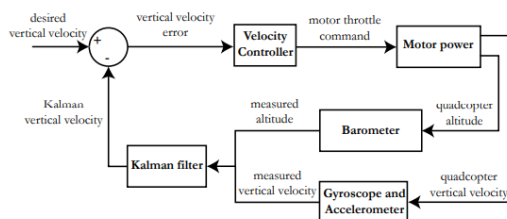


Fig. 18: Mode de control d'altitud

5.3.4 Connexió wifi

Per al programa de connexió entre l'ordinador i el dron, aquest estarà dividit en tres parts corresponent als tres com-

ponents per on les dades hauran de passar, l'ordinador que estarà connectat a la xarxa wifi que generara el mòdul wifi esp8266 i finalment el microcontrolador que estarà connectat al mòdul wifi a través de uart. Per a enviar les dades a través de wifi s'utilitzarà un model basic de TCP server/client, en que el servidor allotjat en el mòdul wifi tindrà un ip estàtica i anirà llegint la informació que vagi revent del client, i quan rebí un caràcter de salt de línia enviarà la informació a través de uart al microcontrolador. El diagrama de fluxe següent representa el comportament del programa del servidor.

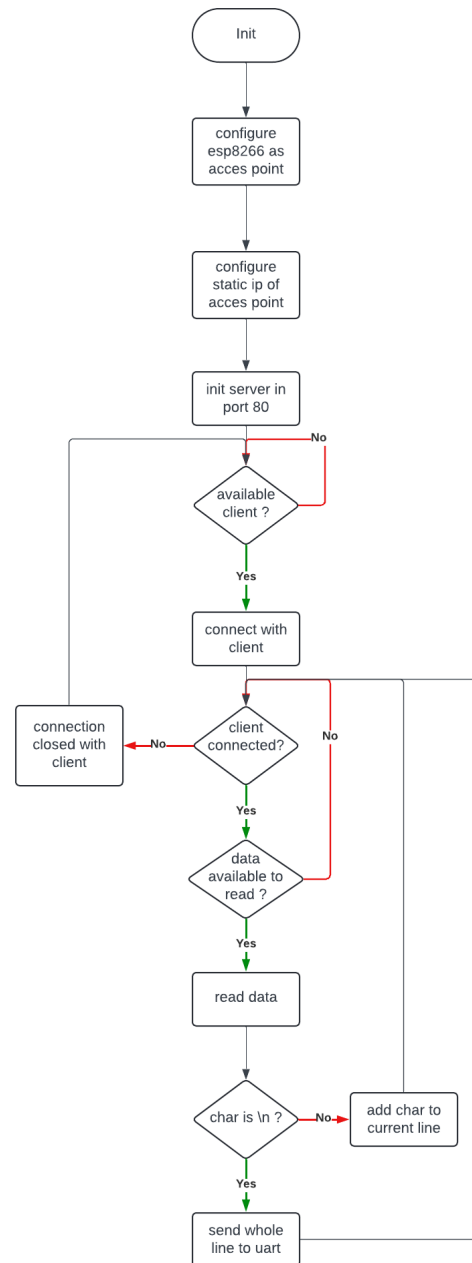


Fig. 19: Diagrama de flux del programa server

Per altra banda, el program client que s'executarà a l'ordinador imita en comportament al de un mando radiocontrol, on hi han dos sticks que controlen els tres angles roll, pitch i yaw per anar endavant enrere, esquerra, dreta i canviar de direcció, i el throttle, que serveix per canviar d'altura. En el cas del stick per controlar el pitch i roll un cop es deixa anar els valor que enviara seran cada més propers a 0 fins

que arriba a 0, per altra banda el stick que controla el yaw i throttle un cop es deixa anar es mantindrà el últim valor. A la figura següent es pot veure el diagrama de flux del programa client, on es pot veure el que s'ha explicat anteriorment.

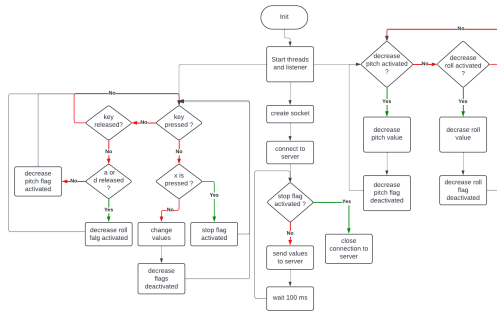


Fig. 20: Diagrama de flux del programa client

5.3.5 recuperació en cas de bateria esgotada

Per tal de saber si la bateria s'ha acabat o comença a acabar-se, hi ha un registre al microcontrolador anomenat brownout register, que activa un flag quan detecta que el voltatge ha caigut per sota dels 5v, i utilitzant el registre () es pot fer que s'activi una rutina interrupció. Per tant es pot anar comprovant flag del BOR dins el bucle infinit i un cop s'activi es notifiqui al usuari de que queda poca bateria i que ha de aterissar. Si es manté en vol i el voltatge acaba baixant de cert nivell, s'executaria un rutina de interrupció que fagi aterissar forçosament el dron.

6 TEST REALITZATS

En aquesta secció explicaré tots els test realitzats durant el projecte, per tal de poder comprobar que cada subsistema funciona correctament i que també un cop integrats els uns amb els altres aquest tenen el comportament esperat. Finalment s'ha fet un test de conjunt per a comprobar el funcionament de tot el sistema muntat en la estructura per així poder detectar altres problemes no vistos en els test de integració i assegurar un bon rendiment i temps de resposta.

Cal notar també que per a poder provar el codi en la STM32F411 he utilitzat el stlink, que permet debugar el codi, però no té per a veure els prints que es fan dins el microcontrolador, el que dificulta provar-lo.

6.1 Test Unitaris

Per a comprobar el correcte funcionament de cada producte electrònic primer he utilitzat la placa arduino, que ja té codi implementat i per tant funcional, per comprobar que el hardware no és defectuós i retorna els valors correctes. Un cop fet això, he probat el funcionament del codi que he fet amb els divesos test unitaris que explicaré a continuació.

6.1.1 Accelerometre i Giroscopi

Per a provar el accelerometre i el giroscopi de tres dimensions dins del STM32F411 s'utilitzarà el mode debug per a veure si els valors varien conforme es mou el gy521, primer

sense calibrar els valors, el que fa que els valors estàndard no siguin 0, i després calibrant els valors per tal de que sigui 0.

6.1.2 Baròmetre

Per a provar el baròmetre, que consisteix en un sensor de temperatura, pressió i la altura respecte nivell de mar derivada d'aquest valors, s'utilitzarà també el mode debug, aplicant calor al sensor de temperatura per a veure com aquesta canvia.

6.1.3 Filtre de Kalman

Un cop ja s'ha probat que el codi del acceleròmetre, giroscopi i baròmetre fet per al STM32F411 ja funciona, per a provar el filtre de Kalman es pot fer tant en arduino com en el STM32F411, ja que el codi es independent del hardware, per tant s'utilitzarà el serial plotter d'arduino per a veure que el filtre suavitzta la aviació de les mesures extrems.

6.1.4 Mòdul Wifi

El mòdul wifi es el subsistema mes difícil tant de programar com de testear, ja que consta de 3 cpus diferents, el ordinador, el mpu6050 i finalment el STM32F411, i per tant per a comprobar el seu funcionament correcte s'ha d'anar afegint cada cpu una a una per anar comprovant que cada pas en la comunicació de la informació es correcta.

Primer per a provar que l'ordinador envii els valors correctes es printarà els valors del paquet abans de ser enviat, un cop sabem que els valors del paquet són correctes, s'envien per wifi al esp8266, i aquest es programa amb arduino, per tant per comprobar que la informació no ha estat alterada es farà println per veure la informació rebuda. Per últim s'ha de passar la informació del esp8266 al microcontrolador a través de uart, i convertir el text enviat en els angles roll, pitch i yaw i el throttle, el que es comprovarà amb el debug extraient una mostra cada cert temps per a veure si es correcte.

6.1.5 Motors

Per a provar el correcte funcionament dels motors primer s'ha de comprobar que la senyal PWM que s'ha generat es la correcta, i per a fer això es pot connectar el pin on es genera la senyal PWM del STM32F411 a un pin del arduino per a poder veure amb el serial plotter la senyal i assegurar-se de que es la correcta.

Després es prova amb arduino que les parts hardware no siguin defectuoses connectant un ESC i un motor i amb un potenciómetre fer que canviï la potencia, i finalment es fa una prova canviant la potencia cada cert temps en el STM32F411.

6.2 Test de Integració

Un cop comprovat el funcionament de cada subsistema, s'ha de anar unint cada un i veure que funcionen bé en conjunt, i per aquest propòsit estan els test d'integració.

6.2.1 Control de Motors a Través de Wifi

Per comprobar que les ordres de potencia del motor envia- des desde l'ordinador es corresponen a la potencia que va el motor en realitat, s'hauria d'augmentar el throttle fins a certa potencia, i després s'hauria d'anar descendant fins al mínim per veure el canvi en el so del motor, que significarà el canvi de potencia.

6.2.2 Estabilització automàtica pitch/roll

Per a provar que la funció de PID que regula la potencia dels motors segons el angle desitjat s'hauria de comprobar en dos test, un per a comprobar el angle i un altre per comprobar la velocitat angular. Per a fer-ho s'utilitzarà el arduino que amb el serial plotter es podrà veure el canvi de la potencia segons s'arriba als graus desitjats, i per a probar el PID del rate es pot utilitzar el output del primer PID i comprant-ho amb la mesura del giroscopi.

6.2.3 Manteniment altura de vol

Per a comprobar si la funció per a mantindre el vol funciona, serà necessari un motor i el baròmetre i el gy521. Tots aquests components es connectaran al STM32F411 i s'ha comprovat si baixant el conjunt el màxim possible els motors reben més potencia i si es puja per sobre de la altura inicial els motors baixen de potencia.

6.3 Test de conjunt

Quan ja s'ha comprovat que funcionen tots els test de integració, es pasará al test de conjunt, que es podria dir que es el test de integració final, on es comprobarà que cada comanda enviada desde el wifi funciona, que fa endavant, enrere, dreta, esquerra, amunt i avall, i que un cop s'ha deixat de prémer la tecla s'estabilitza i manté la altura. També s'hauran de provar els corner cases, com quina es la distancia màxima a la que es reben les senyals del wifi, què pasa quan es talla la connexió, que pasa si s'esgota la bateria, si es manté en la altura adecuada en un entorn amb vent o si s'envien canvis de direcció molt bruscos. Per a probar això primer es comprobarà utilitzant arduino, amb el que a través del serial plotter es pot comprobar quin es el output de les senyals PWM dels quatre motors, que té la ventatge de que en cas de que hi hagin errors el dron no caurà o es farà malbé. Un cop s'ha comprovat que el comportament es el adequat, es pasará a probar en el dron físic.

7 RESULTATS

Després d'haver fet els diversos test explicats anteriorment, s'han extret els resultats d'aquest, que ara analitzaré. Per als Test Unitaris tots ells han sigut exitosos en probar el funcionament de cada mòdul per separat.

Per el accelerometre i el giroscopi el debugger ha mostrat el canvi dels valors al moure el component, i tot hi no ser temps real els valors semblaven correctes.

Per a testejar el baròmetre i comprobar que els valors eren els correctes, la temperatura la he comprovat amb la temperatura de termostat, la pressió la he comprovat mirant la pressió mitjana de la meua localitat per internet i finalment

la altura he extret dos valors en dos altures diferents per a veure si la diferencia d'altura era la adequada.

Un cop funcionen els sensors, he fet el test del filtre de kalman pels dos, i he obtingut resultat diferents. Per una part, amb el accelerometre i giroscopi ho he probat en arduino, on es pot veure clarament el canvi amb la funcionalitat serial plotter, i movent el gy521 he pogut veure la diferencia entre els angles que generen el acceleròmetre i el filtre de kalmann, que mentre el accelerometre tenia cert soroll, el filtre de kalman no. Per altra banda, he fet el mateix amb el baròmetre, però el valor de la altura tenia una variació massa gran, i la fusió de sensors no ha funcionat be en aquest cas amb la velocitat vertical de z, així que el filtre de kalman s'ha hagut de fer només amb la altura, el que ha fet que no fos gaire eficaç.

En el cas del mòdul wifi he tingut més problemes, degut a la complexitat que hi havia com s'ha explicat abans, però també a la dificultat de poder carregar un programa en el esp8266, que he acabat fent-ho a través d'arduino. també ha donat problemes ja que es feia servir una font externe de corrent, i s'havia de posar ground comú entre tots els components, sinó el text que s'envia no es correcte i crea també molt soroll per el canal, i a la hora de carregar el programa no es podia. Tot hi així finalment s'ha aconseguit pasar els valors desde l'ordinador fins al STM32F411. Per altra banda, també s'ha comprovat la funcionalitat de poder enviar informació del STM32F411 al ordinador, però no s'ha arribat a fer servir.

Per part del motor quan ho vaig probar no vaig lligar el motor a cap lloc per tal de que no es mogués i quan va començar a girar es va moure i va sortir fum, i al desconectar la bateria vaig veure que s'havien cremat les bobines. Primer vaig pensar que potser li havia subministrat massa voltatge però, després de tornar a comprobarho, no era el cas, fins que finalment vaig veure que havia estat un curtcircuit degut al contacte del adaptadors que havia soldat pero havia deixat una part al aire lliure, i al moures el motor havien fet contacte. Per tant deprés de lligarho a un lloc estàtic i de aïllar va funcionar correctament.

Un cop funcionava cada mòdul independentment, he pasat als test de integració, que han estat superats, però amb certs problemes que han fet imposible seguir amb els tests.

El unic test que ha estat pasat sense problemes ha estat el PID del accelerometre i giroscopi, que ha tingut el comportament esperat.

El PID del baròmetre també ha funcionat, però degut a la poca fiabilitat de les dades que se li passaven no podia mantindre la altura de vol correctament.

En el cas del control del motor a través de wifi, s'ha descobert un problema que no havia vist abans en el test unitari, i es que al estar un temps amb la connexió oberta, el bus uart al tenir un ground una mica inestable a vegades envia un caràcter de més, el que provoca que es vagi movent el caràcters a llegir, i al final al convertir-los en floats no tinguin el valor correcte. Aquest problema té difícil solució, ja que es degut a la inestabilitat del bus uart, i s'hauria de fer un programa de lectura molt més complex que l'actual per tal de assegurar-se de que això no passes.

Finalment no he pogut dur a terme la prova de conjunt degut als problemes exposats, a més del problema afegit que a la hora de muntar els components un cable que havia soldat de la PDB s'ha sortit, i per tant no s'hagués pogut

probar fins a arreglar-ho.

8 CONCLUSIONS

Durant el desenvolupament d'aquest projecte m'he enfrontat a diversos reptes en àrees que desconeixia, com per exemple a la hora de soldar les connexions a la pcb o els diferents adaptadors, utilitzar un nou ambient de desenvolupament amb el stm32ide o el control de motors a través de ESC, dels que he après molt.

Respecte els objectius inicials que em vaig proposar tot hi que encara no està finalitzat el projecte, crec que la part de que cada sistema fos modular i independent la he complert, així com també intentar que fos el més segur i fiable possible, tot hi que per altra banda no he pogut fer que el dron complís la normativa vigent.

He seguit la metodologia proposada al informe inicial i m'he reunit amb la tutora cada setmana per a discutir els diversos dubtes que poguessin sorgir, i també he fet test de cada mòdul per tal de assegurar el seu funcionament i la seva qualitat.

En el cas de la planificació s'ha hagut d'alterar respecte el informe inicial ja que el temps per a fer cada tasca no ha estat el previst, i per tant les tasques mes al final han variat respecte el plan original.

AGRAÏMENTS

M'agradaria agrair a Dolores Rexachs per la seva tutoria i el gran ajut que m'ha aportat per tal de poder portar endavant el projecte.

REFERÈNCIES

- [1] Mohammad H. Sadraey. (2020). Design of unmanned aerial systems. Available: www.wiley.com/en-us/Design+of+Unmanned+Aerial+Systems-p-9781119508625
- [2] MAREK SYSUŁA, Software Mind. (2023, Apr, 20). how scrum can boost your teams productivity[Online]. Available: www.softwaremind.com/blog/how-scrum-can-boost-your-teams-productivity/
- [3] UMILES. (2022, Oct, 06). Tipos de Drones. Clasificación por uso y características[Online]. Available: www.umilesgroup.com/tipos-de-drones
- [4] Agencia estatal de seguridad aérea. (2020, Dec, 31). ¿Tienes un UAS/dron?. Available: www.seguridadaerea.gob.es/es/ambitos/drones/tienes-un-uas-dron
- [5] EMAX. (s.f.) Emax RS2205S 2300KV 2600KV Racing Edition Brushless Motor for FPV Racing. Available: www.emaxmodel.com/products/emax-rs2205s-2300kv-2600kv-racing-edition-brushless-motor-for-fpv-racing
- [6] ST microelectronics. (s.f.) STMF411[Online]. Available: www.st.com/en/microcontrollers-microprocessors/stm32f411.html
- [7] wangqiang. (2012, Mar, 9) Kalman filter[Online]. Available: wangqiang8511.wordpress.com/2012/03/09/kalman-filter/
- [8] digikey. (2018, Jan, 30). Apply Sensor Fusion to Accelerometers and Gyroscopes. Available: <https://www.digikey.be/nl/articles/apply-sensor-fusion-to-accelerometers-and-gyroscopes>
- [9] solectroshop (2020, Aug, 26). ¿Qué es PWM y cómo usarlo? Available: <https://solectroshop.com/es/blog/que-es-pwm-y-como-usarlo-n38>

APÈNDIX

A.1 Metodologia

Per a tal de dur a terme el projecte de manera ordenada i eficient es s'utilitzara la metodologies Agile[2] per a planificar el projecte.

Per a aplicar metodologies agile al projecte aquest es dividirà en fases corresponents a les diverses sessions de seguiment, i dins de cada fase s'aplicara la metodologia. Primer es crearà una llista amb totes les tasques a completar dins la fase, després per a cada inici de sprint es fara una planificació de les tasques a fer en el sprint i el seu objectiu. Cada sprint durarà una setmana, i al final d'aquest es fara una reunió amb la tutora per presentar el treball fet i per a rebre feedback. Després de cada reunió es fara una retrospectiva per tal de buscar les areas de millora per al pròxim sprint.

També cal mencionar que es seguirà un TDD (test driven development), en que es faran test unitaris per a cada tasca que ho requereixi i serà necessari que s'assoleixi per tal de donar per acabada la tasca. També es faran test de integració per comprobar que els diversos mòduls funcionin correctament en conjunt, i finalment un test de sistema que probi el producte com una sola unitat per tal de assegurar un bon rendiment, fiabilitat i seguretat del producte final i optimitzar la part en qüestió si no es així.

A.2 Planificació

Com ja s'ha mentat a la part de metodologia, es fara ús de metodologies agile per a organitzar el desenvolupament del projecte, separant cada entrega en una part.

Per a planificar el projecte l'he separat en 10 punts, que representen cada un una funcionalitat o procés del projecte. Aquest punts i la seva data estimada de realització són:

- Investigació (setmanes 1-4).
- Disseny (setmana 5).
- Comunicació (setmana 6-9).
- Sensors (setmana 6-9).
- Actuadors (setmana 6-9).
- Alimentació (setmana 6-9).
- Ensamblatge (setmana 10).

- Controlador de Vol (setmanes 11-12).
- Test de Vol (setmanes 13-14).
- Optimització (setmanes 15-17).

Aquest punts es separen en fases segons les dates de entrega (setmanes 4,9,14 i 17), hi pot haver només un punt en cada fase, com és el cas de la primera fase on només es fa un treball de investigació, o més d'un com en la segona fase on es desenvolupen els diversos mòduls hardware. Cada punt esta partit en certa quantitat de tasques que s'han de completar, les qual aniran al product backlog per a ser distribuïdes en cada sprint de la fase a la que pertanyin.

Un cop dit això explicaré per sobre què es fara en cada punt, com es pot veure a la figura 1. Primer en la Investigació es buscaràn els components hardware necessaris, s'indagarà en l'estat de l'art dels drones i la normativa que els regula. El disseny consistirà en fer el diagrama de blocs i els diagrames de fluxe del sistema, i de recollir els diversos requeriments d'aquest. Després passem al desenvolupament dels diferents mòduls que conformaran el sistema, que seria la comunicació wifi, els diversos sensors com barometre, acceleormetres i giroscopis, els actuadors com esc(electronic speed controler) i motors, i finalment el sistema de bateria que alimenta tots els altres components i microcontrolador. Un cop fets tots els mòduls s'ensamblaran tots en la estructura i es pasara al desenvolupament del controlador de vol que consisteix en la execució de les comendes que arriben desde el ordinador i del sistema de equilibri i manteniment de la altura de vol. Finalment es faran test de vol per comprobar que funciona el sistema adequadament i dins dels rendiments de velocitat de resposta esperats i es pasara a intentar optimitzar el sistema.

