



République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'enseignement Supérieur
et de la Recherche scientifique



Université Echahid Hamma Lakhdar El-Oued

Faculté de Technologie

Mémoire de Fin d'Étude

En vue de l'obtention du diplôme de

MASTER ACADEMIQUE

Domaine : Sciences et Technologie

Filière : Télécommunication

Spécialité : Systèmes de télécommunication

Thème

**RÉALISATION D'UN DRONE POUR DES
MISSIONS D'EXPLORATION ET DE SECOURS**

Réalisé par :

- BABBOUCHE Mohammed Ridha
- AZZOUZ Mourad

Soutenu le 05 juin 2018 devant le jury composé de :

Président :

Mr. A. KHALIL Maitre de conférences « A »

Examineur :

Mr. R. AJGOU Maitre de conférences « A »

Examineur :

Mr. A. HIMA Maitre-assistant « A »

Encadreur :

Mr. S. GHENDIR Maitre-assistant « A »

ANNÉE UNIVERSITAIRE : 2017/2018

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail,

A mon Pays, Pays des Martyrs, l'Algérie,

La femme qui m'a enfanté,

ma mère Fadhila noyau de mon esprit,

A mon père Azzeddine, l'exemple de ma vie,

Que dieu me les préserve,

A l'âme de ma grand-mère Heddi,

A ma femme, la douceur de ma vie,

A ma belle-mère Zaineb Ghendir,

A mes enfants, Akram, Mounib, Mohcen, Houmam et Ibtiha,

*A mes sœurs et frères, Lazhar, Rachid, Abderrahman, Nacira, Moufida,
Zohra, Ilyas, Nabil et Amine*

A mes oncles Kamal, Tarzi et Med Seghir,

A tous les membres de ma grande famille,

A tous mes ami(e)s notamment, Ahmed Zeghab, Belgacem Legsair

Omar Mostafaoui, Chafik, Khaled, Salah et Hamza,

À ma deuxième famille Nili à Bouteldja Tarf,

A tous mes collègues de promo 2017/2018,

A tous ceux qui m'aiment et qui je respecte.

Med Ridha

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail :

*À la mémoire de mon père Abdelkader et mon fils Mohamed
Amine, que dieux les accueille en son vaste paradis.*

À ma chère mère, que dieu lui procure bonne santé et longue vie.

À ma femme et mes enfants Abdelkader et wissam

À ma sœur Djamila, son mari et ses enfants

À toute ma famille et celle de ma mère, cousin(e)s, oncles et tantes.

À tous les membres de ma belle-famille.

À tout mes amis, sans exception.

À tous mes collègues de la promotion 2017/2018

*À Mes professeurs de l'université HAMMA Lakhdar qui doivent
voir dans ce travail la fierté d'un savoir bien acquis, en particulier
mon encadreur Mr GHENDIR Said.*

Mourad



Remerciements

Au terme de ce travail, nous tenons à exprimer notre profonde gratitude et nos sincères remerciements à notre encadrant : Mr GHENDIR Said pour tout le temps qu'il nous a consacré, ses directives précieuses et pour la qualité de son suivi durant toute la période de réalisation de ce projet.

Nous tenons aussi à remercier vivement le recteur de l'université pour son soutien moral et de l'importance qu'il a donné à ce travail.

Nous voudrions remercier également tout le cadre professoral et administratif de l'université HAMMA Lakhdar à El Oued.

Nos remerciements vont enfin à Mr SAOUD Abdelaziz pour son aide et à toute personne qui a contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce modeste travail.

ملخص

يشهد العالم اليوم تطورا ملحوظا في مجال الطائرات بدون طيار و التي أثبتت نجاح كبير في جميع المهام الموكلة إليها و بفاعلية كبيرة.

ولقد وقع اختيارنا على هذا المشروع و المعنون ب " انجاز طائرة بدون طيار من اجل القيام بمهام الاستكشاف و الانقاذ " لما له من أهمية و للمنفعة الكبيرة التي يقدمها للمجتمع في انقاذ الأرواح البشرية و الإسهام في تطوير البحث العلمي، فطائرتنا و المسماة "قبة **جامعة** حمى لخضر" تتميز بما يلي : مدى التحكم حوالي كيلومترين في الهواء الطلق، بطارية تسمح لها الطيران لمدة ربع ساعة و لها المقدرة على ارسال المعلومات التالية : مستوى شحن البطارية، سرعة الطائرة، إحداثيات الموقع، الارتفاع، درجة الحرارة، و مستوى التحكم بالسرعة، و هي مجهزة بكاميرا و نظام الأمان في حالت انقطاع الاتصال و مما يجدر ذكره إمكانية حملها وسائل إنقاذ لتوصيلها لأماكن وعرة و ضيقة، كجهاز انعاش القلب و علبة الإسعاف في أقل وقت ممكن.

Résumé

Le monde connaît aujourd'hui un développement remarquable dans le domaine des drones, qui s'est révélé très efficace dans toutes les tâches qui lui ont été assignées . Nous avons choisi ce projet intitulé «Réaliser un drone à des missions d'exploration et de secours », car il est très important pour la communauté de sauver des vies humaines et de contribuer au développement de la recherche scientifique. Notre drone nommé " Le dôme de HAMMA Lakhdar " est caractérisé par : contrôlable a environ deux kilomètres à l'air libre, une batterie qui lui permet de voler pendant un quart d'heure, capable de transmettre les informations suivantes : niveau de charge de la batterie, vitesse du drone, coordonnées de position, altitude et température.

Il est à noter qu'il est équipé d'une caméra et d'un système de sécurité en cas d'échec de communication et peut transporter des moyens de secours vers des lieux sinistrés et des endroits rudes et étroits, comme un cardio-pulmonaire et une boîte à pharmacie dans les plus brefs délais.

Sommaire

Remerciements	i
Résumé	ii
ملخص.....	ii
Sommaire.....	iii
Liste des figures.....	v
Glossaire des acronymes.....	vi
Introduction générale	1

Chapitre I : Le Quadcopter

I.1. Définition	4
I.2. Structure du drone	4
I.3. Les mouvements du drone (Tangage, lacet, roulis).....	5

Chapitre II : Description des composants

II.1. Arduino.	11
II.2. Moteurs sans balais	14
II.3. Contrôleurs de vitesse.....	17
II.4. Hélices	18
II.5. Centrale inertielle (gyroscope + accéléromètre)	20
II.6. Magnétomètre.	21
II.7. Baromètre.....	22
II.8. Récepteur GPS.....	23
II.9. Transmetteur sans fil.	24
II.10. Batterie Lipo.	25
II.11. Afficheur LCD.....	28
II.12. Caméra.....	28
II.13. Manette de commande.....	29
II.14. Châssis.....	30

Chapitre III : Conception du drone

III.1. <i>Partie Hard</i> : Montage du drone.....	32
III.1.1. Description du drone	32
III.1.2. Contrôleur de vol.....	33
III.1.3. Equilibrage des contrôleurs de vitesse ESC	34
III.1.4. Capteurs utilisant l'interface I2C	35
III.1.5. Récepteur GPS.....	36
III.1.6. Module de transmission sans fil HC-12.....	37
III.1.7. Caméra.....	38
III.1.8. Manette de commande	38
III.1.9. Châssis.....	40
III.2. <i>Partie Soft</i> : Programmation.....	44
III.2.1. Le régulateur PID.....	44
III.2.2. Organigramme de programme du drone	48
III.2.3. Organigramme de programme de la commande	52
Conclusion	55
Perspectives	56
Difficultés rencontrées	57
Bibliographie.....	58
Annexe	

Liste des figures

Figure 1 : Quadcopter de forme ‘X’	4
Figure 2 : Structure du quadcopter	4
Figure 3 : Les mouvements du drone	5
Figure 4-a : Monter le drone	6
Figure 4-b : Descendre le drone	6
Figure 5-a : Roulis à gauche	6
Figure 5-b : Roulis à droite	6
Figure 6-a : Tangage d’avancée	7
Figure 6-b : Tangage de recul	7
Figure 7-a : Lacet sens anti-horaire	7
Figure 7-b : Lacet sens horaire	7
Figure 8 : Le régulateur PID.....	8
Figure 9 :Arduino Nano.....	12
Figure 10 : IDE Arduino.....	13
Figure 11-a : Moteur sans balais.....	14
Figure 11-b : Structure d’un moteur BLDC.....	14
Figure 12 : Bobinage du stator.....	15
Figure 13 : Mouvement du rotor autour du stator.....	15
Figure 14 : Contrôleur de vitesse.....	17
Figure 15 :Commutation des bobines.....	18
Figure 16 : Le pas d’unehélice.....	19
Figure 17 : Sens de rotation des hélices.....	19
Figure 18-a : Hélice (CW).....	20
Figure 18-b : Hélice (CCW).....	20
Figure 19 : La centrale inertielle (MPU6050).....	21
Figure 20 : Le magnétomètre (GY-271).....	21
Figure 21 :Le baromètre (BMP 280).....	23
Figure 22 :Le récepteur GPS (GYNeo6mv2).....	24
Figure 23 : Le transmetteur sans fil HC-12.....	24
Figure 24-a : Batterie Lipo.....	25
Figure 24-b :Batterie Lipo.....	25
Figure 25 :Chargeur de Batterie Lipo.....	27

Figure 26 : Afficheur LCD 16x04.....	28
Figure 27 : Caméra FPV.....	29
Figure 28 : Manette de commande.....	29
Figure 29 : Châssis quadcopter.....	30
Figure 30: Le quadcopter.....	32
Figure 31 : Schéma synoptique du drone	33
Figure 32 : Brochage électrique d'un ESC.....	34
Figure 33 : Schéma synoptique des ESC.....	34
Figure 34 : Etalonnage des ESC.....	35
Figure 35 : Etalonnage de la centrale inertielle	36
Figure 36 : Caméra	38
Figure 37 : Manette de commande.....	38
Figure 38 : Schéma électrique de l'émetteur radio.....	39
Figure 39-a : Châssis en aluminium.....	40
Figure 39-b : Châssis en tubes de fer.....	40
Figure 39-c : Châssis en PVC.....	41
Figure 39-d : Châssis en plastique.....	41
Figure 39-e : Châssis en bois.....	41
Figure 40 : Schéma électronique du drone	42
Figure 41-a : Photographie 1 de câblage	43
Figure 41-b : Photographie 2 de câblage	43
Figure 42 : Photographie de la carte électronique du drone	43
Figure 43 : Schéma synoptique de régulation PID.....	44
Figure 44 : Balançoire de régulation.....	44
Figure 45 : Graphe de régulation (P).....	45
Figure 46 : Graphe de régulation (P+I).....	46
Figure 47 : Graphe de régulation (P+D).....	47
Figure 48 : Organigramme du programme de fonctionnement du drone	49
Figure 49 : Organigramme de procédure du fail safe.....	50
Figure 50 : Organigramme de procédure d'auto-atterrissage	51
Figure 51 : Organigramme du programme de commande	53

Glossaire des acronymes

- BEC : Battery Eliminator Circuit
- BLDC : Brushless Direct Current
- CC : Continuous Current
- CCW : Counter Clockwise
- CW : Clockwise
- E/S : Entrée /Sortie
- EEPROM : Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory
- ESC : Electrical Speed Controller
- FLV : First Person View
- GPS : Global Positioning System
- I2C : Inter-Integrated Circuit
- IMU :Inertial Measurement Unit
- KV : Constant Velocity
- LCD : Liquid Cristal Display
- LED: Light Emitting Diode
- LIPO : Lithium Polymer
- MCU : Micro Controller Unit
- MEMS : Micro Electromechanical systems
- M1,M2,M3,M4 : Moteurs 1,2,3 et 4
- NiCd : Nickel cadmium
- NiMH : Nickel-metal hydride
- Pb : Plomb
- PID : Proportionnal – Integral- Derivatif
- PWM : Pulse Width Modulation.
- RC : Radio Commande
- RPM : Rotation Par Minute
- SCL : Serial Clock Line
- SDA : Serial Data Line
- Set : Setting
- UAV : Unmaned Areal Vehicle

INTRODUCTION GENERALE

INTRODUCTION :

Longtemps réservés à des fins militaires, les drones séduisent aujourd'hui l'industrie par leurs nombreuses applications : photographie et vidéo aériennes, inspection d'ouvrages, surveillance, dépôt et déplacement d'objets, relevés topographiques, recherche, etc...

Ils intéressent également un public grandissant d'amateurs passionnés, richement illustrés et accessibles à tous avec des formes et des tailles différentes.[1]

La technologie arriva à maturité dans les années 1970, l'utilisation de satellites pour le positionnement géographique et la communication ouvrirent la voie aux drones de surveillance à partir des années 1990. une fois abordables, ces technologies donnèrent naissance aux drones civils.[2]

Un drone ou un UAV est un aéronef sans pilote humain à bord, mais peut être télépiloté ou hors vue, cependant le pilote reçoit tout de même les données du vol telles que les images qui peuvent être prises par la caméra embarquée. Il existe aussi d'autres types de drones, ceux pilotés par des algorithmes enregistrés dans leur intelligence artificielle.[3]

Le travail présenté dans ce mémoire entre dans le cadre de notre projet de fin d'étude en cycle de master, option : systèmes de communication, à l'université d'El oued. Le thème était « Réalisation d'un drone pour des missions d'exploration et de secours » dont le but est d'intervenir dans des lieux périlleux et étroits.

Au long de ce projet, on va résumer notre travail en trois chapitres principaux.

- Le premier chapitre présentera notre drone qui est de type quadcopter.
- Le deuxième chapitre donnera la description, les caractéristiques et les spécifications des composants utilisés pour réaliser le drone.
- Le troisième chapitre sera consacré pour la réalisation du drone sur ses deux parties hard et soft.

Nous finirons ce mémoire par une conclusion générale, les difficultés rencontrées durant la réalisation de notre drone et les perspectives.

CHAPITRE I : LE QUADCOPTER

CHAPITRE I : LE QUADCOPTER

I.1. Définition :

Le quadcopter est un type de drone qui a pour particularité de posséder quatre bras, chacun d'eux connecté à un moteur permettant de voler, de se diriger et de se stabiliser. La face avant du drone est généralement placée entre deux bras (configuration en x), mais peut aussi se trouver le long d'un bras (configuration en +)



Figure 1 : Quadcopter de forme 'X'

Nous avons choisis ce type de drone vu sa conception multi-rotor la plus populaire, construction simple, symétrique et polyvalente.

I.2. Structure du drone :

Le choix des matériaux est une étape importante dans la réalisation d'un drone pour garantir une structure légère et solide capable de résister à un atterrissage difficile. Nous allons présenter les différents matériaux qui structurent notre drone.

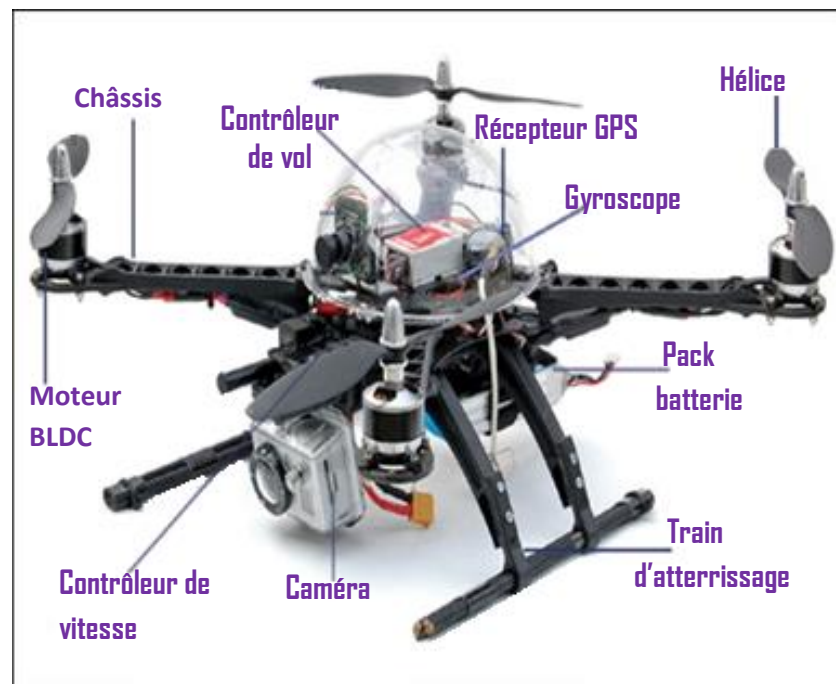


Figure 2 : Structure du quadcopter

- 2 Arduinos nano installés (un sur le contrôleur de vol et un sur le transmetteur RC)
- 4 Moteurs sans balais.
- 4 ESC (contrôleurs de vitesses)
- 4 Hélices (2 cw + 2 ccw)
- 1 Centrale inertielle (Gyroscope/Accéléromètre)
- 1 Magnétomètre
- 1 Baromètre
- 1 Module GPS
- 1 Module de communication sans fil
- 1 Batterie Lipo
- 1 Afficheur LCD
- 1 Caméra
- 1 Manette de jeux pour assurer la transmission sans fil.
- 1 châssis de quatre branches sous forme « + ».

I.3. Les mouvements du drone :

Avant de se lancer dans les mouvement que peut effectuer un quadcopter, il est important de noter que et les hélices fonctionnent en couple ; plus précisément les deux hélices contenues sur un même axe (X ou Y) tournent dans le même sens, cela permet au quadricopter de rester stable en compensant les effets des moteurs.

Les mouvements que peut effectuer le drone sont résumés sur la figure ci-dessous.[4]



Figure 3 : Les mouvements du drone

I.3.1. Le vol stationnaire :

En tournant, les hélices vont créer une force de sustentation qui va compenser le poids de l'appareil. Lorsque cette force est supérieure au poids du drone, il s'élève dans les airs.

I.3.2. Monter/descendre :

Pour monter, on augmente la vitesse des moteurs simultanément, tous les moteurs tournent au même régime et inversement pour descendre, c'est la commande des gaz.

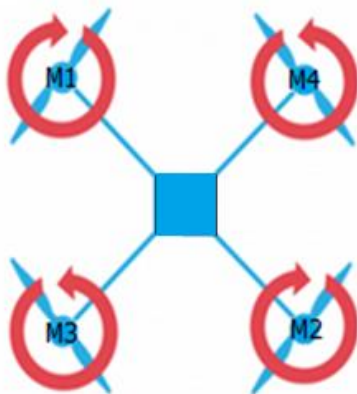


Figure 4-a : Monter le drone

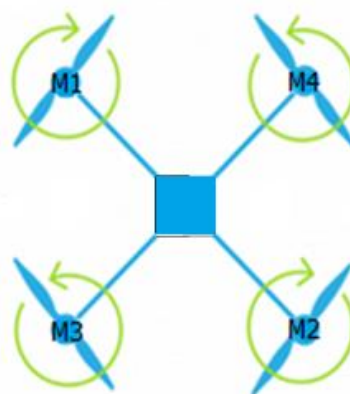


Figure 4-b : Descendre le drone

I.3.3. La rotation selon l'axe X (axe de vol),

Ce mouvement permet à l'appareil d'effectuer un mouvement vers les côtés (à gauche ou à droite) ; pour incliner vers la gauche, on diminue les moteurs de gauche M1 et M3 et on augmente ceux de droite M2 et M4, Inversement pour incliner vers la droite. Ce mouvement s'appelle **le roulis**.

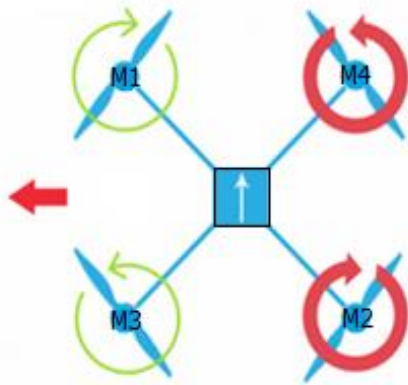


Figure 5-a : Roulis à gauche

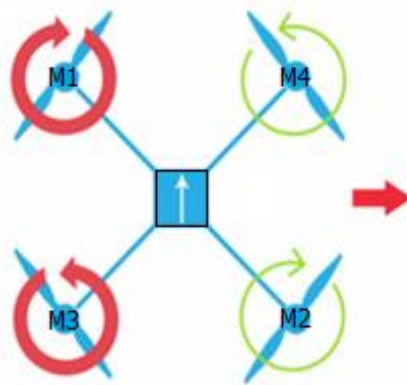


Figure 5-b : Roulis à droite

I.3.4. L'inclinaison par rapport à l'axe Y:

Permet au quadcopter d'avancer et de reculer ; pour avancer, on va diminuer la vitesse des moteurs avants et augmenter la vitesse des moteurs arrières et inversement pour reculer. Ce mouvement s'appelle le **tangage**.

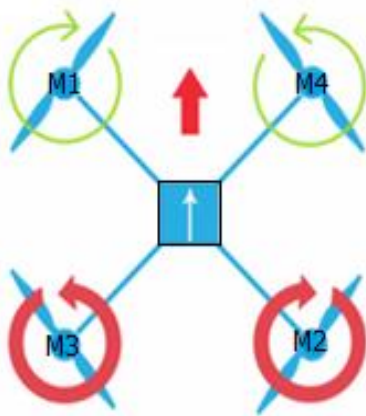


Figure 6-a : Tangage d'avancée

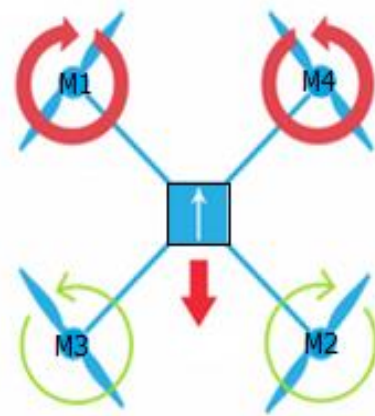


Figure 6-b : Tangage de recul

I.3.5. La rotation sur l'axe Z (axe vertical au sol)

Pour effectuer ce mouvement on doit augmenter la vitesse d'une paire de moteurs sur le même axe et inversement, pour le sens horaire on augmente M1 et M2 et on diminue M1 et M2 pour le sens opposé on effectue l'inverse, c'est ce qu'on appelle **le lacet**

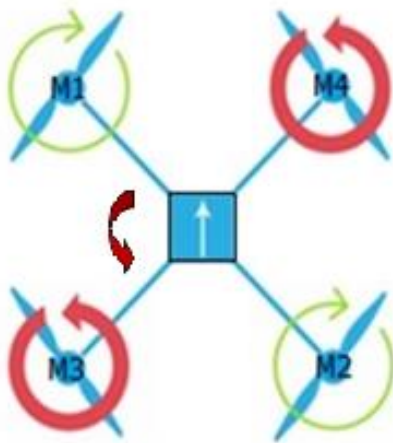


Figure 7-a : Lacet sens anti-horaire

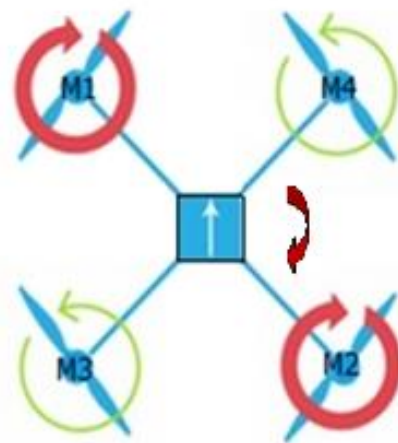


Figure 7-b : Lacet sens horaire

I.4. Le régulateur PID

Un régulateur PID est un organe de contrôle permettant d'effectuer une régulation en boucle fermée d'un système industriel, il permet de contrôler un grand nombre de procédés, il ajuste la variable de contrôle en fonction de l'erreur présente (P - contrôle proportionnel), de l'erreur accumulée dans le passé (I - contrôle intégral) et de l'erreur future prédite (contrôle D - dérivatif).

Si on prend pour exemple notre quadcopter on va voir une boucle de PID, une consigne qui est donnée, une mesure qui est faite au niveau des capteurs sur le contrôleur de vol, et entre la consigne qui est donnée et le capteur MPU 6050 on va se retrouver avec une erreur. Cette erreur va être traitée par des algorithmes qui vont entraîner une commande, cette commande va être envoyée aux moteurs du drone pour la correction.

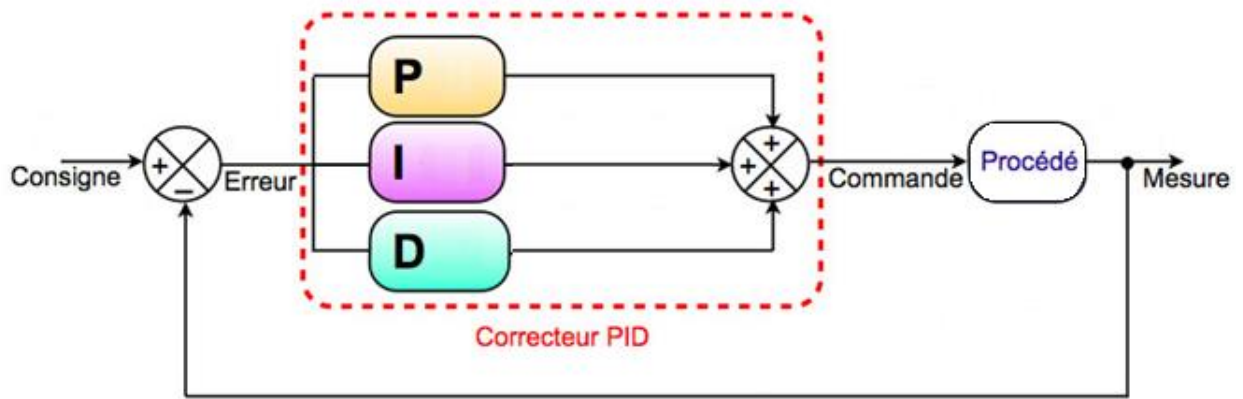


Figure 8 : Le régulateur PID

1) La composante proportionnelle (P):

L'action proportionnelle applique une correction instantanée pour tout écart entre la mesure et la consigne, plus la perturbation est grande, plus la correction apportée est grande.

La bande proportionnelle est l'écart entre la valeur mesurée et la valeur de la consigne notons que si la bande proportionnelle est nulle la régulation fonctionne en tout ou rien.

L'action proportionnelle du régulateur s'exprime de différentes manières, soit par le gain, soit en % à appliquer pour que la sortie varie de 0 à 100 %

Cette composante ne permet pas une grande précision et pour cette raison on fait appel aux composantes intégrale et dérivée.

$$P = K_p e(t)$$

2) La composante intégrale (I):

Cette composante apporte une notion de temps d'intégration à la correction qui s'exprime généralement en seconde. Cette action est complémentaire à l'action proportionnelle, elle permet de stabiliser dans le temps l'action proportionnelle, plus l'erreur mesurée est constante plus la correction est constante. L'algorithme de la

régulation utilisera une mémoire des différents écarts déjà mesurés pour affiner le temps d'intégrale à appliquer à la correction.

$$I = Ki \int_0^t e(\tau) d\tau$$

3) La composante dérivée (D):

Cette action permet d'anticiper la réponse de la régulation en cas de perturbation rapide ou de modification de consigne, ce qui améliore la stabilité du système.

On peut donc dire que cette composante permet de compenser tout dépassement excessif de la consigne.

$$D = K_d \frac{de(t)}{dt}$$

CHAPITRE II : DESCRIPTION DES COMPOSANTS

CHAPITRE II : DESCRIPTION DES COMPOSANTS

Dans ce chapitre nous essayons de décrire les différents composants constituant notre drone pour mieux comprendre son fonctionnement.

II.1. L'arduino :

L'Arduino est une carte de développement équipée d'un microcontrôleur qui permet à partir d'événements détectés par des capteurs, de programmer et commander des actionneurs; la carte Arduino est donc une interface programmable.

L'arduino Uno est l'un des modèles les plus répandus de la carte Arduino, on l'a choisi pour ce travail vu sa taille et son poids réduits et considérés comme des facteurs déterminants pour les drones et vu qu'elle possède toutes les fonctionnalités d'un microcontrôleur classique en plus de sa simplicité d'utilisation.[5]

II.1.1 Les caractéristiques du composant :

- Utilise une puce ATmega 328P cadencé à 16 Mhz.
- Tension de fonctionnement (niveau logique) 5 V
- Tension d'entrée (recommandée) 7-12 V
- Tension d'entrée (limite) 6-20 V
- E/S numériques 14 (dont 6 fournissent une sortie PWM)
- Pointes d'entrée analogiques 8
- Courant continu par borne E/S 40 mA
- Possède 32 KØ de mémoire flash destinée à recevoir le programme.
- 2 ko de SRAM
- 1 ko d'EEPROM (mémoire morte destinée aux données).
- Dimensions 0.73 "x 1.70"

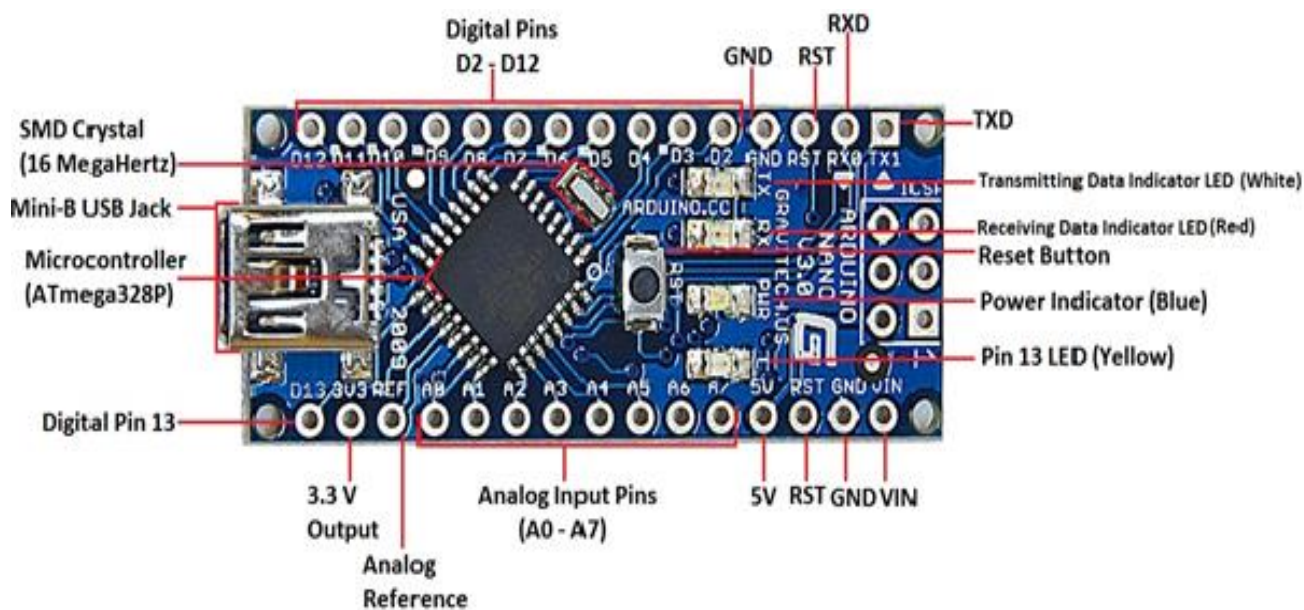


Figure 9 :Arduino Nano

II.1.2 l'IDE d'Arduino :

Un IDE libre et gratuit est distribué sur le site d'Arduino compatible pratiquement avec tous les systèmes d'exploitation. L'interface de l'IDE Arduino est simple et épurée pour développer un programme sur les cartes Arduino. Il est doté d'un éditeur de code avec coloration syntaxique et d'une barre d'outils rapide. Ce sont les deux éléments les plus importants de l'interface, c'est ceux que l'on utilise le plus souvent. On retrouve aussi une barre de menus plus classique qui est utilisé pour accéder aux fonctions avancées de l'IDE.

Enfin, une console affichant les résultats de la compilation du code source, des opérations sur la carte, etc.

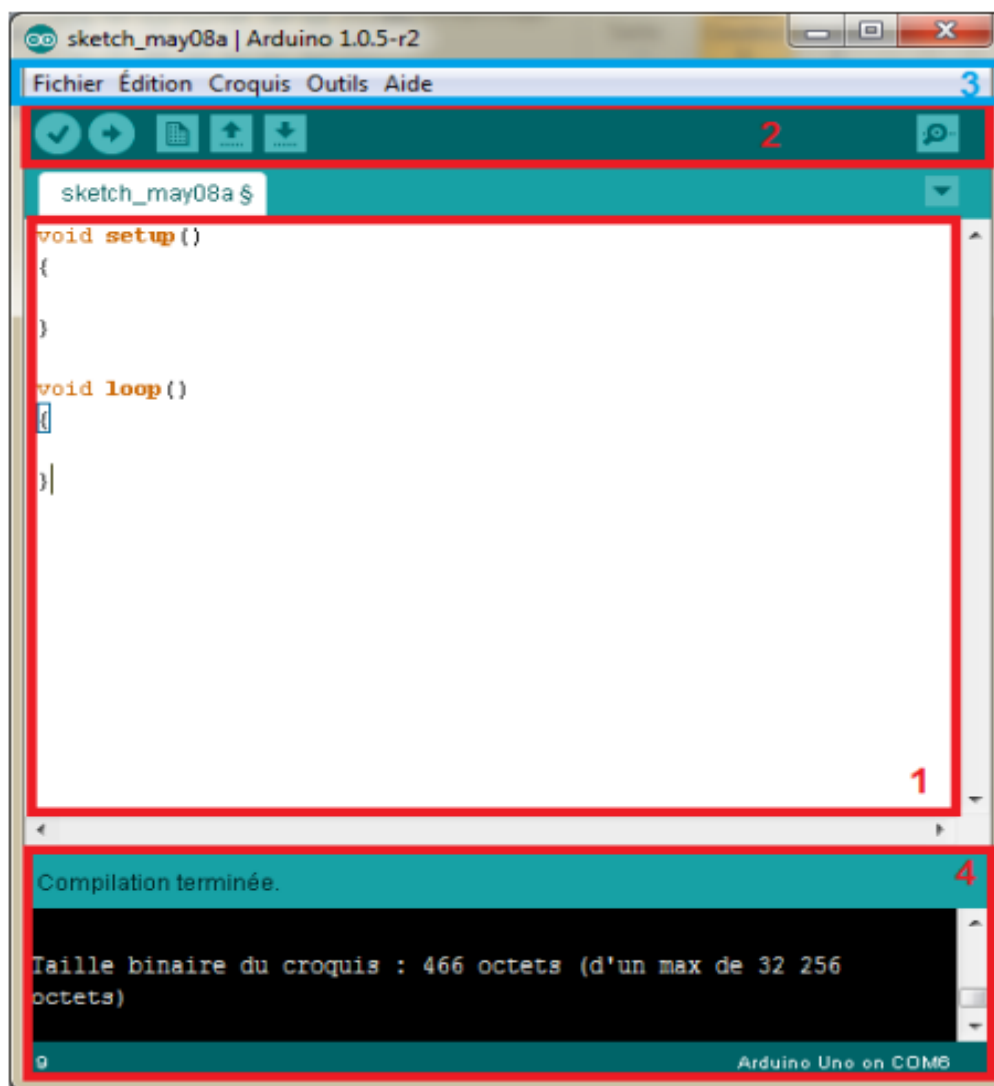


Figure 10 : IDE Arduino

II.1.3 Le langage arduino :

Le langage Arduino est inspiré de plusieurs langages. On retrouve notamment des similarités avec le C, le C++ ainsi que le Java. Le langage impose une structure particulière typique de l'informatique embarquée.

La fonction **setup** contient toutes les opérations nécessaires à la configuration de la carte (directions des entrées sorties, débits de communications série, etc.).

La fonction **loop**, est exécutable en boucle après l'exécution de la fonction setup. Elle continue de boucler tant que la carte n'est pas mise hors tension, redémarrée (par le bouton reset). Cette boucle est absolument nécessaire sur les microcontrôleurs étant donné qu'il n'y a pas de système d'exploitation.

II.2.Moteur sans balais :

Le moteur sans balais (brushless motor en anglais) est un moteur électrique contrairement au moteur à balais ne fonctionne pas en courant continu. En effet, un moteur brushless possède trois bornes, décalées de 120° l'une de l'autre. Un contrôleur, alimenté par une source de courant continue, transforme ce signal en un signal appelé "alternatif triphasé».



Figure 11-a : Moteur sans balais

Il comporte d'ailleurs les mêmes composantes qu'un moteur à courant continu, à l'exception du collecteur, mais la position des aimants permanents et des bobines est inversée. Il existe une variété de moteurs brushless avec des caractéristiques différentes en fonction de leurs constitutions, tel que BLDC Inrunner, BLDC Outrunner, BLDC à disque, etc...[6]

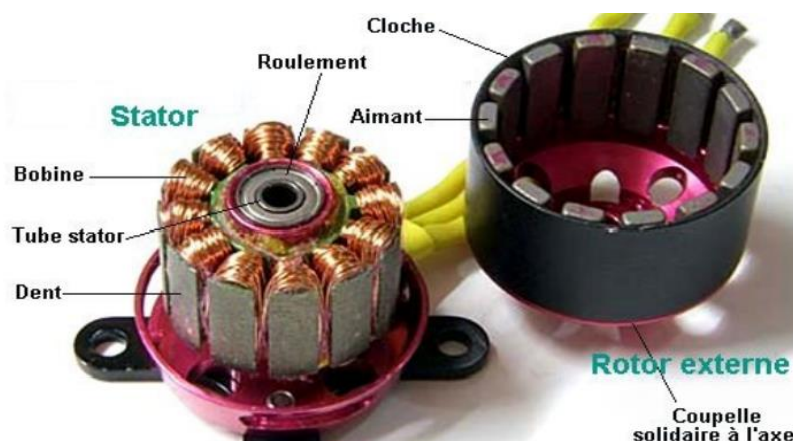


Figure 11-b : Description d'un moteur BLDC

II.2.1 Caractéristiques électriques :

- La constante de vitesse KV, mesure la vitesse du moteur non chargé en lui appliquant un volt , il est exprimé en tour /minute.
- La résistance des bobines
- Le courant qui traverse le moteur à vide pour vaincre le frottement.
- Le courant max admissible.
- Sa puissance nominale et son rendement maximum.

II.2.2 Fonctionnement :

Pour actionner le moteur sans balais, on alimente les bobines de façon séquentielle afin de créer un champ magnétique qui tournera à la même fréquence que les tensions d'alimentation.

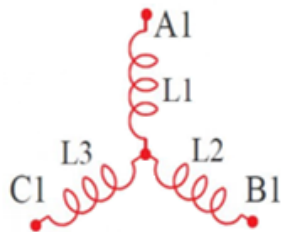


Figure 12 : Bobinage du stator

L'aimant permanent du rotor cherche donc à s'orienter dans le sens du champ magnétique, mais ce dernier se déplace et s'éloigne continuellement en tournant. Le rotor poursuit donc sa course pour rejoindre le champ magnétique, ce qui induit la rotation.

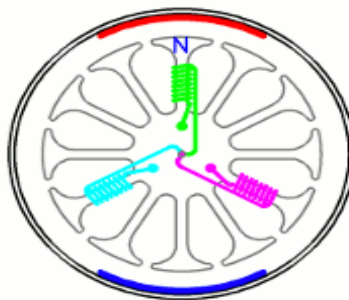


Figure 13 : Mouvement rotor autour du stator

La vitesse de cette rotation est contrôlée par une puce électronique présente dans l'outil. Cette dernière détecte la puissance exigée par l'utilisateur par le biais du contrôleur électronique. Si une baisse de régime est détectée, ce contrôleur compense en envoyant plus de courant au moteur, et ce afin de maintenir une vitesse de rotation stable.[7]

II.2.3 Les avantages :

L'absence de balais dans un moteur brushless élimine tout frottement sur le rotor. À savoir dans un moteur classique (à balais), ce frottement est source de chaleur et produit des étincelles, ce qui induit une perte d'efficacité et d'énergie. Un moteur brushless présente ainsi plusieurs avantages :

- Longue durée de vie.
- Meilleur rendement (de 70 à 90 % selon la taille du moteur).
- Pas d'usure mécanique.
- Moins de vibrations, par conséquent moins de bruit ;
- Légèreté, souplesse et fiabilité, ce qui permet la réalisation de l'asservissement de vitesse et de position.[8]

II.2.4 Les inconvénients :

Un moteur brushless a pour inconvénients son prix, et celui des pièces de rechange, ainsi que son besoin important en batteries pour le faire tourner.[9]

II.2.5 Spécification :

- Référence : XXD A2212
- Dimension : 22,7 X30 mm
- Efficacité : 4-10 A (>75%)
- Capacité : 12A /60 s
- Nombre de piles : 2-3 Lipo
- Poids : 47g
- KV : 1400

II.3. LES CONTROLEURS DE VITESSE(ESC):

ESC (Electrical Speed Controller) acronyme anglais pour « Contrôleur de vitesse électronique » est ce qui permet au contrôleur de vol de contrôler la vitesse et la direction d'un moteur. Il est capable de gérer le courant maximum que le moteur peut consommer, et de le fournir à la bonne tension.[10]



Figure 14 : Contrôleur de vitesse

II.3.1. Variation de la tension :

On a déjà vu que la tension commande le nombre de tours, donc on doit contrôler la tension pour faire varier le RPM (Révolution par minute), il est utilisé comme une mesure de révolution du moteur , ce qui signifie à quelle vitesse le moteur va tourner.[11]

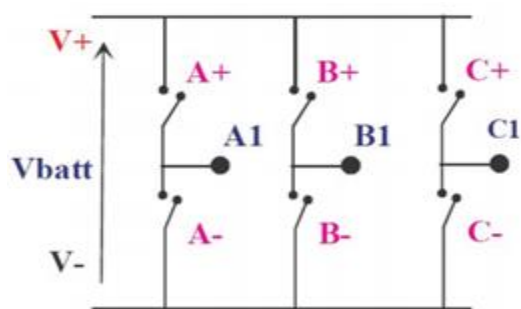
II.3.2. Détection de la position du moteur :

Le contrôleur a besoin de connaître la position de l'aimant pour faire basculer le courant dans les bobines (Utiliser le courant induit dans la bobine non-alimentée).[12]

II.3.3. Commutation du courant :

Le contrôleur est composé de transistors MOS pilotés par un microcontrôleur. Il en faut au moins six (deux par bobine) pour former six interrupteurs.[13]

voici un schéma montrant le système de commutation des bobines du stator :



A+ fermé et A- ouvert => A1 connecté à V+

A+ Ouvert et A- fermé => A1 connecté à V-

A+ Ouvert et A- ouvert => A1 en l'air

A+ fermé et A- fermé => Court-circuit

Figure 15 : Commutation des bobines

II.3.4 Spécifications:

- Mode XXD HW30A
- Poids: 25g
- Dimensions: 45 x 24 x 11mm
- Entrée: 5.6V - 16.8V (2s-3s Li-Poly)
- BEC : 2A
- Courant constant: 30A (Max 40A moins de 10s) .[14]

II.4.LES HÉLICES :

II.4.1. Définition :

Une hélice (plus explicitement appelée hélice à pales ou hélice à vis) est un dispositif de propulsion qui crée un mouvement relatif en forçant le fluide environnemental axialement vers l'arrière, au moyen d'une rotation des pales montées dans un arbre entraîné par un moteur. Une différence de pression produit une poussée qui est transmise des pales à l'arbre, et enfin à l'appareil.[15]

II.4.2. Les caractéristiques :

- Les caractéristiques principales d'une hélice sont :
- Le diamètre
- Le poids.
- Le nombre et le type (forme et surface) de pales
- Le matériau employé .
- Le pas de l'hélice :

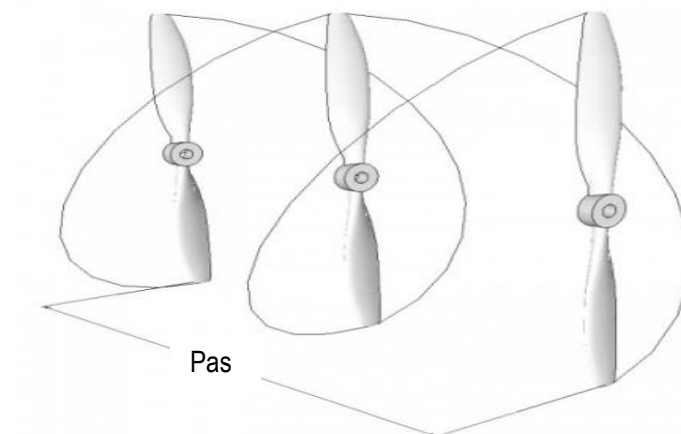


Figure 16 :Le pas d'une hélice

- Sens du pas : Les hélices tournent en couple, un couple situé dans le même axe (ex : M1 et M2 de la figure ci-dessous) tourne dans le sens horaire et l'autre (M3 et M4) dans le sens antihoraire.[16]

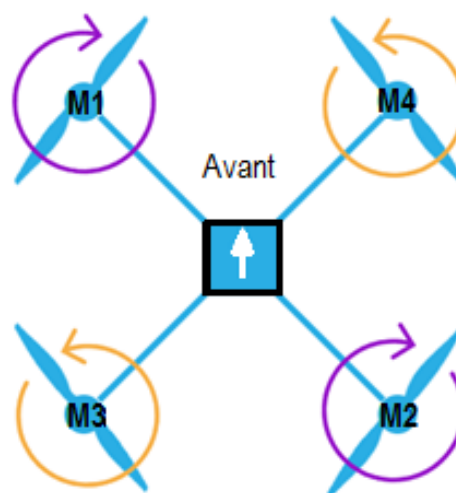


Figure 17 : Sens de rotation des hélices

- une hélice est dite pas à droite si elle tourne dans le sens des aiguilles d'une montre, pas à gauche dans le cas du sens inverse.

**Figure 18-a : Hélice (CW)****Figure 18-b : Hélice (CCW)**

Les hélices du drone ont pour fonction de stabiliser le vol à partir de leur rotation alternée et inversée. Le principe fondamental pour faire fonctionner les hélices, c'est donc de les mettre dans le bon sens sur le drone. [17]

II.4.3. Spécification :

- Hélices 8045
- Matière : fibre de ver.
- Diamètre : 8 pouces.
- Pas : 4,5 pouces .
- Poids : 5 gr

II.5. La centrale inertielle (Gyroscope/Accéléromètre) :

La “centrale inertielle” est l'association de l'ensemble des capteurs avec le logiciel embarqué et le hard qui le fait tourner. Il y a ainsi 6 mouvements à stabiliser et à contrôler :

Les axes X, Y et Z linéaires contrôlés par 3 accéléromètres qui détectent des variations de vitesse linéaire.

Les rotations autour de ces 3 axes contrôlées par 3 gyroscopes qui détectent toute variation de vitesse angulaire.[18]

- Lacet pour l'axe Z
- Roulis pour l'axe X
- Tangage pour l'axe Y

Le capteur MPU 6050 contient un accéléromètre MEMS et un gyroscope MEMS dans une seule puce. Il est très précis, car il contient du matériel de conversion analogique-numérique de 16 bits pour chaque canal : x, y et z en

même temps. Le capteur utilise le bus I2C pour l'interface avec l'Arduino. C'est un capteur très utile pour de nombreuses applications, dans notre cas il nous permet de contrôler et de stabiliser le drone dans l'espace. [19]

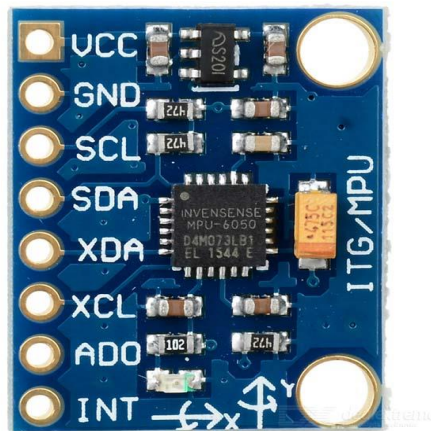


Figure 19 : La centrale inertielle (Module MPU6050)

II.6.Le magnétomètre :

Le module GY-271 de boussole est conçu pour la détection magnétique à faible champ avec une interface numérique est parfait pour donner des informations de capture précises. Ce capteur compact s'intègre dans les petits projets tels que les drones et les systèmes de navigation robotisés. Le capteur convertit tout champ magnétique à une sortie de tension différentielle sur 3 axes[20]

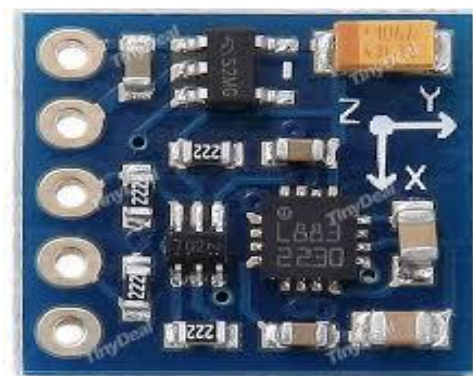


Figure 20 : Le magnétomètre (GY-271)

Ce changement de tension est la valeur de sortie numérique, qui peut ensuite être utilisé pour détecter le champs magnétique provenant de directions différentes.[21]

II.6.1. Caractéristiques :

- Puissance 3V-5V DC
- Jeu de puces HMC5883L
- Communication via le protocole I2C
- Plage de mesure: $\pm 1,3-8$ Gauss
- Dimensions 14,8 x 13,5 x 3,5 mm

II.6.2. Configuration des broches :

- VCC: 3V-5V DC
- GND: masse
- SCL: entrée analogique (A5)
- SDA: entrée analogique (A4)
- DRDY: non connecté

II.7. Le baromètre :

Le BMP 280 est un capteur de pression barométrique absolu numérique. Ce capteur est spécialement conçu pour les applications mobiles où une petite dimension et une faible consommation d'énergie sont très importantes. Ce capteur est compatible avec Arduino.

La pression atmosphérique est causée par l'attraction gravitationnelle de la planète sur les gaz atmosphériques au-dessus de la surface, et est fonction de la masse de la planète, du rayon de la surface et de la distribution verticale dans l'atmosphère. Il est modifié par la rotation planétaire et les effets locaux tels que la vitesse du vent, les variations de densité dues à la température et les variations de composition.[22]

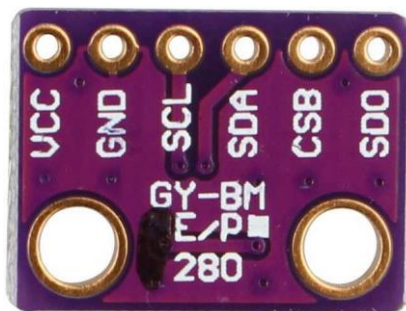


Figure 21 :Le baromètre (BMP 280)

II.7.1. Caractéristiques :

Le BMP 280 est basé sur la technologie de capteur de pression piézorésistive, avec une haute précision, linéarité, stabilité et faible bruit.

Ce module peut être utilisé dans diverses applications comme l'amélioration des systèmes de navigation GPS, la détection d'ascenseur, les prévisions météorologiques, la détection du sol, etc.

II.7.2. Spécification :

- Plage de fonctionnement - Pression - 3001100 hPa.
- Température - 0 ... + 65°
- Tension d'alimentation - 1.71 V - 3.6 V.
- Interface - I2C
- Courant moyen - 2,74 μ A.
- Résolution - Pression - 0,18 Pa.
- Dimension - 2.0 * 2.5 * 0.95 mm

II.8. Le récepteur GPS :

Le système GPS est un réseau de satellites en orbite autour de la Terre à une altitude fixe, qui transmettent des signaux à tous les équipements munis d'un récepteur GPS. Ces signaux permettent d'obtenir la position exacte du récepteur en indiquant (sa longitude, sa latitude et son altitude) quel que soit l'endroit où il se trouve et à n'importe quel moment. Le drone est muni d'un circuit électronique qui est un récepteur GPS. [23],[24]



Figure 22 :Le récepteur GPS (GYNeo6mv2)

II.9. Transmetteur sans fil :

Le module HC-12 est un émetteur/récepteur sans fil de la nouvelle génération, sa gamme de fréquence est : 33.4 - 473.0 MHz, c'est un module multicanal (100 canaux espacés de 400 KHz . [25]



Figure 23 :Le transmetteur sans fil HC-12

La puissance d'émission maximale du module est 100 mW (20dBm), sa sensibilité de réception est de (-117dBm), sa vitesse de transmission est de 5000 bps dans l'air, et la sa portée est de 1000m dans l'espace ouvert.

Il est très pratique avec sa dimension 27,8 mm × 14,4 mm × 4 mm (y compris le capuchon d'antenne, sauf le ressort) avec un MCU intégré et donc l'utilisateur n'a pas besoin de le programmer séparément, il est responsable de la réception et l'envoi de données de port série.

II.10. LA BATTERIE LIPO :

Les batteries au lithium-polymère (appelées ci-après batteries «LiPo») sont un type de batterie plus récent qui est maintenant utilisé dans de nombreux appareils électroniques grand public. Ils ont gagnés en popularité dans l'industrie de la radiocommande au cours des dernières années, et sont maintenant le choix le plus populaire pour ceux qui recherchent des temps longs et une puissance élevée.[26]



Figure 24-a :Batterie Lipo

II.10.1. Caractéristiques :

Il y a trois évaluations principales à connaître sur une batterie LiPo :

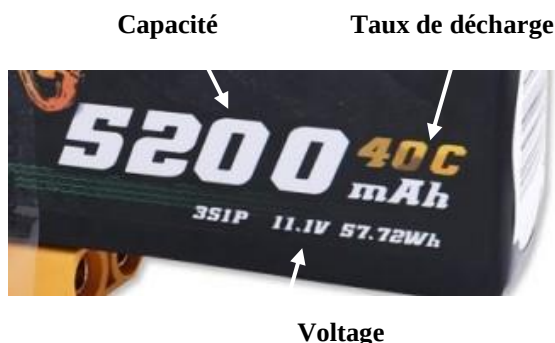


Figure 24-b : Batterie Lipo

II.10.1.1. Le voltage :

Une cellule LiPo a une tension standard de 3.7 V. La batterie ci-dessus de 11.1 V est équivalente à trois fois 3.7v, cela signifie qu'il y a trois cellules en série, Donc c'est une batterie à trois cellules (3S).

La tension d'une batterie détermine essentiellement la vitesse à laquelle le drone va aller. La tension influe directement sur la vitesse de rotation des moteurs électriques. Prenons l'exemple de moteur sans balai choisi pour notre expérience

d'une puissance nominale de 1400 kV, un BLDC tourne à 1400 tr/min pour chaque volt que nous lui appliquons. Sur cette batterie LiPo 3S, ce moteur tourne autour de 14.540 tr/min (14.540 RPM). (figure 23)

II.10.1.2. La capacité :

La capacité d'une batterie détermine combien de temps nous pouvons l'utiliser avant qu'elle se décharge , elle est exprimée en milliampères (mAh) . plus la valeur est élevée, plus l'autonomie est grande.

Une batterie de 5200 mA de capacité, signifie qu'une charge de 5200mAh (5.2A) drainerait complètement la batterie en une heure et inversement si nous chargeons la même batterie à 5.2 ampères, elle sera complètement chargée dans environ une heure. (figure 23-b)

II.10.1.3. Le taux de décharge :

La valeur C est la capacité maximum et sans danger de décharge continue de la batterie. Par exemple, sur la batterie ci-dessus, 40C veut dire qu'on peut décharger la batterie à une puissance jusqu'à 40 fois la capacité de la batterie de façon continue soit $5200 \text{ mAh } 40 \text{ C} = 5,2\text{A} \times 40 = 208 \text{ A}$ en continu max.

Remarque : le taux de décharge doit être largement supérieur à la décharge continue maximum. (figure 23-b)

II.10.2. Les Avantages :

Les batteries LiPo offrent trois avantages principaux par rapport aux batteries NiMH (Nickel-Metal Hydride) ou Nickel Cadmium (NiCd):

1. Légèreté et performances élevées.
2. Capacités élevées, ce qui leur permet de conserver beaucoup plus de puissance.
3. Offre un meilleur rapport puissance/poids que toutes les autres batteries.

II.10.3. Les inconvénients :

1. Les batteries LiPo ont une durée de vie plus courte que les batteries Ni.
2. La nature sensible et la chimie des batteries peuvent provoquer un incendie si la batterie est perforée et évacuée dans l'air.
3. Les LiPos ont besoin de soins spécialisés dans la façon dont ils sont chargés, déchargés et stockés. [27]

II.10.4. Chargeur de batterie:

On a vu auparavant que parmi les inconvénients des batteries LiPo ont besoin de soins spécialisés dans la façon dont ils sont chargés, déchargés et stockés. Pour cette raison il est nécessaire d'utiliser spécialement un chargeur de batterie lipo pour éviter tout incident.[28]

Le chargeur choisi ; Greenbox GPX peut être alimenté de 2 façons : soit sur le 220V grâce à un transformateur qui se trouve à l'intérieur du chargeur, soit directement sur une alimentation fournissant entre 12 et 18 V (Batterie de voiture, batterie au plomb de 12V ou même une batterie lipo 3s)



Figure 25 :Chargeur de Batterie Lipo

II.10.4.1. Spécification :Modèle GPX

- Affichage LCD avec rétro-éclairage
- Type de cellules à charger: Li, Ni et Pb
- Prend en charge LiPo 1-6 cellules
- Courant de charge: 0.1A - 5.0 A avec des incréments de 0.1A
- Tension d'alimentation: 12 - 18V DC
- Puissance de sortie: 50W de charge, décharge de 5W
- Intensité du courant d'équilibrage: 300mAh / cellule
- Mode pour le chargement rapide
- Dimensions: 134 x 80 x 28mm
- Poids (sans fils): 265g
- Mémoire intégrée du chargeur: max. 5 paquets
- 4 boutons de programmation
- Prises encastrées, douilles pour prises Gold 4mm
- Prise jack (alimentation 12V DC)

II.11.L’AFFICHEUR LCD :

Les afficheurs à cristaux liquides, autrement appelés LCD (Liquid Crystal Display), sont des modules compacts intelligents et nécessitent peu de composants externes pour un bon fonctionnement, s'utilisent facilement et avec peu de consommation.

Il existe plusieurs modèles d'afficheurs, de différentes dimensions et de caractéristiques techniques ainsi que leurs tensions de services.

Ils sont très utilisés dans les montages à microcontrôleurs, et permettent une grande convivialité.[29]

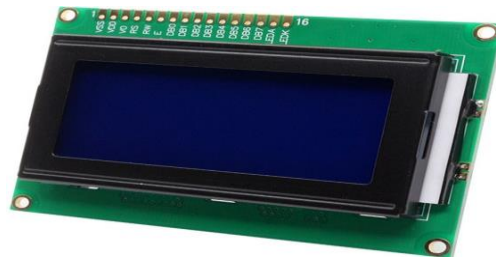


Figure 26 :Afficheur LCD 16x04

II.11.1 Caractéristiques :

- Type : HNC 1604B01
- Mode d’affichage à cristaux liquides.
- Type de l’écran : LCD
- Taille de l’écran : 2,6 pouces.
- Compatible avec Arduino

II.12. CAMERA FPV

Le **FPV** est une désignation anglophone qui signifie First Person View, en Français veut dire Vol en Immersion. Le FPV consiste à embarquer une caméra sur un appareil et à transmettre directement la vidéo sur le support.

Il permet au pilote de voler à vue comme si il était positionné dans l'appareil à la place d'un vrai pilote.

Le vol FPV a révolutionné le pilotage dans le domaine de l'aéromodélisme : piloter son drone équipé d'une caméra avec plus de liberté et

de précisions, sur des distances plus longues tout en profitant d'un retour vidéo qui offre une immersion totale dans le décor et offre bien entendu beaucoup plus de précision pour la photo et vidéo.[30]



Figure 27:Caméra FPV

II.13. Manette de commande

Cette manette sert à piloter le drone à distance en lui envoyant des signaux de commande : mise en route des moteurs, décollage, atterrissage et autres mouvements (tels mentionnés sur la figure ci-dessous) via une antenne radio [31]

Le contrôle de commande est celui du mode 2, il correspond à :

- Stick gauche : contrôle l'altitude et la rotation,
- Stick droit : l'avancée avant/arrière et le déplacement latéral.



Figure 28:Manette de commande

II.14. Le Châssis :

C'est le socle du drone qui porte tous les composants. C'est un moyen indispensable pour le drone, il est également essentiel pour lui définir son comportement général et aussi son autonomie. Un châssis léger permet de gagner en autonomie, des bras longs améliorent la stabilité contrairement aux bras plus courts qui permettent des figures plus acrobatiques.[32]



Figure 29:Châssis quadrotor

CHAPITRE III : REALISATION DU DRONE

CHAPITRE III : REALISATION DU DRONE

Ce chapitre présente deux parties, la première (partie hard) concerne le perçage, la soudure, l'assemblage du châssis, le montage, la fixation et le câblage des composants, le design et ainsi de suite, la deuxième partie (partie Soft) ça concerne la programmation.

III.1. LA PARTIE HARD : Montage du drone

III.1.1.Description du drone :

Notre drone est un quadcopter de forme 'X', conçu à base d'assemblage de plaques en bois de 15mm d'épaisseur, de dimensions 500 mm x 500mm, voir la figure ci-dessous.



Figure 30: Le quadcopter

Les caractéristiques du drone sont :

- La portée : environ 2 km en air libre
- L'autonomie de batterie : 15 minutes de vol
- Les informations recevables :
 - ✓ Le niveau de charge de batterie du drone
 - ✓ Le niveau de charge de batterie de commande
 - ✓ La vitesse du drone
 - ✓ Les coordonnées de position.
 - ✓ L'altitude
 - ✓ La température
 - ✓ Le niveau des gaz
- La caméra
- Le failsafe.

III.1.2 Le contrôleur de vol :

Le contrôleur de vol est le cerveau du drone, c'est lui qui gère tous les modules utilisés et leurs tâches. Notre contrôleur de vol est basé sur une carte arduino nano. Le schéma synoptique ci-dessous (figure 31) montre les différents composants qui sont en communication avec le contrôleur de vol.

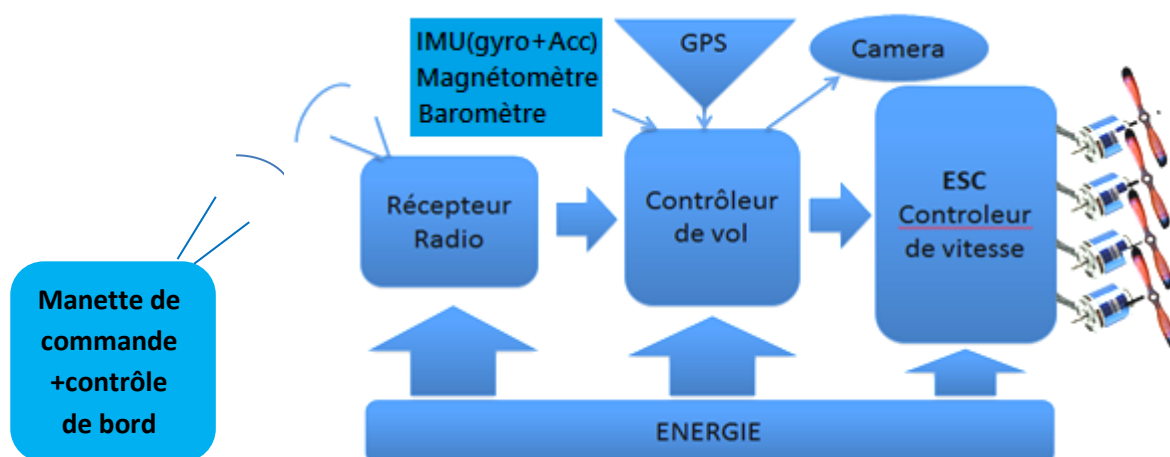


Figure 31: Schéma synoptique du drone

III.1.3 Les ESC

Afin d'effectuer le test et l'étalonnage des ESC avec leur moteurs on a procédé aux étapes suivantes :

III.1.3.1 Le branchement :

Les ESC sont directement alimentés par la batterie de propulsion a travers un filtre par les fils épais rouge et noir, le fil jaune du cordon à 3 fils transporte le signal venant de l'une des pattes digitale de l'Arduino, le noir relié à la masse, le rouge fourni une tension de 5v non utilisé , les trois fils épais de la sortie sont reliés aux moteurs. Voir la figure ci-dessous (figure 32)



Figure 32: brochage électrique d'un ESC

III.1.3.2 L'étalonnage

Avant d'utiliser les ESC, on doit passer par l'opération d'étalonnage pour équilibrer et permettre aux moteurs un bon fonctionnement (même vitesse de rotation).

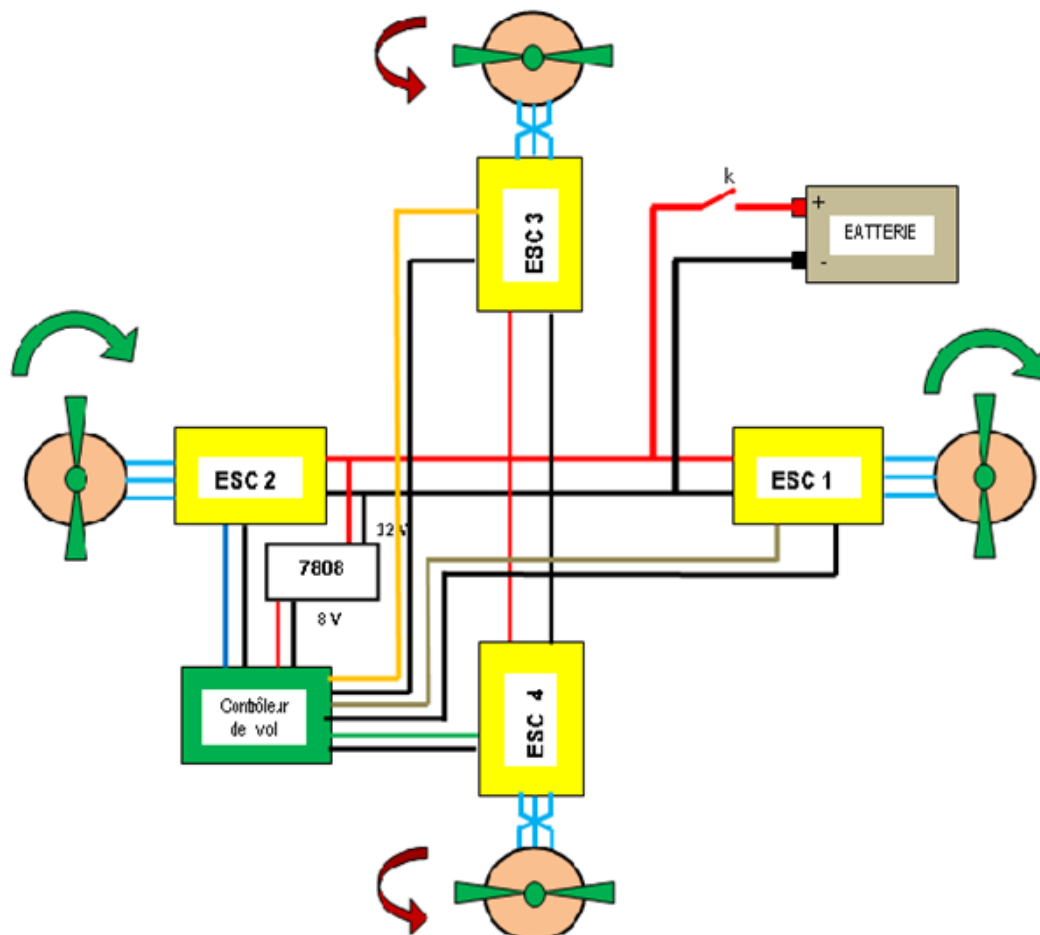


Figure 33: Schéma synoptique des ESC

Cette opération s'effectue par plusieurs méthodes parmi lesquelles on a choisi celle de la programmation à travers le port série de l'arduino.

1. Mettre en maximum les gaz
2. On alimente l'ESC pendant deux secondes.
3. On baisse les gaz au minimum.
4. La fin de l'opération est indiquée par trois bips sonores

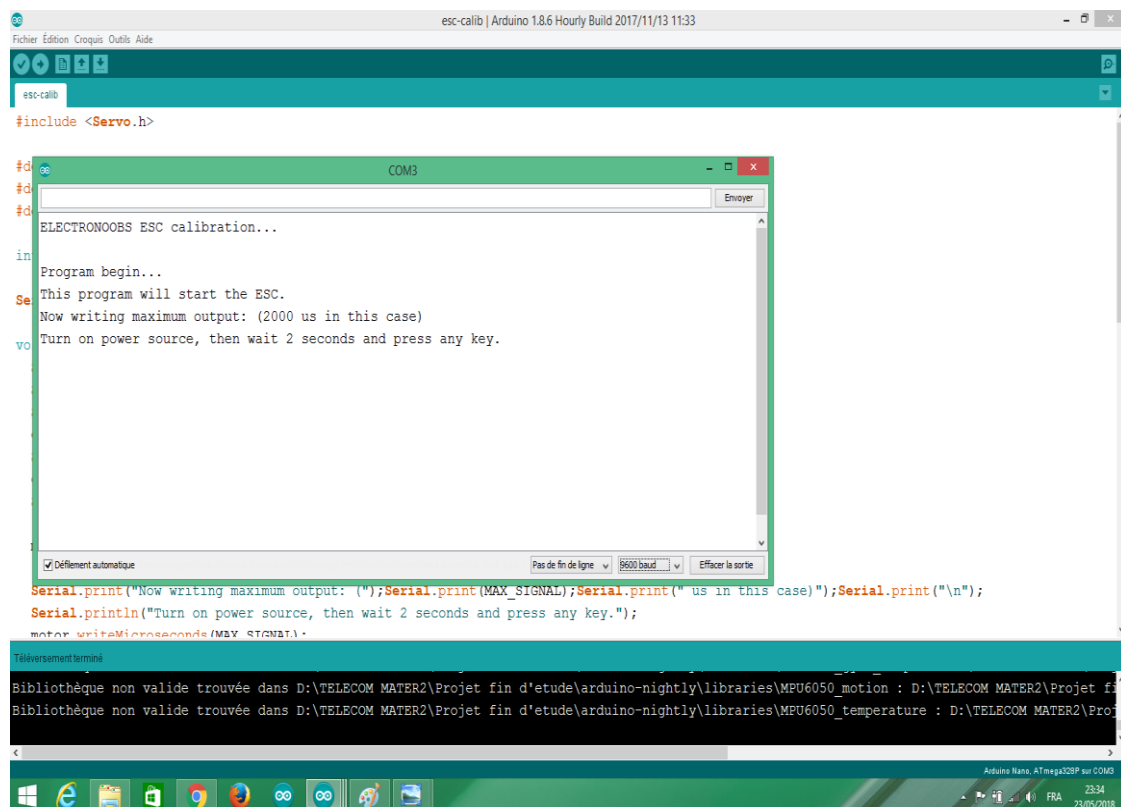


Figure 34 : Etalonnage des ESC

III.1.4 Les capteurs utilisant l'interface I2C :

Les capteurs ayant l'interface I2C sont : la centrale inertielle (MPU6050), le magnétomètre (GY-271) et le baromètre (GY-BMP280)

III.1.4.1 Le branchement :

Le branchement des trois capteurs s'effectue comme suit :

- La branche VCC de chaque capteur est reliée à la patte 3.3V de l'arduino.
- Les GND sont reliés à la masse.
- Les SCL sont reliés à la patte analogique A5 (qui représente l'interface I2C)
- Les SDA sont reliés à la patte analogique A4 qui lui aussi représente l'interface I2C (Voir le schéma global du drone (figure 40)

III.1.4.2 Détection des adresses des registres capteurs :

Il existe un programme Arduino qui nous permet d'extraire l'adresse de chacun des capteurs cités ci-dessus qu'on doit utiliser dans le programme principal.

III.1.4.3 L'étalonnage du MPU6050 :

Voici le code qu'on a utilisé pour étalonner la centrale inertielle MPU 6050

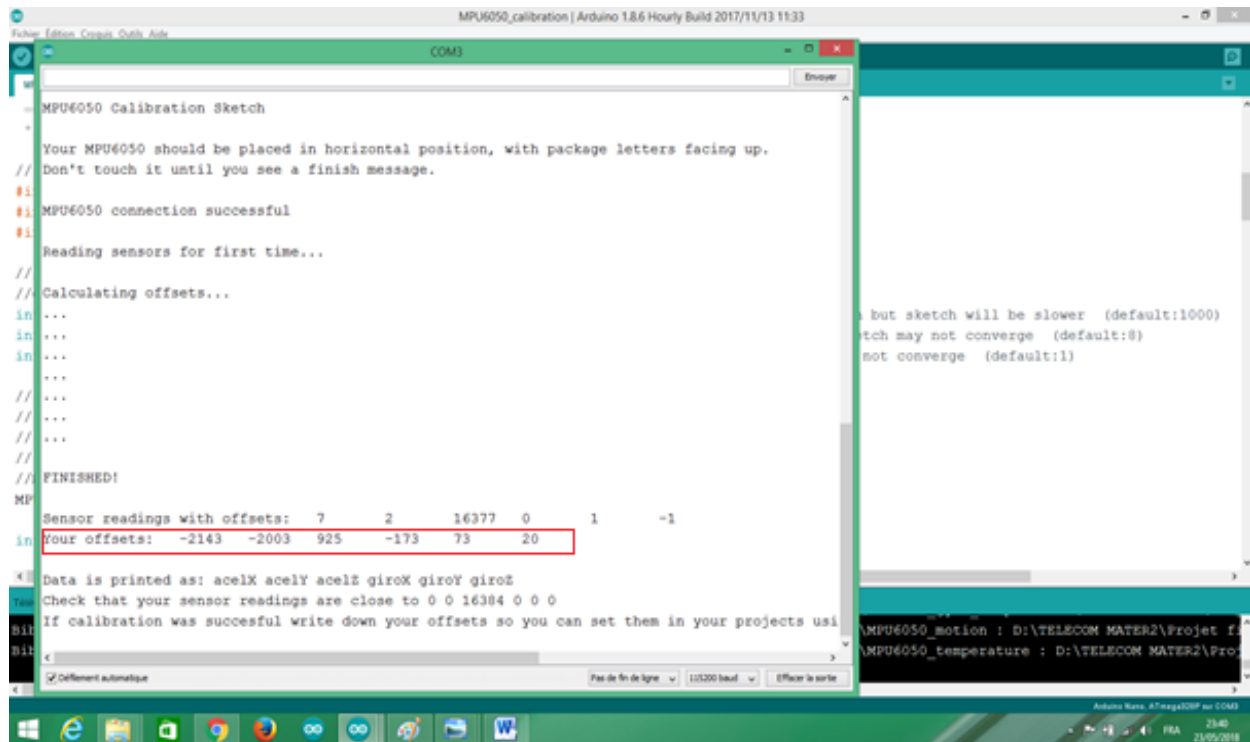


Figure 35 : Etalonnage du MPU6050

III.1.5 Le récepteur GPS (GY-NEO6MV2) :

III.1.5.1 Le branchement :

Ce module est alimenté à travers un régulateur de tension (7805) filtré et suivi par une diode (1N001) relié à la patte VCC, le GND relié à la masse. Le Rx et le Tx sont reliés respectivement aux pattes D6 et D5 de l'Arduino.

III.1.6 Module de transmission sans fil HC-12 :

C'est ce module qui est responsable de la transmission des données entre le drone et la commande, il utilise l'interface soft serie <SoftwareSerial.h> pour communiquer avec l'arduino.

III.1.6.1 Le branchement :

- La patte VCC est reliée à la sortie du régulateur de tension IC7805 à travers la diode D1, la patte GND est reliée à la masse. L'alimentation de ce module est renforcée par un condensateur de compensation qui assure également le filtrage.
- Les pattes d'émission et de réception Tx et Rx sont reliées respectivement aux pattes digitales D8 et D12 de l'arduino.
- La patte Set qui permet le changement entre le mode de programmation et le mode de transmission est reliée à la patte digitale D4.

III.1.6.2 Les protocoles de transmission :

Afin de minimiser le volume de la trame à transmettre pour pouvoir augmenter la performance du module de transmission, on a procédé aux techniques suivantes :

- On a réduit la plage de variation des valeurs (le roulis, le tangage et le lacet), de la plage [0,1023] à la plage [0,999] pour gagner un octet par variable.
- On a regroupé toutes les données (les gaz, le roulis, le tangage et le lacet) dans une seule trame pour éviter les bits supplémentaires (bit de début et bit de fin d'envoi par donné et aussi le bit significatif de chaque donnée).

III.1.7 La caméra

Le manque de ses appareils sur le marché nous a poussé à utiliser une caméra wifi de résolution 2 mégapixel difficilement trouvée. Cette contrainte nous a conduit à exploiter cette caméra juste pour une démonstration vu sa portée qui ne répond pas aux exigences de notre drone.

Ses vidéos sont recevables par des appareils fonctionnant essentiellement avec le système d'exploitation android.



Figure 36 : Caméra

III.1.8 L'émetteur Radio

La commande est basée sur la carte arduino qui gère les données du joystick, les traite et les transmette au drone à travers le module de transmission HC-12 et reçoit les données concernant l'état du drone avec le même module (HC12) et les affiche sur le LCD.



Figure 37: Manette de commande

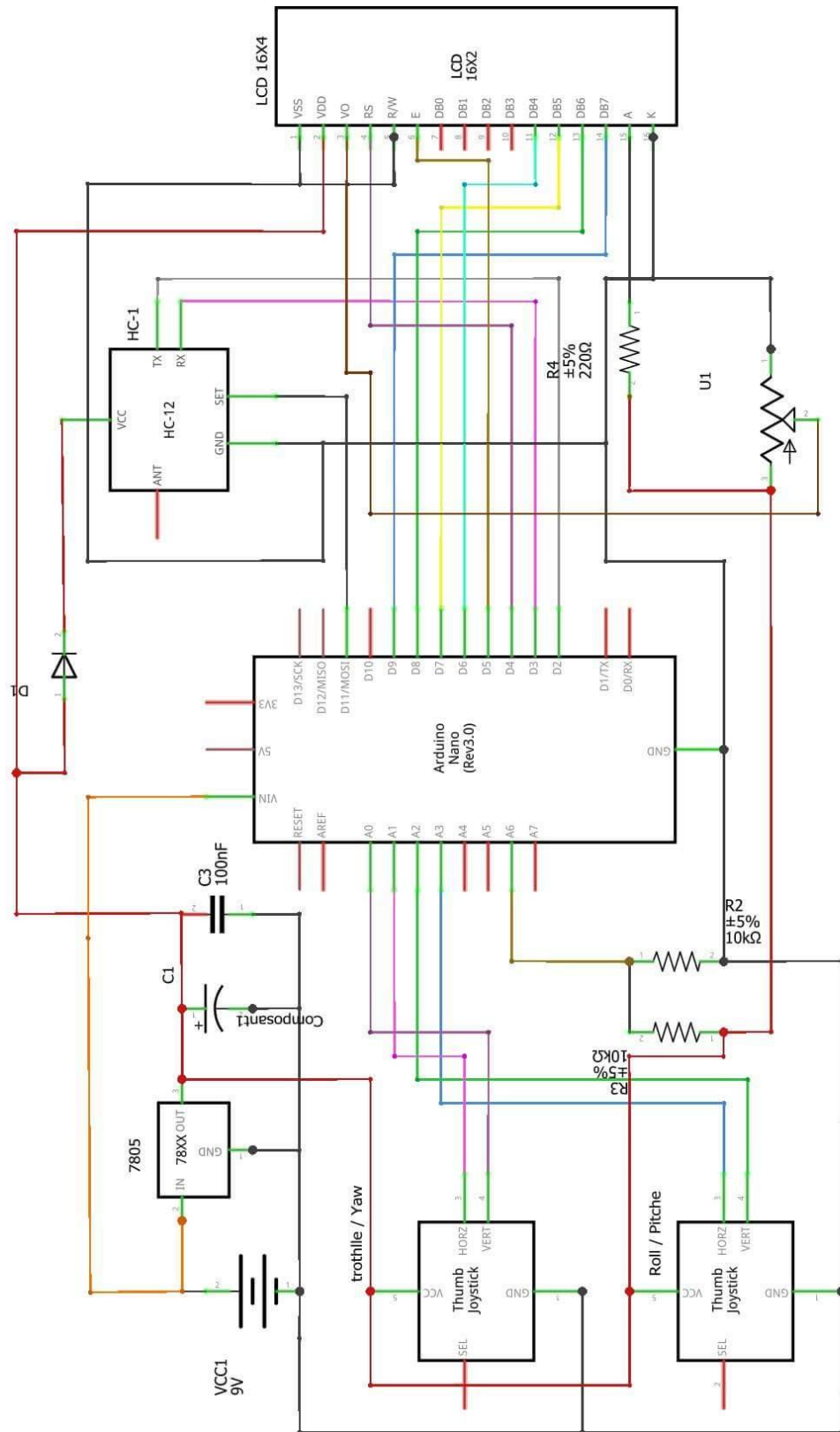


Figure 38: Schéma électrique de l'émetteur

III.1.9. Le châssis :

Avant d'arriver au châssis actuel, nous avons conçu plusieurs modèles de matières différentes, à travers cette expérience on a pu améliorer à chaque essais le comportement du drone en terme de légèreté, solidité et stabilité.

- Nous avons conçu notre premier châssis à base d'aluminium , léger mais il se déforme et ce n'est pas le cas pour atteindre la stabilité de notre drone.



Figure 39-a : châssis en aluminium

- Le second est fabriqué à base de tubes en fer, cette conception nous a pas permis d'atteindre la symétrie précise des branches, ce qui rend difficile de contrôler notre drone, voir figure ci-dessous.



Figure 39-b : châssis en tubes de fer

- Le troisième nous l'avons fabriqué à base de tubes en pvc, cette conception a comme inconvénients : le poids, le manque de rigidité et la présence des vibrations qui influent sur les résultats des capteurs, voir figure ci-dessous.



Figure 39-c : châssis en PVC

- Le quatrième est à base de plaque en plastique solide conçu à l'aide d'une fraiseuse très précise assistée par ordinateur, mais après l'essai il a été avéré qu'il est trop vibrant que son précédent, voir figure ci-dessous.

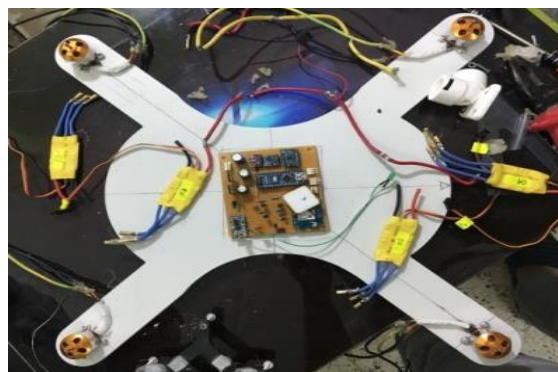


Figure 39-d : châssis en plastique

- Le dernier nous l'avons façonné chez un menuisier et peint chez un tôlier, c'est un assemblage de deux planches en bois, ces caractéristiques sont mieux que les précédentes des points de vue poids et vibrations.



Figure 39-e : châssis en bois

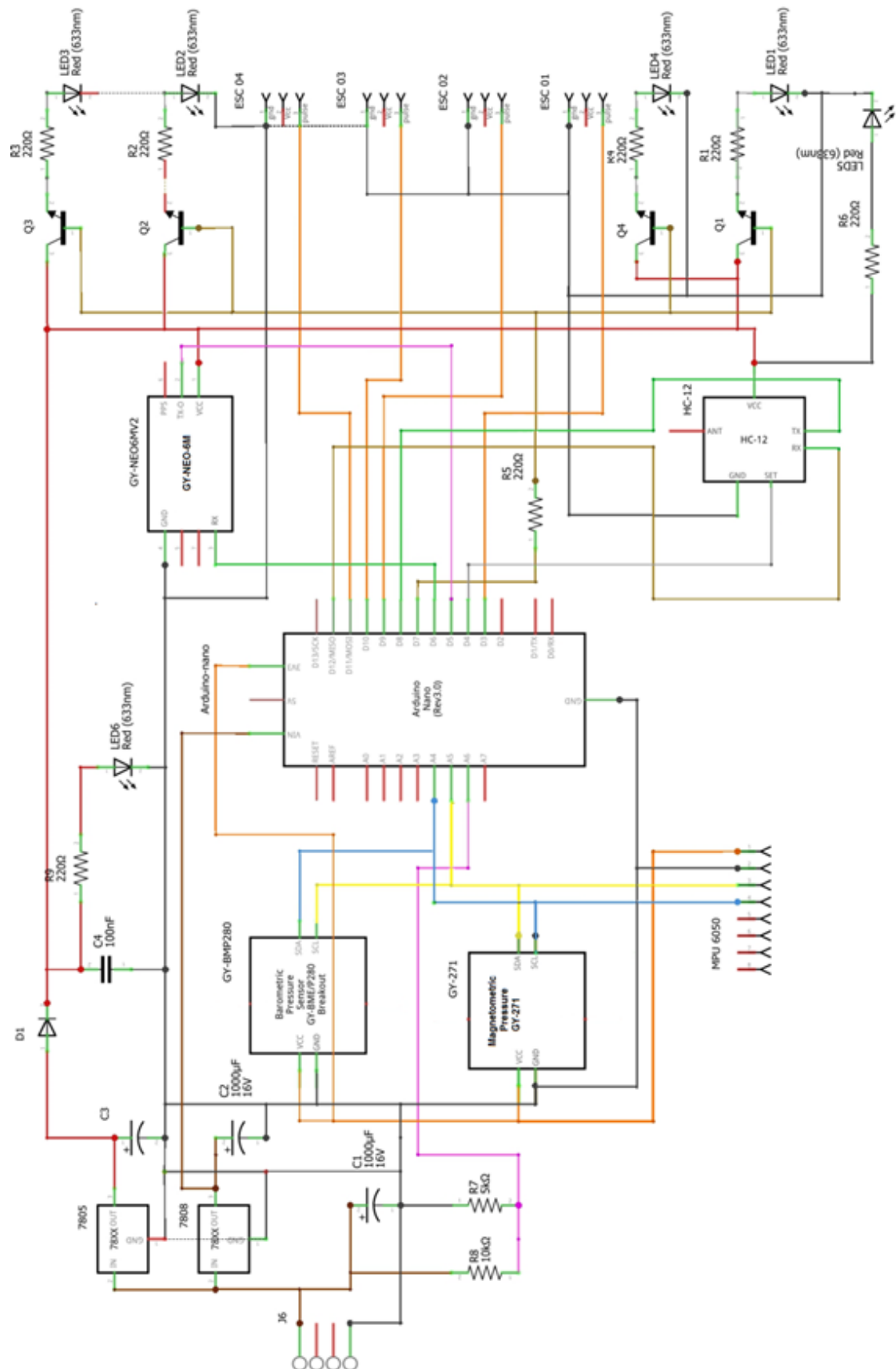


Figure 40 : Le schéma électronique du drone



Figure 41-a : photographie 1 câblage



Figure 41-b : photographie 2 câblage

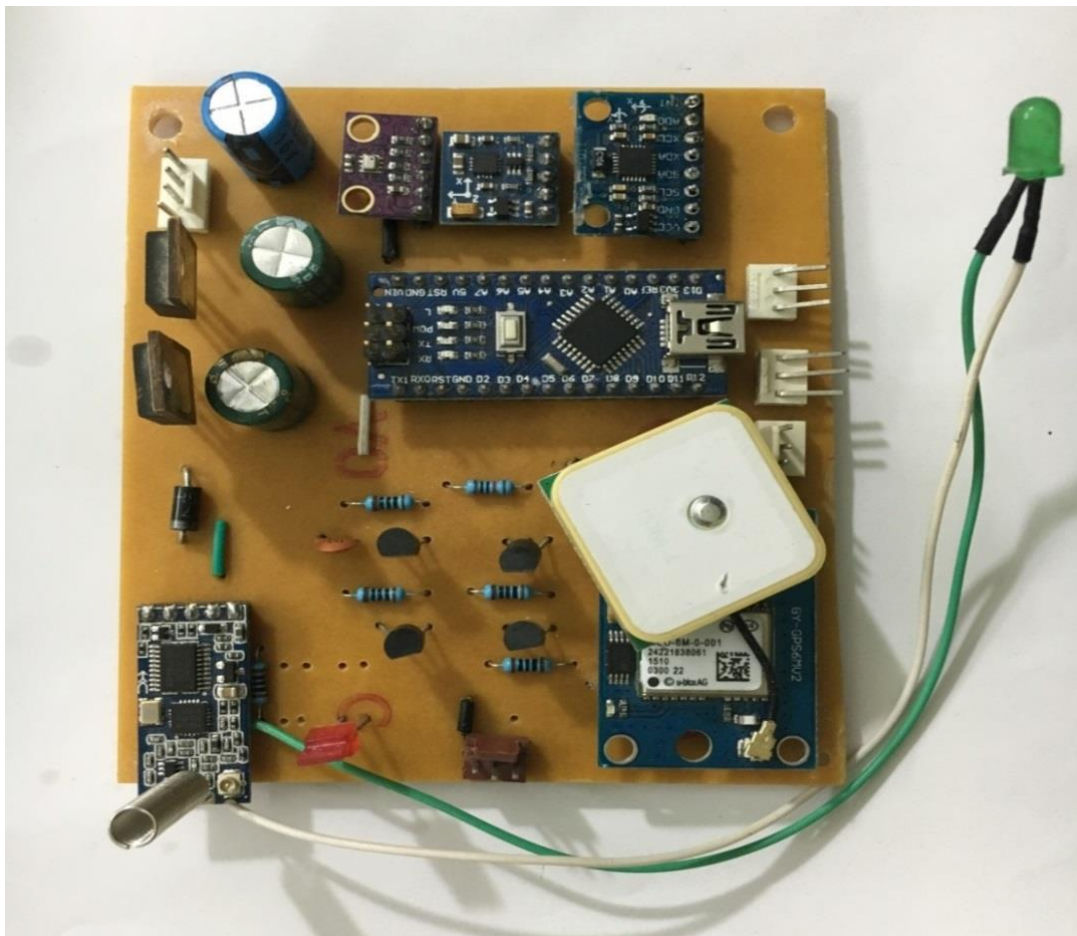


Figure 42 : photographie de la carte électronique du drone

III .2. Partie Soft :

III.2.1. Le régulateur PID

Le capteur MPU 6050 mesure en permanence les valeurs puis transmet ces informations au régulateur, celui-ci compare cette mesure à la consigne puis suivant son algorithme le régulateur va transmettre ses ordres aux moteurs, afin de corriger l'erreur.

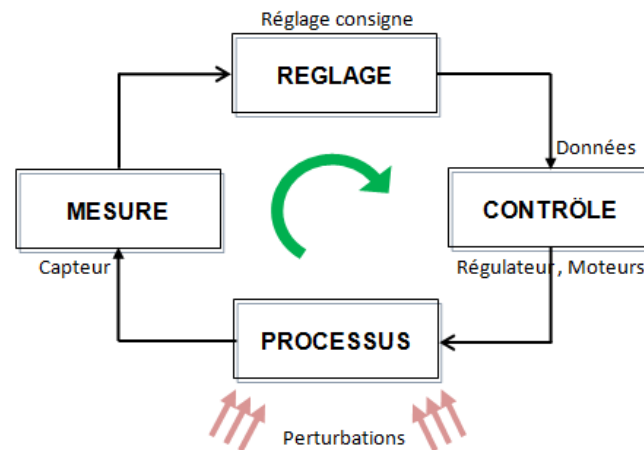


Figure 43 : Schéma synoptique de régulation PID

Prenant notre quadcopter, pour le basculer sur un angle α supposé égale à 30° , la valeur cible doit être 30° que le drone va atteindre, comme montré dans la figure ci-dessous.

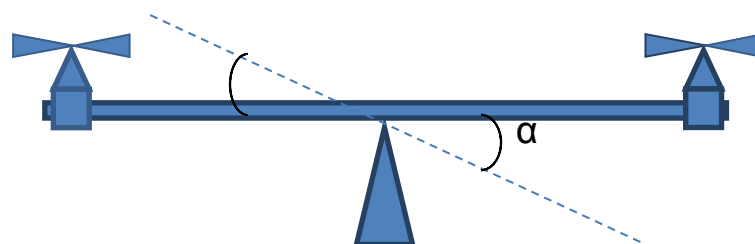


Figure 44 : Le balançoire de régulation

Donc là sur notre graphique on voit les deux valeurs, l'angle d'inclinaison et le changement de P.

Que va faire le régulateur ?

en proportionnel il va envoyer un signal aux moteurs pour accélérer les moteurs du coté gauche et diminuer ceux du côté droit de notre figure (figure 37) et atteindre la valeur cible, donc la courbe ça va être comme suit.

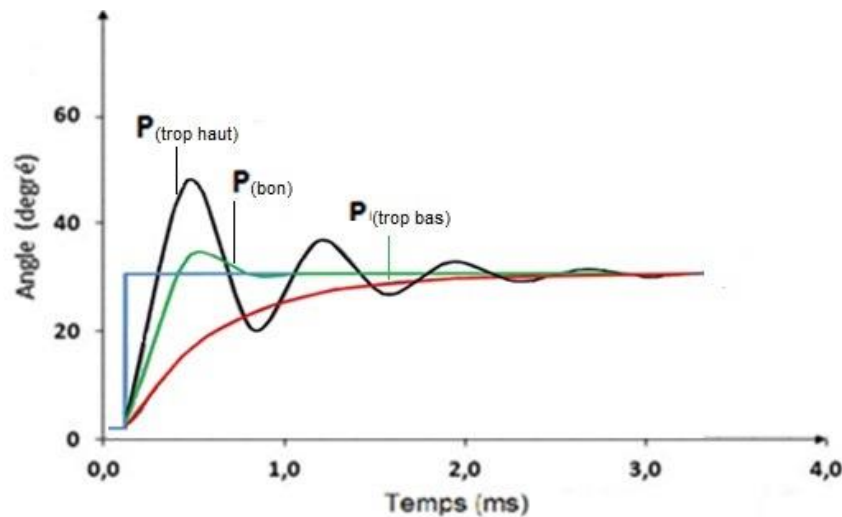


Figure 45 : Graphe de régulation (P seul)

Le régulateur PID envoie un signal, l'angle est modifié, l'erreur qui en fait correspond à l'écart entre la valeur cible et la valeur actuelle, donc comme celui-ci diminue, le signal envoyé va également s'atténuer jusqu'à atteindre la bonne valeur.

Le problème c'est que en proportionnel le système ne regarde que la valeur actuelle, il ne regarde ni la valeur avant ni la valeur après, quand il s'aperçoit qu'il a atteint la valeur cible il est en fait trop tard.

Puisque l'inertie fait que le quad va en fait dépasser la valeur souhaitée. Le régulateur va constater qu'il y a de nouveau une erreur dans l'autre côté, il va la corriger et donc par ce principe là il va y avoir des oscillations.

On voit aussi que entre le changement de la valeur cible et le moment où le système a atteint la valeur cible il y a un délai, donc on va pouvoir diminuer ce délai en modifiant le gain (augmenter le P). Le problème c'est que si on augmente le P la vitesse va augmenter, le délai va diminuer par contre on va avoir plus d'oscillations puisqu'il aura plus de dépassement. C'est que le régulateur va corriger rapidement sauf qu'il va dépasser beaucoup plus et donc il va y avoir beaucoup plus d'oscillations avant d'atteindre la valeur cible.

A l'inverse si on diminue le gain du P on va atténuer les oscillations puisqu'il va aller doucement, il sera plus facile d'atteindre la valeur cible sans oscillations par contre.

Le délai entre la consigne et l'obtention de la valeur cible est assez important et on le ressent dans les commandes par le fait que ça soit moue.

Notre problème est que quand la proportionnelle est utilisée seule, on arrive rarement à la valeur 0 c'est pour ça qu'on ajoute la composante I (intégrale).

Que va faire l'intégrale ?

L'intégrale va regarder dans le passé et va faire en fait une synthèse de l'erreur passée et va permettre de diminuer donc l'erreur en la ramenant donc à l'erreur zéro, en augmentant le I on va raccourcir le délai entre le changement de la valeur cible et l'obtention de la valeur voulue, le problème c'est qu'on va augmenter aussi les oscillations.

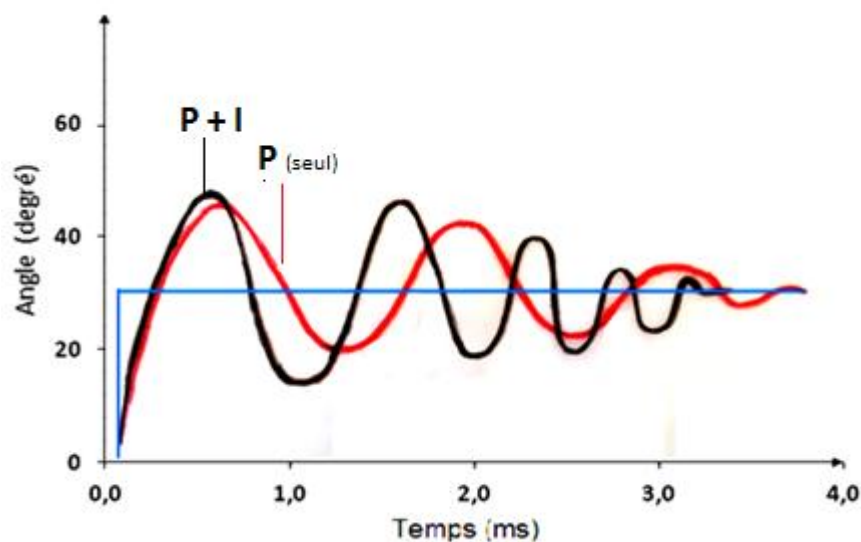


Figure 46 : Graphe de régulation (P+I)

En fin le dernier paramètre c'est la dérivée, son rôle c'est d'atténuer le dépassement et donc les oscillations, si on reprend la courbe de P sans le D, ce que va faire le D c'est qu'il va repérer les changements rapides il va donc

pouvoir prédire la position voulue, lors du changement rapide, il s'aperçoit que ça change vite par rapport à la valeur cible, donc il va ralentir, amplifie le ralentissement et diminue en fait les oscillations.

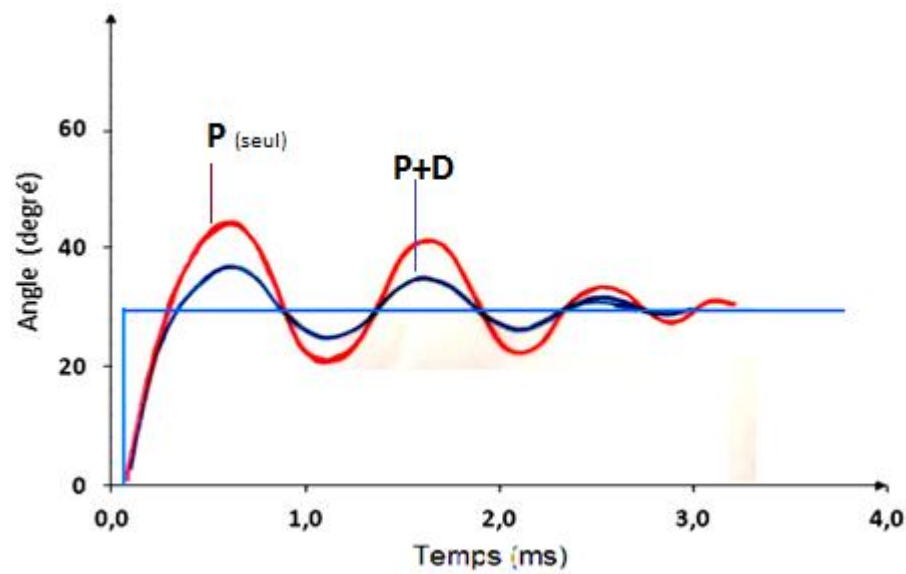


Figure 47 : Graphe de régulation (P+D)

Tableau récapitulatif du régulateur PID

	Trop bas	Bon	Trop haut
P	Réaction molle	Commande réactives et précises sans vibration	Dépassement et vibration à plein gaz
I	Difficulté à maintenir la position	Position stable, résiste bien aux perturbations (vent)	Sensation de mouvement lent
D	Rebond excessif	Pas de rebond, arrêt net	Vibrations caractéristiques, chauffe excessive des moteurs

III.2.1 : Organigramme de programmation du drone

Notre programme se fait par « Arduinoc », l'interface de programmation Arduino se compose d'au moins deux parties :

- void setup : qui est chargée de l'initialisation soft et hard tel que : les déclarations, des modes des broches (entrée /sorties), initialisation Mpu6050, les déclarations Rx et Tx reliés aux deux modules HC-12 et GPS , etc..., et elle ne sera exécutée qu'une seule fois.
- voidloop : c'est la partie de fonctionnement, elle sera exécutée en boucle fermée pour effectuer des tâches bien déterminées afin de gérer le système à travers les broches d'entées/sorties du module arduino (lire l'état du système à travers les broches programmées en entée, et selon ses donnée les algorithmes programmés d'avance rendent les résultats à travers les broches programmées en sortie).

Cet organigramme présente les grandes lignes de fonctionnement du programme du drone :

- ✓ Il commence par l'initialisation du système (soft et hard)
- ✓ Test si le signal de commande est présent, si c'est le cas allumer le flash light (indicateur de présence du signal RC), activer le flag signal (rendre true)
- ✓ Sélectionner les données reçues de la commande (throttle, pitch, roll, yaw)
- ✓ Test le signal de départ (throttle reçue = 0, pitch =0 et flag "demar" = false) dans ce cas démarrer les moteurs en régime ralenti et aussi le reste du système, déverrouiller la commande et utiliser immédiatement les données reçues par le récepteur)
- ✓ Ajouter les valeurs calculées par le régulateur PID
- ✓ Envoyer les informations du drone à l'afficheur de commande.
- ✓ Si le signal RC est perdu exécuter la procédure de sécurité.
- ✓ Sinon continuer
- ✓ Si la commande d'arrêt moteurs (th = 0, roll = 0, demar = true) rendre le flag "demar = false" et arrêter les moteurs et le système et retour à la réception des données.
- ✓ Sinon continuer à mettre à jour les données selon les valeurs reçues et poursuivre le fonctionnement de l'appareil.

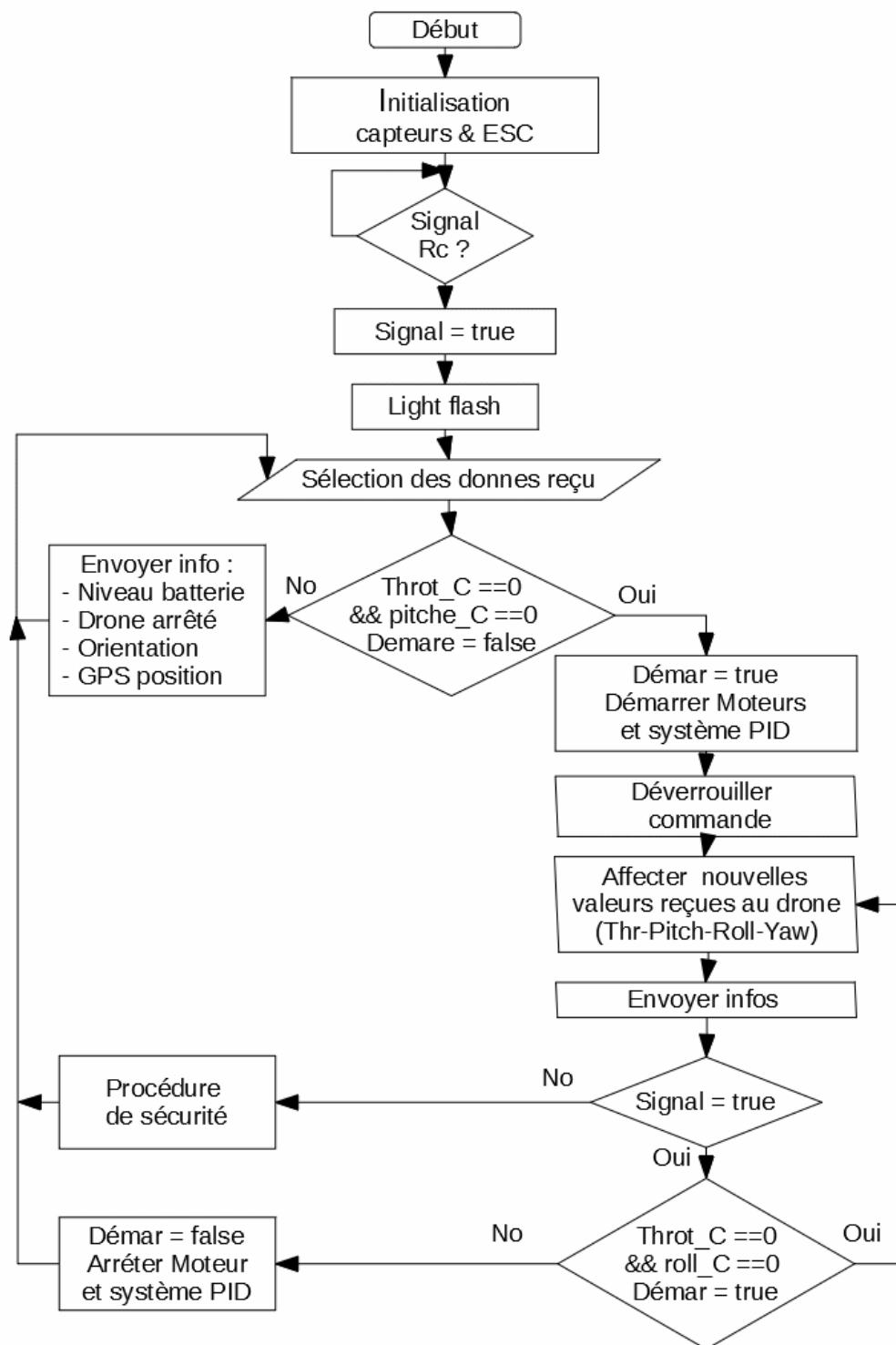


Figure 48 : Organigramme de fonctionnement du drone

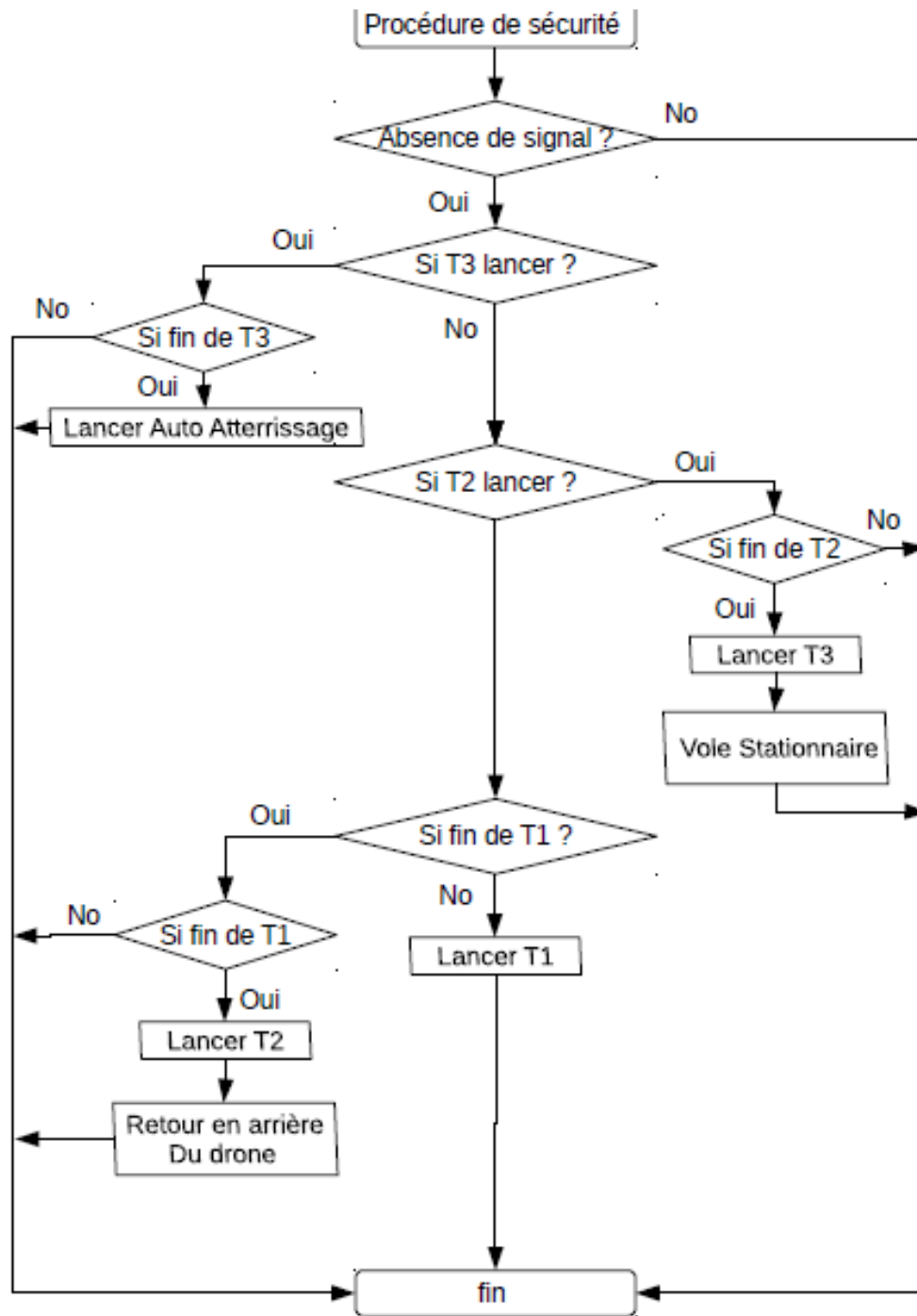


Figure 49 : Organigramme du failsafe

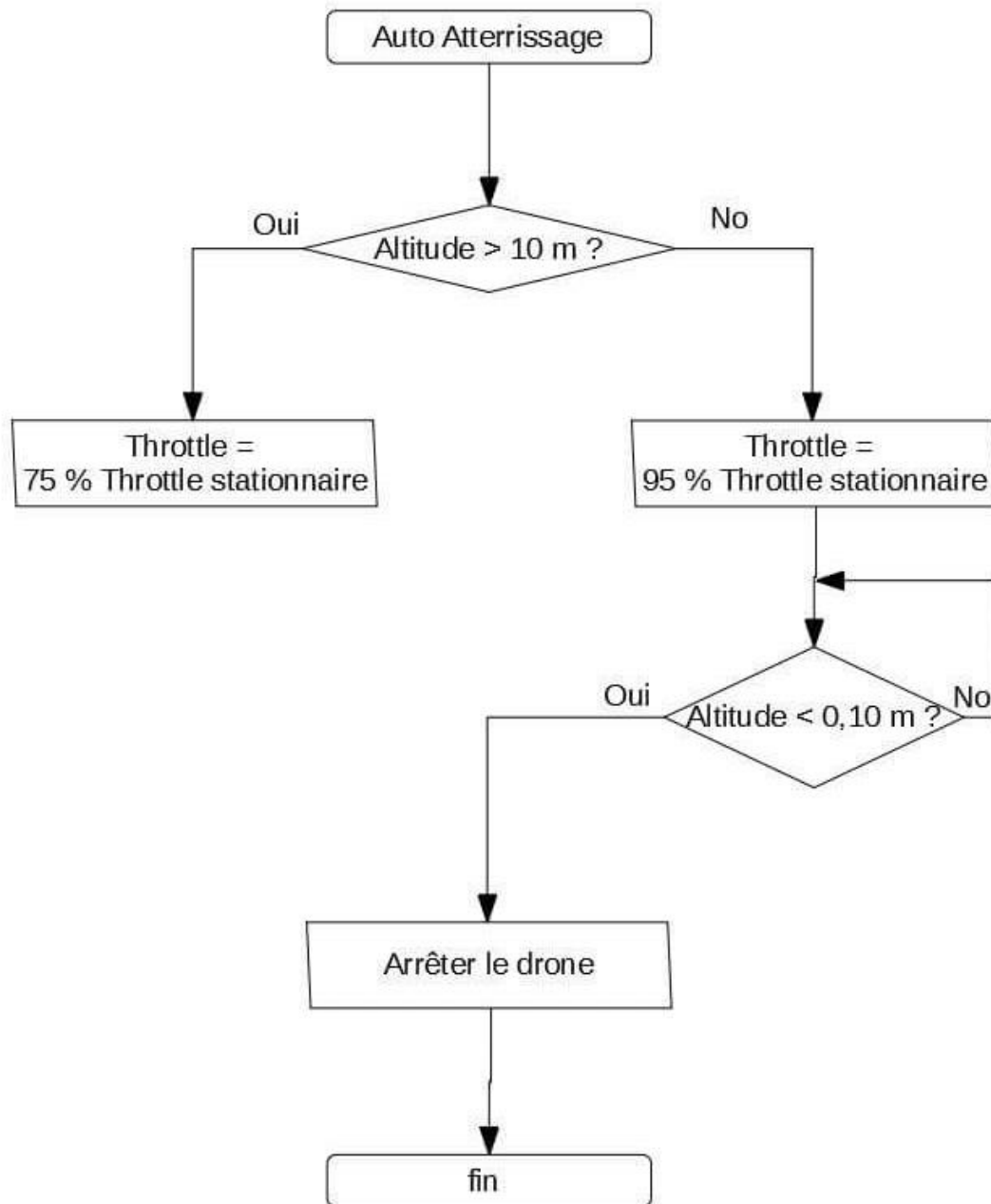


Figure 50 : Organigramme d'auto-atterrissage

III.2.2 Organigramme du programme de commande

Le programme de commande est conçu pour gérer la commande et afficher les informations nécessaires pour mieux contrôler le drone, donc il doit être compatible avec celui du drone. Son fonctionnement est comme suit :

- ✓ Lire les données de commandes à travers les broches analogiques désignées
- ✓ Réduire les intervalles des données
- ✓ Convertir les types de données du numérique vers string.
- ✓ Construire la trame de données à transmettre.
- ✓ L'envoi des données.
- ✓ S'il n'y a pas de données à recevoir : calculer le niveau de batterie et afficher les informations
- ✓ Si oui, chercher l'octet (byte start) « S »
- ✓ Si le byte est apparu, procéder à l'ajout des bytes aux données reçues jusqu'à atteindre le byte de fin de trame.
- ✓ Sélection des données.
- ✓ Conversion du type des données vers le type numérique.
- ✓ Calculer le niveau de la batterie.
- ✓ Afficher les informations.
- ✓ Retour au début.

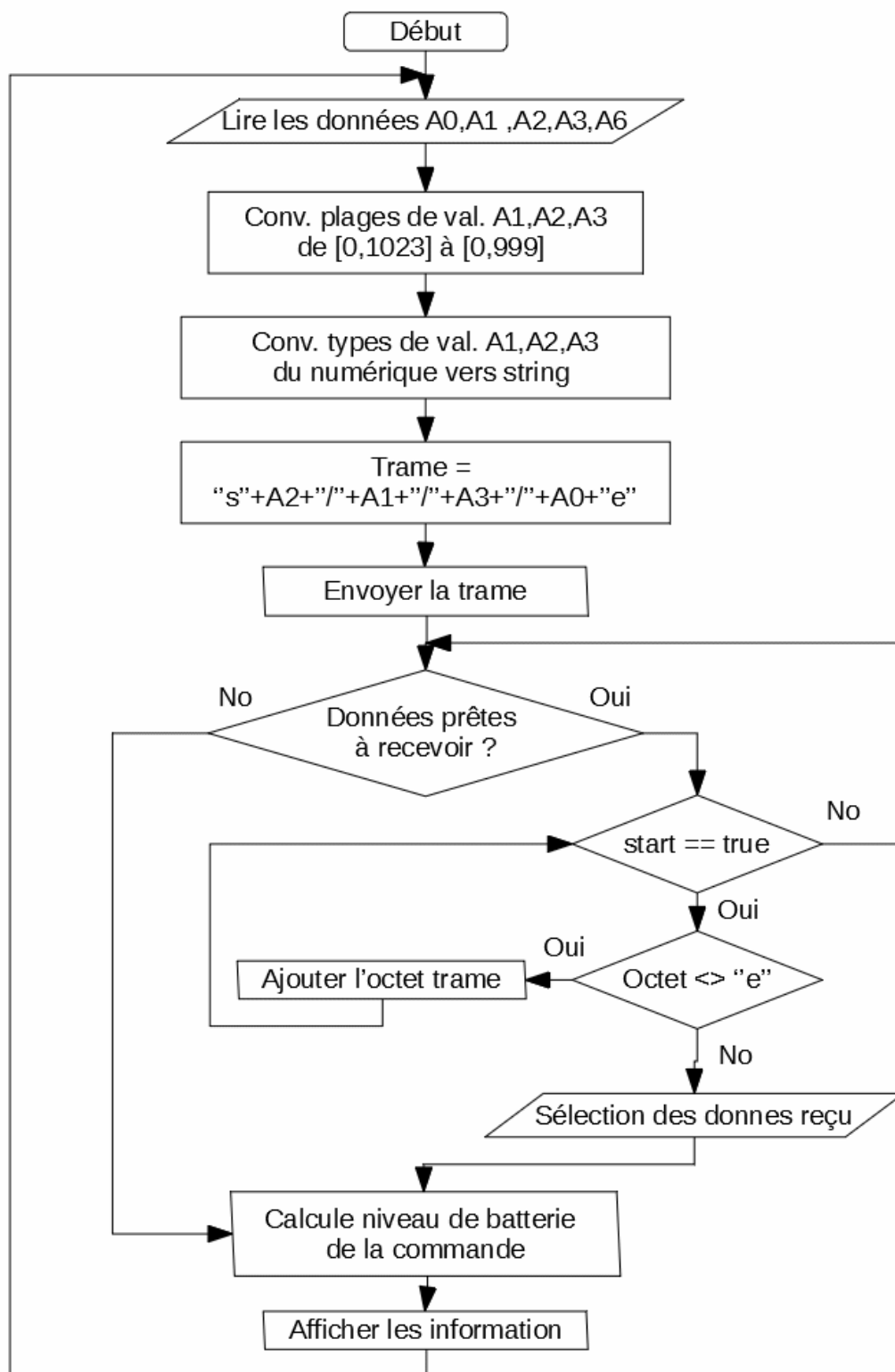


Figure 51 : Organigramme du programme de commande.

**CONCLUSION
PERSPECTIVES
ET DIFFICULTES RENCONTREES**

Perspectives

Nous proposons dans cette partie diverses possibilités de poursuite du projet. La première étape qui s'impose est l'amélioration de la structure mécanique de notre prototype quadrotor.

L'utilisation de nouveaux moteurs et de nouvelles hélices pourra diminuer les vibrations de notre quadrotor et améliorer sa stabilisation.

Compléter le programme principal du drone pour effectuer le retour au point de départ ou atteindre un point bien déterminé suivant un parcours bien précis en lui intégrant un lecteur de carte mémoire.

Nous pourrions intégrer un algorithme de guidage à l'aide d'un émetteur Radio commande et des données de différents capteurs, l'implémentation du traitement d'images embarqué offrirait tout un panel d'activités que l'on pourrait imaginer (ex : détection de formes spécifiques, tracking d'objets, etc.).

Enfin, l'intégration d'un algorithme décisionnel lié à de l'intelligence artificielle rendrait complètement le drone autonome pour des missions plus pointues.

DIFFICULTES RENCONTREES

Dans un premier temps, compte-tenu de la nature du projet, il nous a été difficile de déterminer l'ampleur de la tâche.

La réalisation d'un drone quadrotor offre de nombreuses possibilités en terme d'applications, ce qui nécessite d'acquérir beaucoup de moyens matériels et composants électroniques qui malheureusement manquent sur le marché national et d'autres sont même introuvables, voir la caméra FPV de grande portée de transmission et également la batterie lithium polymère avec son chargeur qui nous ont fallu les acheter d'outre-mer.

Concernant les composants trouvés sur le marché national, ce dernier nous a fait visiter plusieurs régions du pays, et encore avec des choix très limités et tout ça sans parler du coût. Ce qui a influé sur les résultats de notre projet, notamment la stabilisation du drone.

Une difficulté est rencontrée avec le module HC-12 du point de vue transmission sa lenteur et son conflit avec le récepteur GPS qui utilise la même interface <SoftwareSerial.h>.

D'une manière générale, vu la durée de réalisation insuffisante attribuée à un projet de telle ampleur, cela nous a pas permis, au final, d'achever certaines tâches que nous souhaitions entreprendre.

Bibliographie

- [1]. Rodolphe Jobard " Les drones"3^{ème} édition 2017
- [2]. Rodolphe Jobard " Les drones " 2^{ème} édition .2016
- [3]. <https://sites.google.com/site/tpelesdrones/home/dronee>(Valide à la date du 05/02/18)
- [4]. <http://ladronerie.e-monsite.com/pages/le-fonctionnement-d-un-drone.html>(Valide à date du 05/02/18)
- [5]. E. Bartmann. " Le grand livre d'Arduino " 2^{ème}édition. 2015
- [6].http://www.lmdindustrie.com/content/guides/technique/KNF_techno36_1204.pdf
- [7].eduscol.education.fr/sti/sites/eduscol...fr.../ressources/.../9005-moteurs-brushless-v3.pdf
- [8].https://www.wikiforhome.org/fr/index.php/Moteur_brushless [17/02/2018]
- [9].https://hal.archives-ouvertes.fr/docs/00/35/29/.../20061205_These_DUBAS_France.pdf
- [10].<https://www.robotshop.com/blog/fr/comment-fabriquer-un-droneuav-leon-3-propulsion-4480> (Valide à la date du 17/02/18)
- [11].<https://www.tomshardware.fr/articles/multirotor-quadcopter-fpv,2-914-6.html> (Valide à la date du 17/02/18)
- [12].http://ekladata.com/YNj7ZfCPYQySywCuwLBd8IjcEY/03_CH03-1_Brushless_V01.pdf
- [13].http://ekladata.com/YNj7ZfCPYQySywCuwLBd8IjcEY/03_CH03-1_Brushless_V02.pdf
- [14].www.dzduino.com/xxd-hw30a-30a-moteur-brushless-esc (Valide à la date du 17/02/18)
- [15].<https://fr.wikipedia.org/wiki/Hélice> (Valide à la date du 17/02/18)
- [16].<https://www.dronelis.com/choix-des-moteurs-et-des-helices-pour-un-drone/> (Valide à la date du 18/02/18)
- [17].<https://drone.pascherenchine.com/helices-de-drones/> (Valide à la date du 19/02/18)
- [18]. <https://www.invensense.com/wp.../02/MPU-6000-Datasheet1.pdf>
- [19]. www.cs.unca.edu/~bruce/Fall13/360/IMU_Wk8.ppt
- [20]. <http://tinkbox.ph/sites/tinkbox.ph/files/downloads/GY-271>
- [21]. <http://docs-europe.electrocomponents.com/webdocs/1242/0900766b812421f9.pdf>
- [22]. <https://cdn-shop.adafruit.com/datasheets/BST-BMP280-DS001-11.pdf>
- [23].http://www.snastro.org/media/J-LC_GPS.PDF
- [24].<https://www.hackster.io/ruchir1674/how-to-interface-gps-module-neo-6m>
- [25]. <https://www.elecrow.com/download/HC-12.pdf>
- [26]. www.rcaces.org/.../A_Guide_to_LiPo_Batteries.pdf
- [27].<http://uterc.org/files/LipoStorageTips.pdf>
- [28]. <http://blog.vosgesmodelisme.fr/utilisation-dun-chargeur-de-batteries-lipo/>
- [29]. <http://kartmasters.fr/shop/fr/composants-electroniques/363-afficheur-lcd-mc1604c-syr>

- [30]. <https://www.amateursdedrones.fr/debuter-en-fpv/>
- [31]. <http://drone-mavic.fr/commandes-de-vol/>
- [32]. <https://www.robotshop.com/.../comment-fabriquer-drone-lecon-2-ch...>

Arduino Nano 3.1

Overview:

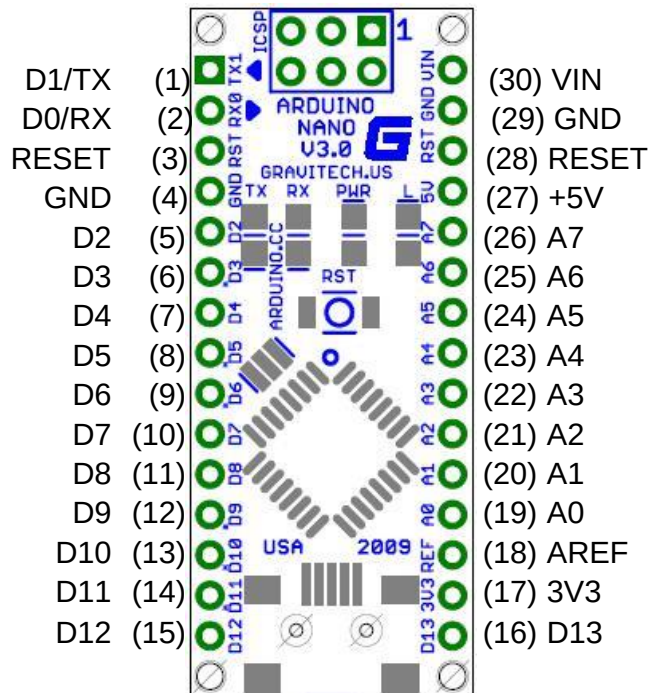
Arduino Nano is a surface mount breadboard embedded version with integrated USB. It is a smallest, complete, and breadboard friendly. It has everything that Diecimila/Duemilanove has (electrically) with more analog input pins and onboard +5V AREF jumper. Physically, it is missing power jack. The Nano is automatically sense and switch to the higher potential source of power, there is no need for the power select jumper.

Nano's got the breadboard-ability of the Boarduino and the Mini+USB with smaller footprint than either, so users have more breadboard space. It's got a pin layout that works well with the Mini or the Basic Stamp (TX, RX, ATN, GND on one top, power and ground on the other). This new version 3.0 comes with ATMEGA328 which offer more programming and data memory space. It is two layers. That make it easier to hack and more affordable.

Specifications:

Microcontroller	Atmel ATmega328
Operating Voltage (logic level)	5 V
Input Voltage (recommended)	7-12 V
Input Voltage (limits)	6-20 V
Digital I/O Pins	14 (of which 6 provide PWM output)
Analog Input Pins	8
DC Current per I/O Pin	40mA
Flash Memory	32 KB (of which 2KB used by bootloader)
SRAM	2 KB
EEPROM	1 KB
Clock Speed	16 MHz
Dimention	0.70" x 1.70"

Arduino Nano Pin Layout

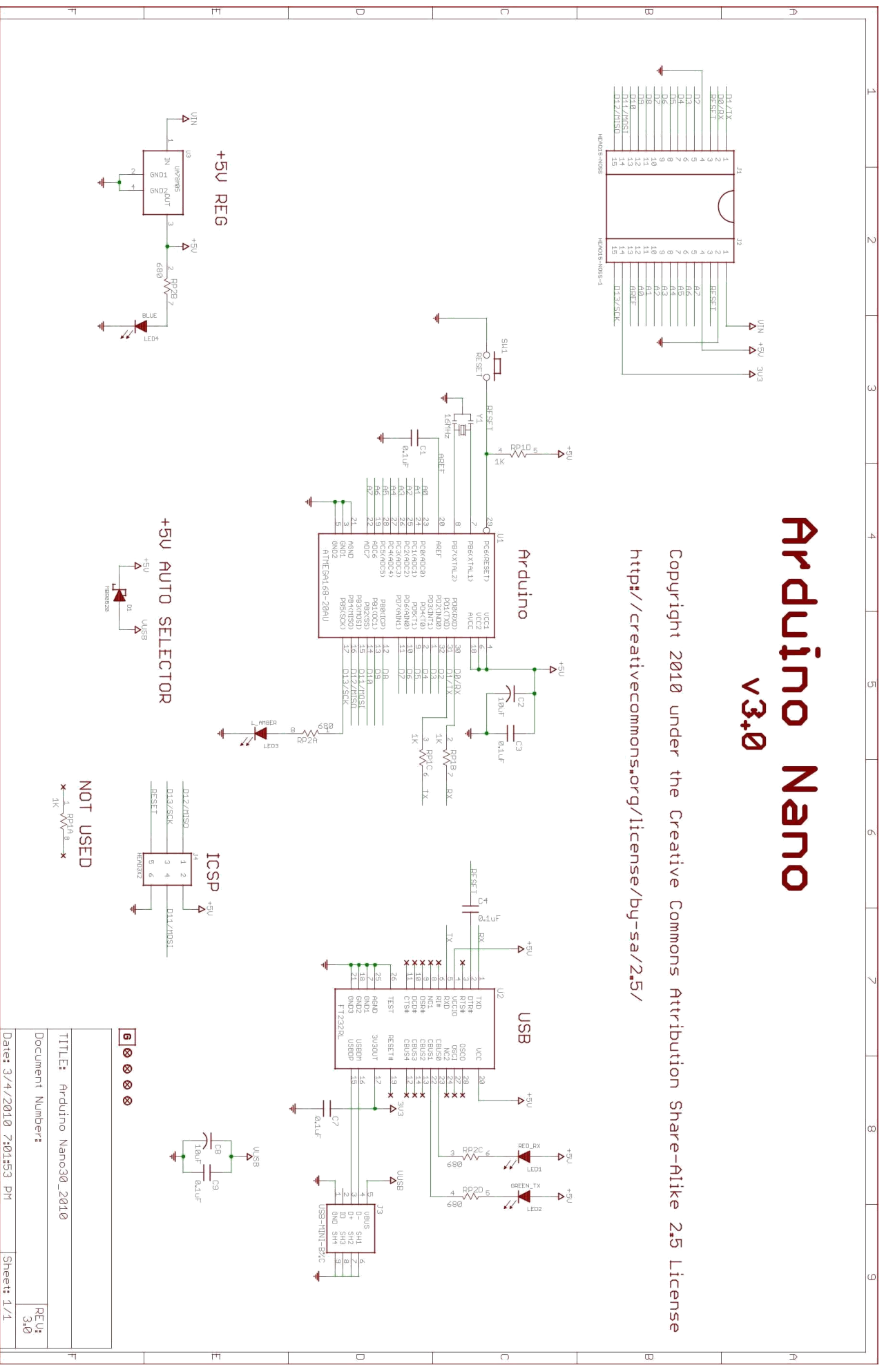


Pin No.	Name	Type	Description
1-2, 5-16	D0-D13	I/O	Digital input/output port 0 to 13
3, 28	RESET	Input	Reset (active low)
4, 29	GND	PWR	Supply ground
17	3V3	Output	+3.3V output (from FTDI)
18	AREF	Input	ADC reference
19-26	A0-A7	Input	Analog input channel 0 to 7
27	+5V	Output or Input	+5V output (from on-board regulator) or +5V (input from external power supply)
30	VIN	PWR	Supply voltage

[illegible]

Arduino Nano v3.0

Copyright 2010 under the Creative Commons Attribution Share-Alike 2.5 License
<http://creativecommons.org/licenses/by-sa/2.5/>





MPU-6050

3 Product Overview

3.1 MPU-60X0 Overview

MotionInterface™ is becoming a “must-have” function being adopted by smartphone and tablet manufacturers due to the enormous value it adds to the end user experience. In smartphones, it finds use in applications such as gesture commands for applications and phone control, enhanced gaming, augmented reality, panoramic photo capture and viewing, and pedestrian and vehicle navigation. With its ability to precisely and accurately track user motions, MotionTracking technology can convert handsets and tablets into powerful 3D intelligent devices that can be used in applications ranging from health and fitness monitoring to location-based services. Key requirements for MotionInterface enabled devices are small package size, low power consumption, high accuracy and repeatability, high shock tolerance, and application specific performance programmability – all at a low consumer price point.

The MPU-60X0 is the world's first integrated 6-axis MotionTracking device that combines a 3-axis gyroscope, 3-axis accelerometer, and a Digital Motion Processor™ (DMP) all in a small 4x4x0.9mm package. With its dedicated I²C sensor bus, it directly accepts inputs from an external 3-axis compass to provide a complete 9-axis MotionFusion™ output. The MPU-60X0 MotionTracking device, with its 6-axis integration, on-board MotionFusion™, and run-time calibration firmware, enables manufacturers to eliminate the costly and complex selection, qualification, and system level integration of discrete devices, guaranteeing optimal motion performance for consumers. The MPU-60X0 is also designed to interface with multiple non-inertial digital sensors, such as pressure sensors, on its auxiliary I²C port. The MPU-60X0 is footprint compatible with the MPU-30X0 family.

The MPU-60X0 features three 16-bit analog-to-digital converters (ADCs) for digitizing the gyroscope outputs and three 16-bit ADCs for digitizing the accelerometer outputs. For precision tracking of both fast and slow motions, the parts feature a user-programmable gyroscope full-scale range of ± 250 , ± 500 , ± 1000 , and $\pm 2000^\circ/\text{sec}$ (dps) and a user-programmable accelerometer full-scale range of $\pm 2g$, $\pm 4g$, $\pm 8g$, and $\pm 16g$.

An on-chip 1024 Byte FIFO buffer helps lower system power consumption by allowing the system processor to read the sensor data in bursts and then enter a low-power mode as the MPU collects more data. With all the necessary on-chip processing and sensor components required to support many motion-based use cases, the MPU-60X0 uniquely enables low-power MotionInterface applications in portable applications with reduced processing requirements for the system processor. By providing an integrated MotionFusion output, the DMP in the MPU-60X0 offloads the intensive MotionProcessing computation requirements from the system processor, minimizing the need for frequent polling of the motion sensor output.

Communication with all registers of the device is performed using either I²C at 400kHz or SPI at 1MHz (MPU-6000 only). For applications requiring faster communications, the sensor and interrupt registers may be read using SPI at 20MHz (MPU-6000 only). Additional features include an embedded temperature sensor and an on-chip oscillator with $\pm 1\%$ variation over the operating temperature range.

By leveraging its patented and volume-proven Nasiri-Fabrication platform, which integrates MEMS wafers with companion CMOS electronics through wafer-level bonding, InvenSense has driven the MPU-60X0 package size down to a revolutionary footprint of 4x4x0.9mm (QFN), while providing the highest performance, lowest noise, and the lowest cost semiconductor packaging required for handheld consumer electronic devices. The part features a robust 10,000g shock tolerance, and has programmable low-pass filters for the gyroscopes, accelerometers, and the on-chip temperature sensor.

For power supply flexibility, the MPU-60X0 operates from VDD power supply voltage range of 2.375V-3.46V. Additionally, the MPU-6050 provides a VLOGIC reference pin (in addition to its analog supply pin: VDD), which sets the logic levels of its I²C interface. The VLOGIC voltage may be $1.8V \pm 5\%$ or VDD.

The MPU-6000 and MPU-6050 are identical, except that the MPU-6050 supports the I²C serial interface only, and has a separate VLOGIC reference pin. The MPU-6000 supports both I²C and SPI interfaces and has a single supply pin, VDD, which is both the device's logic reference supply and the analog supply for the part. The table below outlines these differences:

Primary Differences between MPU-6000 and MPU-6050

Part / Item	MPU-6000	MPU-6050
VDD	2.375V-3.46V	2.375V-3.46V
VLOGIC	n/a	1.71V to VDD
Serial Interfaces Supported	I ² C, SPI	I ² C
Pin 8	/CS	VLOGIC
Pin 9	AD0/SDO	AD0
Pin 23	SCL/SCLK	SCL
Pin 24	SDA/SDI	SDA

□ Applications

BlurFree™ technology (for Video/Still Image Stabilization)
AirSign™ technology (for Security/Authentication)
TouchAnywhere™ technology (for “no touch” UI Application Control/Navigation)
MotionCommand™ technology (for Gesture Short-cuts)
Motion-enabled game and application framework
InstantGesture™ iG™ gesture recognition
Location based services, points of interest, and dead reckoning
Handset and portable gaming
Motion-based game controllers
3D remote controls for Internet connected DTVs and set top boxes, 3D mice
Wearable sensors for health, fitness and sports
Toys

5 Features

5.1 Gyroscope Features

The triple-axis MEMS gyroscope in the MPU-60X0 includes a wide range of features:

- λ Digital-output X-, Y-, and Z-Axis angular rate sensors (gyroscopes) with a user-programmable full-scale range of ± 250 , ± 500 , ± 1000 , and $\pm 2000^\circ/\text{sec}$
- λ External sync signal connected to the FSYNC pin supports image, video and GPS synchronization
- λ Integrated 16-bit ADCs enable simultaneous sampling of gyros
- λ Enhanced bias and sensitivity temperature stability reduces the need for user calibration
- λ Improved low-frequency noise performance
- λ Digitally-programmable low-pass filter
- λ Gyroscope operating current: 3.6mA
- λ Standby current: 5 μ A
- λ Factory calibrated sensitivity scale factor
- λ User self-test

5.2 Accelerometer Features

The triple-axis MEMS accelerometer in MPU-60X0 includes a wide range of features:

- (2) Digital-output triple-axis accelerometer with a programmable full scale range of $\pm 2g$, $\pm 4g$, $\pm 8g$ and $\pm 16g$
- (3) Integrated 16-bit ADCs enable simultaneous sampling of accelerometers while requiring no external multiplexer
- (4) Accelerometer normal operating current: 500 μ A
- (5) Low power accelerometer mode current: 10 μ A at 1.25Hz, 20 μ A at 5Hz, 60 μ A at 20Hz, 110 μ A at 40Hz
- (6) Orientation detection and signaling
- (7) Tap detection
- (8) User-programmable interrupts
- (9) High-G interrupt
- (10) User self-test

5.3 Additional Features

The MPU-60X0 includes the following additional features:

- 3 9-Axis MotionFusion by the on-chip Digital Motion Processor (DMP)
- 4 Auxiliary master I²C bus for reading data from external sensors (e.g., magnetometer)
- 5 3.9mA operating current when all 6 motion sensing axes and the DMP are enabled
- 6 VDD supply voltage range of 2.375V-3.46V
- 7 Flexible VLOGIC reference voltage supports multiple I²C interface voltages (MPU-6050 only)
- 8 Smallest and thinnest QFN package for portable devices: 4x4x0.9mm
- 9 Minimal cross-axis sensitivity between the accelerometer and gyroscope axes
- 10 1024 byte FIFO buffer reduces power consumption by allowing host processor to read the data in bursts and then go into a low-power mode as the MPU collects more data
- 11 Digital-output temperature sensor
- 12 User-programmable digital filters for gyroscope, accelerometer, and temp sensor
- 13 10,000 g shock tolerant
- 14 400kHz Fast Mode I²C for communicating with all registers
- 15 1MHz SPI serial interface for communicating with all registers (MPU-6000 only)
- 16 20MHz SPI serial interface for reading sensor and interrupt registers (MPU-6000 only)

- MEMS structure hermetically sealed and bonded at wafer level
- RoHS and Green compliant

5.4 MotionProcessing

- Internal Digital Motion Processing™ (DMP™) engine supports 3D MotionProcessing and gesture recognition algorithms
- The MPU-60X0 collects gyroscope and accelerometer data while synchronizing data sampling at a user defined rate. The total dataset obtained by the MPU-60X0 includes 3-Axis gyroscope data, 3-Axis accelerometer data, and temperature data. The MPU's calculated output to the system processor can also include heading data from a digital 3-axis third party magnetometer.
- The FIFO buffers the complete data set, reducing timing requirements on the system processor by allowing the processor burst read the FIFO data. After burst reading the FIFO data, the system processor can save power by entering a low-power sleep mode while the MPU collects more data.
- Programmable interrupt supports features such as gesture recognition, panning, zooming, scrolling, tap detection, and shake detection
- Digitally-programmable low-pass filters
- Low-power pedometer functionality allows the host processor to sleep while the DMP maintains the step count.

5.5 Clocking

- On-chip timing generator $\pm 1\%$ frequency variation over full temperature range
- Optional external clock inputs of 32.768kHz or 19.2MHz

6 Electrical Characteristics

6.1 Gyroscope Specifications VDD = 2.375V-3.46V, VLOGIC (MPU-6050 only) = 1.8V±5% or VDD, T_A = 25°C

PARAMETER	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS	NOTES
GYROSCOPE SENSITIVITY						
Full-Scale Range	FS_SEL=0		±250		°/s	
	FS_SEL=1		±500		°/s	
	FS_SEL=2		±1000		°/s	
	FS_SEL=3		±2000		°/s	
Gyroscope ADC Word Length			16		bits	
Sensitivity Scale Factor	FS_SEL=0		131		LSB/(°/s)	
	FS_SEL=1		65.5		LSB/(°/s)	
	FS_SEL=2		32.8		LSB/(°/s)	
	FS_SEL=3		16.4		LSB/(°/s)	
Sensitivity Scale Factor Tolerance	25°C	-3		+3	%	
Sensitivity Scale Factor Variation Over Temperature			±2		%	
Nonlinearity	Best fit straight line; 25°C		0.2		%	
Cross-Axis Sensitivity			±2		%	
GYROSCOPE ZERO-RATE OUTPUT (ZRO)						
Initial ZRO Tolerance	25°C		±20		°/s	
ZRO Variation Over Temperature	-40°C to +85°C		±20		°/s	
Power-Supply Sensitivity (1-10Hz)	Sine wave, 100mVpp; VDD=2.5V		0.2		°/s	
Power-Supply Sensitivity (10 - 250Hz)	Sine wave, 100mVpp; VDD=2.5V		0.2		°/s	
Power-Supply Sensitivity (250Hz - 100kHz)	Sine wave, 100mVpp; VDD=2.5V		4		°/s	
Linear Acceleration Sensitivity	Static		0.1		°/s/g	
SELF-TEST RESPONSE						
Relative	Change from factory trim	-14		14	%	1
GYROSCOPE NOISE PERFORMANCE						
Total RMS Noise	FS_SEL=0 DLPFCFG=2 (100Hz)		0.05		°/s-rms	
Low-frequency RMS noise	Bandwidth 1Hz to10Hz		0.033		°/s-rms	
Rate Noise Spectral Density	At 10Hz		0.005		°/s/√Hz	
GYROSCOPE MECHANICAL FREQUENCIES						
X-Axis		30	33	36	kHz	
Y-Axis		27	30	33	kHz	
Z-Axis		24	27	30	kHz	
LOW PASS FILTER RESPONSE						
	Programmable Range	5		256	Hz	
OUTPUT DATA RATE						
	Programmable	4		8,000	Hz	
GYROSCOPE START-UP TIME						
ZRO Settling (from power-on)	DLPFCFG=0 to ±1% of Final		30		ms	

1. Please refer to the following document for further information on Self-Test: *MPU-6000/MPU-6050 Register Map and Descriptions*

6.2 Accelerometer Specifications

VDD = 2.375V-3.46V, VLOGIC (MPU-6050 only) = 1.8V±5% or VDD, T_A = 25°C

PARAMETER	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS	NOTES
ACCELEROMETER SENSITIVITY						
Full-Scale Range	AFS_SEL=0		±2		g	
	AFS_SEL=1		±4		g	
	AFS_SEL=2		±8		g	
	AFS_SEL=3		±16		g	
ADC Word Length	Output in two's complement format		16		bits	
Sensitivity Scale Factor	AFS_SEL=0		16,384		LSB/g	
	AFS_SEL=1		8,192		LSB/g	
	AFS_SEL=2		4,096		LSB/g	
	AFS_SEL=3		2,048		LSB/g	
Initial Calibration Tolerance			±3		%	
Sensitivity Change vs. Temperature	AFS_SEL=0, -40°C to +85°C		±0.02		%/°C	
Nonlinearity	Best Fit Straight Line		0.5		%	
Cross-Axis Sensitivity			±2		%	
ZERO-G OUTPUT						
Initial Calibration Tolerance	X and Y axes		±50		mg	1
	Z axis		±80		mg	
Zero-G Level Change vs. Temperature	X and Y axes, 0°C to +70°C		±35			
	Z axis, 0°C to +70°C		±60		mg	
SELF TEST RESPONSE						
Relative	Change from factory trim	-14		14	%	2
NOISE PERFORMANCE						
Power Spectral Density	@10Hz, AFS_SEL=0 & ODR=1kHz		400		μg/ √ Hz	
LOW PASS FILTER RESPONSE						
	Programmable Range	5		260	Hz	
OUTPUT DATA RATE						
	Programmable Range	4		1,000	Hz	
INTELLIGENCE FUNCTION INCREMENT						
			32		mg/LSB	

1. Typical zero-g initial calibration tolerance value after MSL3 preconditioning
2. Please refer to the following document for further information on Self-Test: *MPU-6000/MPU-6050 Register Map and Descriptions*

HC-12 Wireless Serial Port Communication Module

User Manual v1.18

Product Application

- Wireless sensor
- Community building security
- Robot wireless control
- Industrial remote control and telemetry
- Automatic data acquisition
- Container information management
- POS system
- Wireless acquisition of gas meter data
- Vehicle keyless entry system
- PC wireless networking

.....

Product Features

- Long-distance wireless transmission (1,000m in open space/ baud rate 5,000bps in the air)
- Working frequency range (433.4-473.0MHz, up to 100 communication channels)
- Maximum 100mW (20dBm) transmitting power (8 gears of power can be set)
- Three working modes, adapting to different application situations
- Built-in MCU, performing communication with external device through serial port
- The number of bytes transmitted unlimited to one time
- Update software version through serial port

Product Introduction

HC-12 wireless serial port communication module is a new-generation multichannel embedded wireless data transmission module. Its wireless working frequency band is 433.4-473.0MHz, multiple channels can be set, with the stepping of 400 KHz, and there are totally 100 channels. The maximum transmitting power of module is 100mW (20dBm), the receiving sensitivity is -117dBm at baud rate of 5,000bps in the air, and the communication distance is 1,000m in open space.

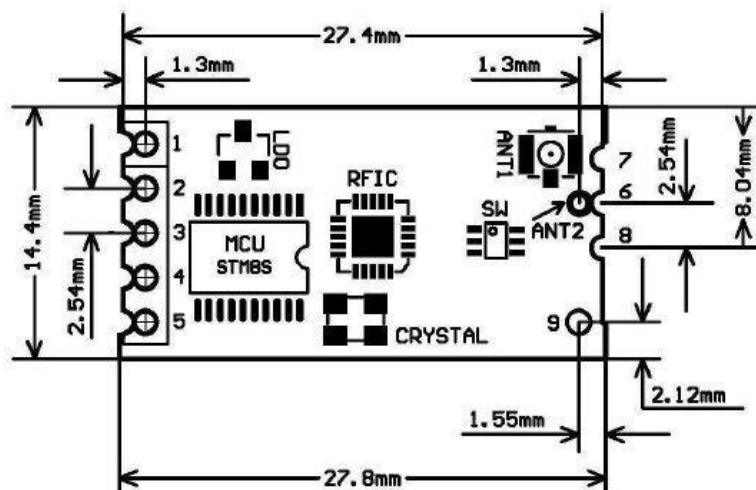
The module is encapsulated with stamp hole, can adopt patch welding, and its dimension is 27.8mm × 14.4mm × 4mm (including antenna cap, excluding spring antenna), so it is very convenient for customers to go into application system. There is a PCB antenna pedestal ANT1 on the module, and user can use external antenna of 433M frequency band through coaxial cable; there is also an antenna solder eye ANT2 in the module, and it is convenient for user to weld spring antenna. User could select one of these antennas according to use requirements.

There is MCU inside the module, and user don't need to program the module separately, and all transparent transmission mode is only responsible for receiving and sending serial port data, so it is convenient to use. The module adopts multiple serial port transparent transmission modes, and user could select them by AT command according to use requirements. The average working current of three modes FU1, FU2 and FU3 in idle state is 80μa, 3.6mA and 16mA respectively, and the maximum working current is 100mA (in transmitting state).

Product Configuration

Standard configuration of HC-12 module only contains one 433MHz-frequency-band wireless communication module with IPEX20279-001E-03 standard RF socket. The optional accessories are 433MHz-frequency-band spring antenna, IPEX-to-BNC coaxial cable and matching 433MHz-frequency-band omni-directional rubber antenna of BNC connector. User could purchase them according to use requirements.

Product Dimension



Definition of Pins

HC-12 module can adopt patch welding, or weld 2.54mm-spacing pin header, and directly insert it onto user's PCB. The module totally has nine pins and one RF antenna pedestal ANT1, and their definitions are as shown in the table below:

Pin	Definition	I/O direction	Note
1	VCC		Power, supply input DC3.2V-5.5V, with Load capacity not less than 200mA. (Note: If the module is working in transmitting state for a long time, it is suggested that one 1N4007 diode should be connected in series when the power voltage is greater than 4.5V, to avoid heating of built-in LDO of module.)
2	GND		Common ground
3	RXD	Input, weak pull-up	URAT input port, TTL level; 1k resistance has been connected in series inside
4	TXD	Output	URAT output port, TTL level; 1k resistance has been connected in series inside
5	SET	Input, internal 10k pull-up resistance	Parameter setting control pin, valid for low level; 1k resistance has been connected in series inside
6	ANT	Input/output	433MHz antenna pin
7	GND		Common ground
8	GND		Common ground
9	NC		No connection, used in fixing, compatible with HC-11 module pin position
ANT1	ANT	Input/output	IPEX20279-001E-03 antenna socket
ANT2	ANT	Input/output	433MHz spring antenna solder eye

Pins 1-6 have two bonding pads respectively, and the outer half-hole bonding pad is used in patch welding. When the inner bonding pad ANT2 of Pin 6 is used in patch welding, the spring antenna can be welded with hands. The inner round-hole bonding pads of Pins 1-5 are used to weld 2.54mm-spacing pin header, and can be directly inserted onto user's PCB socket.

Wireless serial port transparent transmission

(1) Simple introduction of working principle

As shown in the above figure, HC-12 module is used in physical wiring when replacing half duplex communication. The left device sends serial port data to module, and after RXD port of left module receives the serial port data, it will automatically send the data into the air via radio wave. The right module can automatically receive the data, and restore, from TXD, the serial port data originally sent by the left device. It is the same from right to left. Only half duplex state is available between modules, and they cannot receive and send data at the same time.

(2) Serial port transparent transmission

HC-12 module has three serial port transparent transmission modes, expressed with FU1, FU2 and FU3 respectively. In the use, all modes are only responsible for receiving and sending serial port data rather than wireless transmission. The default working mode of system is in FU3 full-speed mode, and in this mode, the baud rate in this air can be automatically adjusted according to baud rate of serial port, and the communication distance will be the farthest at the low baud rate. Different modes cannot transmit data to each other, and user could select the optimal mode according to practical circumstances.

The modules are usually used in pairs, and transmit data by means of half duplex. Meanwhile, the transparent transmission mode, serial port baud rate, and wireless communication channel of two paired modules shall be set to be the same. The default setting is FU3, 9,600bps (8-dibit data, no check, one stop bit), CH001 (433.4MHz).

Use the number of bytes continuously sent to serial port of module unlimited to one time. However, considering ambient interference and other factors, if thousands of data size is sent continuously at a time, some number of bytes may be lost. Therefore, the upper computer shall have response and resending mechanism, to avoid information loss.

(3) Three serial port transparent transmission modes

When HC-12 module leaves the factory, its default serial port transparent transmission mode is FU3. Then the module is in full-speed state, and the idle current is about

16mA. In this mode, the module can automatically adjust the baud rate of wireless transmission in the air according to serial port baud rate, and the corresponding relationship is as shown in the table below:

Serial port baud rate	1,200 bps	2,400 bps	4,800 bps	9,600 bps	19,200 bps	38,400 bps	57,600 bps	115,200 bps
Baud rate in the air	5,000bps		15,000bps		58,000bps		236,000bps	

To get the farthest communication distance, the serial port baud rate can be set to be low. For short-time transmission of mass data, set the serial port baud rate to be high, but the communication distance will be reduced accordingly.

The receiving sensitivity of module at different baud rates in the air is as shown in the table below:

Baud rate in the air	5,000bps	15,000bps	58,000bps	236,000bps
Wireless receiving sensitivity	-117dBm	-112dBm	-107dBm	-100dBm

Generally, every time the receiving sensitivity is reduced by 6dB, the communication distance will be reduced by half.

When “SET” pin of module is at low level, the serial port transparent transmission mode can be set through AT command (see the introduction in the following chapter for details).

FU1 mode is relatively power saving mode, and the idle working current of this mode is about 3.6mA. In this mode, the module can also set eight types of serial port baud rate as shown in the above table, but the baud rate in the air is uniform, 250,000bps.

FU2 mode is power saving mode, and the idle working current of this mode is about 80μA. In this mode, the module only supports baud rates of 1,200bps, 2,400bps and 4,800bps, and the baud rate in the air is uniform, 250,000bps. If the module is set to be other serial port baud rate, the module cannot conduct communication normally.

Meanwhile, when the module is set to be FU2 mode in FU1 and FU3 mode, the baud rate exceeding 4,800bps will be automatically reduced to be 4,800bps. In FU2 mode, the sending time interval of data package cannot be too short; otherwise, the data will be lost. It is suggested that the sending time interval of data package should not be less than 1sec.

The following gives some characteristics reference values of various modes:

Mode	FU1	FU2	FU3	Remark
Idle current	3.6mA	80μA	16mA	Average value
Transmission time delay	15-25mS	500mS	4-80mS	Sending one byte
Loopback test time delay 1	31mS			Serial port baud rate 9,600, sending one byte
Loopback test time delay 2	31mS			Serial port baud rate 9,600, sending ten bytes

Note: Loopback test time delay means the duration from the time of, after conducting short circuit on TX and RX pins of one module and sending serial port data to the other module, starting to send serial port data to the other module to the time that the returned data appear at TX pin of the other module.

Module Parameter Setting AT Command

AT command is used to set the module parameters and switch the module functions, and after setting, it will be valid only after exiting from setting state. Meanwhile, modification of parameters and functions will not be lost in case of power failure.

(1) Command mode entering

The first way to enter: in normal use (energized), put Pin 5 “SET” in low level;

The second way to enter: disconnect power supply, first put Pin 5 “Set” in low level, and then energize it;

Either of the above two ways can make the module enter AT command mode; release it (not put pin “SET” in low level), and exit from the command mode. If the module function is changed after exiting from command mode, it will be switched to corresponding functional status.

In the second way, the module enters AT in the serial port format of 9,600, N, 1 constantly.

(11) Command instruction

①. AT Test command.

e.g.:

Send “AT” command to module, and the module returns “OK”.

②AT+Bxxxx

Change the serial port baud rate. The baud rate can be set to be 1,200bps, 2,400bps, 4,800bps, 9,600bps, 19,200bps, 38,400bps, 57,600bps, and 115,200bps. The default value is 9,600bps.

e.g.: To set serial port baud rate of module to be 19,200bps, first send “AT+B19200” command to module, and the module returns “OK+B19200”.

③AT+Cxxxx

Change wireless communication channel, optional from 001 to 127 (for the wireless channel exceeding 100, the communication distance cannot be ensured). The default value of wireless channel is 001, and the working frequency is 433.4MHz. The channel stepping is 400KHz, and the working frequency of Channel 100 is 473.0MHz.

e.g.:

To set the module to work at Channel 21, first send “AT+C021” command to the module, and the module returns “COK+C021”. After exiting from the command mode, the module will work at Channel 21, and the working frequency is 441.4MHz.

Note: As the wireless receiving sensitivity of HC-12 module is relatively high, when the serial port baud rate is greater than 9,600bps, five adjacent channels shall be staggered to use. When the serial port baud rate is not greater than 9,600bps, in short-distance (within 10m) communication, also five adjacent channels shall be staggered to use.

④AT+FUx

Change serial port transparent transmission mode of module and three modes are available, namely, FU1, FU2 and FU3. The default mode of module is FU3, and only when serial port transparent transmission mode of two modules is set to be the same, can normal communication be available. For detailed introduction, please see the above “wireless serial port transparent transmission”. e.g.:

Send “AT+FU1” to module, and the module returns “AT+OK”.

⑤AT+Px

Set transmitting power of module, x is optional from 1 to 8, and the corresponding transmitting power of module is as shown below:

x value	1	2	3	4	5	6	7	8
Transmitting power of module (dBm)	-1	2	5	8	11	14	17	20

The default value is 8, and the higher the transmitting power is, the farther the communication distance is. When the transmitting power level is set to be 1, the transmitting power is the minimum. Generally speaking, every time the transmitting power is reduced by 6dB, the communication distance will be reduced by half. e.g.:

Send “AT+P5” command to module, and the module returns “OK+P5”. After exiting from the command code, the transmitting power of module is +11dBm.

⑥AT+Ry

Obtain single parameter of module, y is any letter among B, C, F and P, respectively representing: baud rate, communication channel, serial port transparent transmission mode, and transmitting power.

Example 1:

Send “AT+RB” to module, and if the module returns “OK+B9600”, it is inquired that the serial port baud rate of module is 9,600bps. Example 2:

Send “AT+RC” command to module, and if the module returns “OK+RC001”, it is inquired that the communication channel of module is 001. Example 3:

Send “AT+RF” command to module, and if the module returns “OK+FU3”, it is inquired that the module is working in serial port transparent transmission mode 3. Example 4:

Send “AT+RP” command to module, and if the module returns “OK+RP: +20dBm”, it is inquired that the transmitting power of module is +20dBm.

⑦AT+RX

Obtain all parameters of module. Return serial port transparent transmission mode, serial port baud rate, communication channel, and transmitting power in order. e.g.:

Send “AT+RX” command to module, and the module returns “OK+FU3\r\n OK+B9600\r\n OK+C001\r\n OK+RP: +20dBm\r\n”. (“\r\n” means return\nnewline)

⑧AT+Uxxx

Set data bits, check bit and stop bit of serial port communication. For check bit, N means no check, O means odd check, and E means even check. For stop bit, 1 means one stop bit, 2 means two stop bits, and 3 means 1.5 stop bits. e.g.:

To send serial port format to be eight data bits, odd check, and one stop bit, please Send “AT+U8O1” to module, and the module returns “OK+U8O1”.

⑨AT+V

Inquire firmware version information of module.

e.g.:

Send “AT+V” command to module, and the module returns “HC-12_V1.1”.

⑩AT+SLEEP

After receiving the command, the module enters sleep mode after exiting from AT, the working current is about 22 μ A, and this mode doesn't allow serial port data transmission. Then enter AT setting state again, and the module will exit from sleep mode automatically.

e.g.:

When wireless data transmission is not needed, to save power, send "AT+SLEEP" command to module, and the module returns "OK+SLEEP".

⑪AT+DEFAULT

Set serial port baud rate, communication channel, and serial port transparent transmission mode to be default value.

e.g.:

Send "AT+DEFAULT" to module, and the module returns "OK+DEFAULT", and the default value is restored. The serial port baud rate is 9,600bps, communication channel is C001, and serial port transparent transmission mode is FU3.

⑫AT+UPDATE

Put the module in the status of waiting for software update.

After sending the command, the module will not respond to command any more, until it is re-energized.

After sending the command, please close the serial port assistant, and turn on HC-1X updater to update the software. For detailed operating method, please refer to the following "software update" introduction.

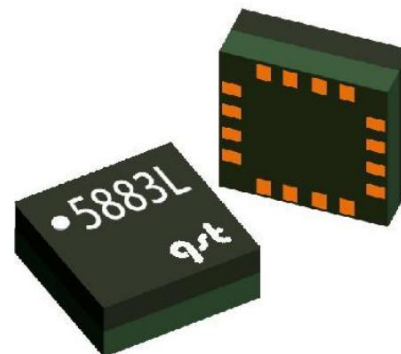
3-Axis Magnetic Sensor QMC5883L



The QMC5883L is a multi-chip three-axis magnetic sensor. This surface -mount, small sized chip has integrated magnetic sensors with signal condition ASIC, targeted for high precision applications such as compassing, navigation and gaming in drone, robot, mobile and personal hand-held devices.

The QMC5883L is based on our state-of-the-art, high resolution, magneto-resistive technology licensed from Honeywell AMR technology. Along with custom-designed 16-bit ADC ASIC, it offers the advantages of low noise, high accuracy, low power consumption, offset cancellation and temperature compensation. QMC5883L enables 1° to 2° compass heading accuracy. The I²C serial bus allows for easy interface.

The QMC5883L is in a 3x3x0.9mm³ surface mount 16-pin land grid array (LGA) package.



FEATURES

3-Axis Magneto-Resistive Sensors in a 3x3x0.9 mm³ Land Grid Array Package (LGA), guaranteed to operate over an extended temperature range of -40 °C to +85 °C.

16 Bit ADC With Low Noise AMR Sensors Achieves 5 Milli-Gauss Field Resolution Enables 1° To 2° Degree Compass Heading Accuracy , Allows for Navigation and LBS Applications

Wide Magnetic Field Range (±8 Gauss)

Maximizes Sensor's Full Dynamic Range and Resolution

Temperature Compensated Data Output and Temperature Output

Automatically Maintains Sensor's Sensitivity Under Wide Operating Temperature Range

I²C Interface with Standard and Fast Modes. High-Speed Interfaces for Fast Data Communications. Maximum 200Hz Data Output Rate

Wide Range Operation Voltage (2.16V To 3.6V) and Low Power Consumption (75μA)

Compatible with Battery Powered Applications

Lead Free Package Construction

RoHS Compliance

Software And Algorithm Support Available

Compassing Heading, Hard Iron, Soft Iron, and Auto Calibration Libraries Available

QMC5883L

(12) INTERNAL SCHEMATIC DIAGRAM

1.1 Internal Schematic Diagram

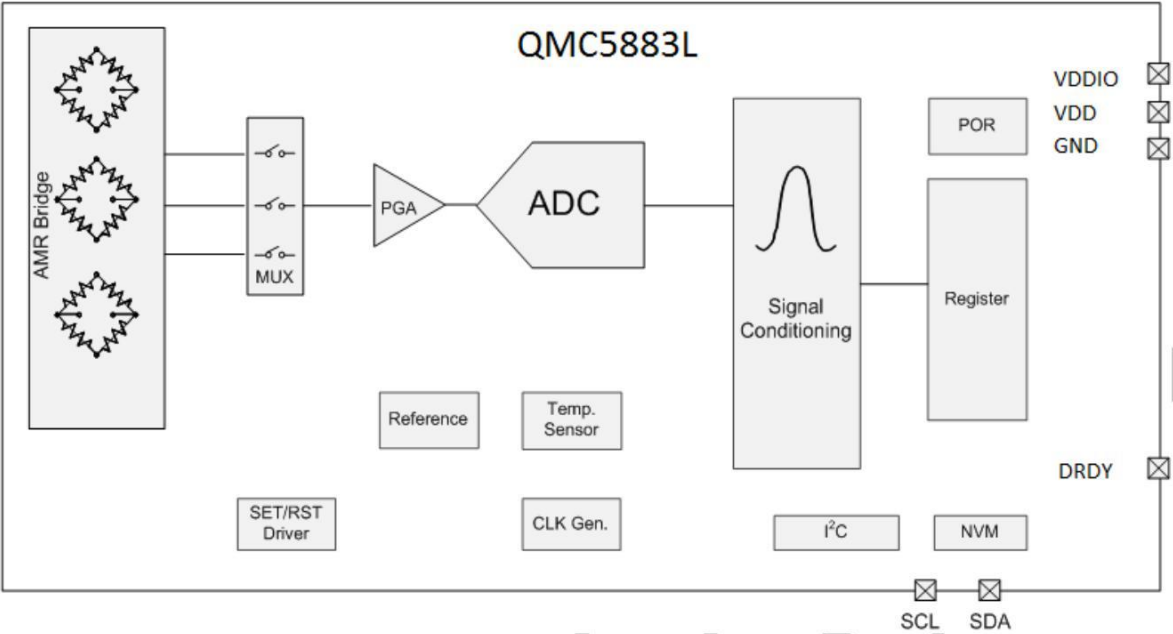


Figure 1. Block Diagram

Table 1. Block Function

Block	Function
AMR Bridge	3 axis magnetic sensor
MUX	Multiplexer for sensor channels
PGA	Programmable gain amplifier for sensor signals
ADC	16 bit Analog-to-Digital converter
Signal Conditioning	Digital blocks for magnetic signal calibration and compensation
I ² C	Interface logic data I/O
NVM	Non-Volatile memory for calibrated parameters
SET/RST Driver	Internal driver to initialize magnetic sensor
Reference	Voltage/Current reference for internal biasing
Clock Gen.	Internal oscillator for internal operation
POR	Power on reset
Temperature Sensor	Temperature sensor for internal sensitivity /offset compensation, and temperature output

2 SPECIFICATIONS AND I/O CHARACTERISTICS

2.1 Product Specifications

Table 2. Specifications (* Tested and specified at 25°C except stated otherwise.)

Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Unit
Supply Voltage	VDD	2.16		3.6	V
I/O Voltage	VDDIO	1.65		3.6	V
Standby Current	Total Current on VDD and VDDIO		3		μA
Continuous Mode Current	Low/High Power Mode (OSR=64 or 512)	ODR = 10Hz	75/100		μA
		ODR = 50Hz	150/250		μA
		ODR = 100Hz	250/450		μA
		ODR = 200Hz	450/850		μA
Peak Current in Active State	Peak Current on VDD and VDDIO During Measurement		2.6		mA
Sensor Field Range	Full Scale	-8		+8	Gauss
Dynamic Output Field Range	Programmable with 2 options	±2		±8	Gauss
Sensitivity ^[1]	Field Range = ±2G		12000		LSB/G
	Field Range = ±8G		3000		LSB/G
Linearity (Best fit linear curve)	Field Range = ±2G		0.1		%FS
Hysteresis	All Ranges		0.3		%FS
Cross Axis Sensitivity	Cross field = 1 Gauss, Applied = ±2 Gauss		0.1		%/G
Offset			±10		mG
Sensitivity Tempco	Ta = -40°C~85°C		±0.05		%/°C
Temperature Sensor Sensitivity	Ta = -40°C~85°C		100		LSB/°C
Digital Resolution	Change with Gain	0.1		1.0	mGauss
Field Resolution	Standard deviation 100 Data, FS ±2G		5		mGauss
Output Data Rate	Programmable. 10Hz/50Hz/100Hz/200Hz	10		200	Samples/sec
X-Y-Z Orthogonality	Sensitivity Directions		90±1		degree
Operating Temperature		-40		85	°C
ESD	HB Model	2000			V
	Machine Model	200			

Note [1]: Sensitivity is calibrated at zero field, it is slightly decreased at high fields.

QMC5883L

2.2 Absolute Maximum Ratings

Table 3. Absolute Maximum Ratings (Tested at 25°C except stated otherwise.)

Parameter	MIN.	MAX.	Units
VDDIO	-0.3	5.4	V
VDD	-0.3	5.4	V
Storage Temperature	-40	125	
Exposed to Magnetic Field (all directions)		50000	Gauss
Reflow Classification	MSL 3, 260 °C Peak Temperature		

2.3 I/O Characteristics

Table 4. I/O Characteristics

Parameter	Symbol	Pin	Condition	Min.	TYP.	Max.	Unit
Voltage Input High Level 1	V_{IH1}	SDA, SCL		$0.7 \cdot V_{DDIO}$		$V_{DDIO} + 0.3$	V
Voltage Input Low Level 1	V_{IL1}	SDA, SCL		-0.3		$0.3 \cdot V_{DDIO}$	V
Voltage Output High Level	V_{OH}	INT	Output Current $\geq -100\mu A$	$0.8 \cdot V_{DDIO}$			V
Voltage Output Low Level	V_{OL}	INT, SDA	Output Current $\leq 100\mu A$ (INT) Output Current $\leq 1mA$ (SDA)			$0.2 \cdot V_{DDIO}$	V

17 PACKAGE PIN CONFIGURATIONS

3.1 Package 3-D View

Arrow indicates direction of magnetic field that generates a positive output reading in normal measurement configuration.

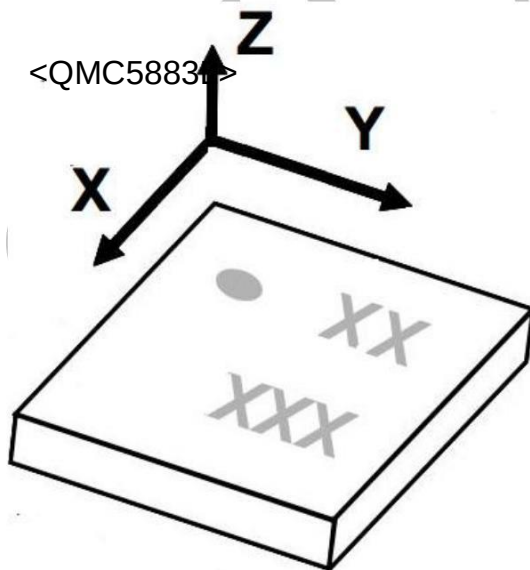
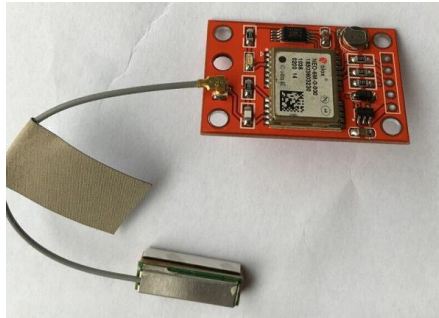


Figure 2. Package 3-D View

Arduino GY-NEO6MV2 GPS Module c/w Antenna & Flight Control EEPROM



GY-NEO6MV2 board features the u-blox NEO-6M GPS module with antenna and built-in EEPROM. This is compatible with various flight controller boards designed to work with a GPS module.

Technical Specifications:

- λ Power Supply Range: 3 V to 5 V
- λ Model: GY-GPS6MV2
- λ Ceramic antenna
- λ EEPROM for saving the configuration data when powered off
- λ Backup battery
- λ LED signal indicator
- λ Mounting Hole Diameter: 3 mm
- λ Default Baud Rate: 9600 bps
- λ Module size 23mm * 30mm
- λ Antenna size 12 * 12mm
- λ Cable: 20mm

Features:

- λ Use XM37-1612 module, MTK Platform, with high-gain active antenna
- λ TTL level, compatible with 3.3V/5V system
- λ The default baud rate: 9600
- λ With rechargeable backup battery, can save the ephemeris data when it power down, and make the warm start.
- λ Suitable for RC quad copter, navigator

Pin out:

VCC: Connect 3.3V/5V

GND: Connect GND

TXD: Connect MCU.RX

RXD: Connect MCU.TX

Schematic:

