

ТЕХНИЧКА ШКОЛА „НИКОЛА ТЕСЛА“ ШИД

Матурски рад из
Основа аутоматског управљања

БЕСПИЛОТНЕ ЛЕТЕЛИЦЕ НА ДАЉИНСКО УПРАВЉАЊЕ

Ментор: Стеван Тошић

Ученик: Александар Роман, IV-3

Шид, 5.6.2015.

Садржај

	Страна
1. Увод.....	3
2. Опис реализације уређаја	4
2.1. Рам (основа) мултикоптера.....	4
2.2. Мотори.....	5
2.3. Пропелери	6
2.4. Батерије	6
2.5. ESC	7
2.6. Главни процесор	7
2.7. Даљинско управљање	8
3. Принцип рада.....	9
3.1. Софтвер.....	10
4. Закључак.....	11
Литература	11

1. Увод

Беспилотне летелице на даљинско управљање, на енглеском „**unmanned aerial vehicle (UAV)**“, жаргонски познате као *дрон* су летелице без укрцане људске посаде и њима се управља на даљину, путем радио таласа. Према Интернационалној цивилној авијацији деле се у две групе:

- Аутономне (самосталне) летелице - тренутно нису регулисане законом,
- Летелице на даљинско управљање - обухваћене цивилним прописима Интернационалне цивилне авијације и националне ваздухопловне власти.

Када се каже „дрон“, најчешће се помисли на ратну беспилотну летелицу. Ове летелице могу имати електрични или млазни погон, њима се управља комуникацијом путем сателита и домет је чак и до 10.000км, а без слетања у ваздуху могу провести и 16 часова.

Данас је све чешћа употреба беспилотних летелица код полиције, хитне помоћи и ватрогасних служби, као и у цивилне сврхе за инспекције разних система, извиђања терена, за помоћ у аграрној индустрији, као и она најчешћа на нашим просторима - у сврхе фотографисања и снимања из ваздуха.

Беспилотним летелицама се даје предност у односу на летелице са посадом у условима када је приступ немогућ са великим хеликоптерима или авионима, када је превише опасно, бучно, а узима се у обзир и много приступачнија цена беспилотних летелица.

Са техничке стране дронови се могу посматрати као теле и радио-управљиви, или аутономни роботски системи на разним возилима. Захваљујући великом напретку у технологији данас постоје чак нано и микро-дронов, микроскопске или величине од неколико центиметара. Најчешће такви дронови имају облик неког летећег инсекта.

Никола Тесла је још 1915. године предвидео беспилотне летелице које су се први пут појавиле у Првом светском рату у виду малих авиона који су имали унапред испланирану путању и по њој бацали гранате, у то време су били познати под именом „летеће бомбе“. Прву беспилотну летелицу са сопственим мотором и командама на даљину је конструисао познати филмски глумац и љубитељ моделарства Региналд Дени (енг. *Reginald Denny*), 1935. године. Током Другог светског рата појављивали су се многи прототипи, а најпознатији су Аустралски „*GAF Jindivik*“ и Британски „*Ryan Firebee*“. 1960. године су почели планови о употреби беспилотних летелица од стране војске као замену за људство. 2013. године пријављено је њихово кориштење у преко 50 држава, међу којима има и оних који производе своје.



Слика 1. GAF Jindivik



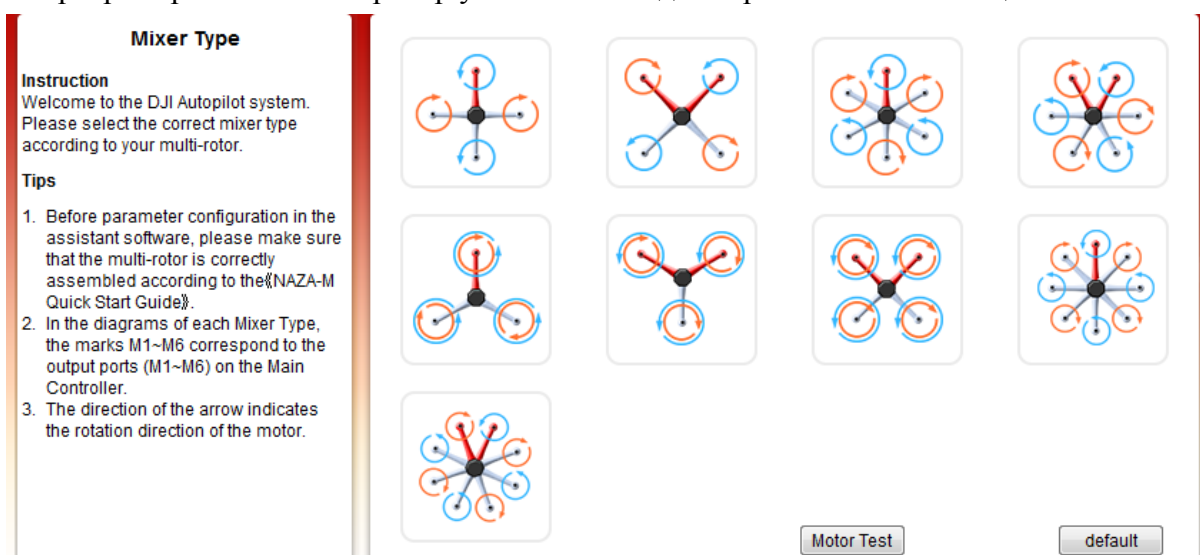
Слика 2. Ryan Firebee

У даљем тексту се нећемо бавити војним летелицама него искључиво цивилним, нератним беспилотним летелицама који заједнички носе назив **мултикоптери** или **мултиротори**, а у зависности од броја мотора који може бити од најмање 3 па до чак и 12, имају и специјалне називе: трикоптер, квадрокоптер, хексакоптер, октокоптер...

2. Опис реализације уређаја

2.1. Рам (основа) мултикоптера

Постоји много типова рамова, али сваком је заједничка улога – на њих се монтирају компоненте летелице. Величина рама се мери дијагонално, од мотора до мотора и она може бити од 250 мм (квадрокоптери за такмичења) па и до 1200мм (мултикоптери за тешку опрему). Најчешћа конфигурација рама је таква да су сви краци постављени под једнаким углом и то у **I**, **X** или **коаксијалној варијанти**. Коаксијална монтажа значи да су на једном краку монтирана два мотора, један испод другог, што омогућава већу носивост летелица на мањем раму (уз губитке ефикасности од око 20%). Рамови се најчешће израђују од алуминијума или још јачих, а лакших - угљеничних влакана. На слици 2.1 видимо „printscreen“ из *DJI NAZA* софтвера на којем се програмира главни контролер у зависности од изабраног типа летелице.



Слика 3. Naza софтвер

Могу се видети различите конфигурације летелица које он подржава. Са леве стране: I4, X4, I6, X6, у другом реду: коаксијални I6, X6, X4, I8 и на крају X8. Сви ови типови су врло слични. Већи број мотора омогућава већу стабилност, носивост, али уједно и потрошњу електричне енергије, па је потребно обезбедити веће батерије.



Слика 4. Такмичарски X4 квадрокоптер



Слика 5. Коаксијални Y6 са камером

2.2. Мотори

Мултикоптери користе трофазне електромоторе без четкица. Осим димензија, на први поглед сви ови мотори су врло слични. Основне карактеристике које су битне за што бољи рад летелице су: KV (константи обртаја мотора при напону од једног волта), максимална струја и максимална снага. Према томе се рачуна које батерије и који пропелери се могу користити. Мотори са већим KV су бржи и користе се у комбинацији са мањим пропелерима и на мањим летелицама, а мотори са већим KV вредностима су спорији при истим напону и струјом па обрћу веће пропелере чиме се постиже већа ефикасност, већа снага, носивост и смањује ниво буке.



Слика 6. Електромотор без четкица



Слика 7. Растављен електромотор

2.3. Пропелери

Пропелери за мултикоптере се праве у разним величинама, најмањи су од свега 1cm, а они највећи достижу чак и 70cm. За тркачке летелице они су најчешће пластични, величине до 22cm, док за теретне летелице којима је неопходна стабилност и сигурност праве се дрвени, угљенични или пропелери од композитних материјала. Поред величине, перформансе су условљене и нагибом пропелера од центра кућишта. Што је већи нагиб, пропелер ће при једном обртају „гурнути“ више ваздуха, што ће захтевати већу снагу мотора, али ће омогућити већи потисак. За такмичења се користе пропелери са већим нагибом јер су они стартнији, а мултикоптери за снимање и прецизне радове користе оне са мањим нагибом како би покрети били блажи и прецизнији.



Слика 8. Двокраки дрвени пропелер



Слика 9. Трокраки пластични пропелери

2.4. Батерије

Литијум полимер, или тачније литијум-ион полимер батерије (скраћено LiPo), су пуњиве ћелије које се користе за напајање мултикоптер летелица. У зависности од потреба и карактеристика мотора и електронике, користе се LiPo батерије са од две па до чак осам ћелија од којих свака има номинални напон од 3.7V, а када су пуне њихов напон износи 4.20 волта по ћелији. Њихов капацитет може бити од хиљаду, па и до двадесет хиљада милиампер часова. Повезивањем две или више батерија редно или паралелно може се добити исти ефекат као да се користи једна већег капацитета или напона. За мање летелице користе се батерије са три или четири ћелије, а за веће од четири, шест или осам. Већим бројем ћелија се добија већа ефикасност рада мотора и мања потрошња јер тиме добијамо већу снагу при истој јачини струје.

Пуњење ових батерија се врши посебним пуњачима који поред главног конектора који има позитиван и негативан пол, има још један за балансирање сваке ћелије посебно како не би једна ћелија била празнија (пунија) од друге.



Слика 10. LiPo батерија са 6 ћелија



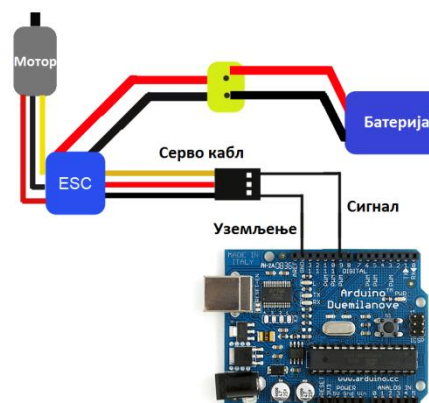
Слика 11. Пуњач за LiPo батерије

2.5. ESC

Да би се мотори повезали са батеријом потребно је додати још једну компоненту. Електронски контролер брзине (Electronic Speed Controller – **ESC**), је електрично коло које служи за контролу обртаја мотора. Прикључује се између батерије и мотора, а улога му је да претвори једносмерну струју у наизменичну. Битне карактеристике ESC-а су његова брзина одзива и максимална струја коју може да пропусти. Брзина одзива је најчешће између 100 и 400 микросекунди, а такође је могуће програмирати микропроцесор на њему са одређеним параметрима чиме се могу побољшати његове карактеристике за различите примене и типове летелица. Што се тиче струје важно је да ESC може поднети максималну јачину струје коју мотор захтева, да не би дошло до грејања и прегоривања.



Слика 12. Програмабилни ESC



Слика 13. Шематски приказ повезивања ESC-а у коло

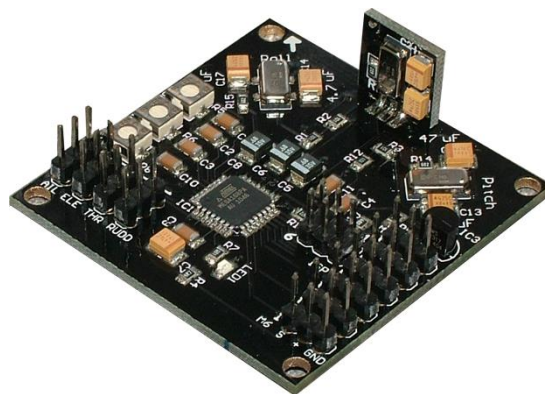
ESC је повезан „серво“ каблом са главним процесором летелице који му шаље сигнале и путем њега кординира брзином мотора, а самим тим и кретањем летелице.

2.6. Главни процесор

Скраћено IMU (Inertial measurement unit), је најсложенија компонента сваког мултикоптера. То је електронска компонента која мери оријентацију и гравитационе силе користећи комбинацију акцелерометра и жироскопа. Постоје разни типови ових контролера који нуде разна подешавања и надоградње, а у основи сваког су три жироскопа, по један за сваку осу (X, Y и Z). Помоћу ових жироскопа контролер се оријентише и у зависности од команди пилота, летелица прослеђује наредбе ESC-у и мултикоптер врши маневар. **DJI** је најпознатији произвођач ових компоненти због своје поузданости, и по томе што „из кутије“ долази спреман за монтажу, без потребе за компликованим подешавањима. У себи садржи GPS који служи за одржавање позиције током лета и олакшава посао пилоту при ветру како он не би морао стално да врши корекције и одржава мултикоптер стабилним. Поред тога постоје разни модови, могућности унапред програмирања путање, аутоматског слетања и полетања, „follow me“ мод, итд... Разни контролери имају различите примене, они за такмичарске и акробатске летелице немају све ове модове и олакшања, него све препуштају пилоту у ручном моду.



Слика 14. Фабрички спреман контролер



Слика 15. Програмабилни контролер

За напредније кориснике, који желе да уштеде новац, а знају програмирати ту су програмабилни контролери. Ови контролери се надограђују из познатих готових чипова (нпр. *Arduino*) и уз добро познавање материје, могуће је постићи резултате скупљих, готових контролера.

Наравно, да би летелица оправдала свој назив „на даљинско управљање“ – потребан јој је даљински управљач, чешће називан контролер, или само даљински.

2.7. Даљинско управљање

Када се каже: „беспилотна летелица“, то значи да на летелици нема укрцане посаде, али и даље постоји лице које њоме управља. Мултикоптером се управља помоћу даљинског контролера који најчешће ради на фреквенцији од 2.4GHz. Овај контролер мора да има најмање четири сигнална канала (контрола гаса, смера, нагиба и окретања), а може да их има и до шеснаест. Свака наредба користи свој фреквенцијски

канал, па је могуће да оператер задаје више наредби летелици у исто време, без сметњи. Поред основне четири наредбе, често се користе и оне за контролу камере, увлачење и извлачење стајног трапа, паљење светала као и осталих додатака.



Слика 16. Даљински управљач



Слика 17. Даљински пријемник са 16 канала

3. Принцип рада

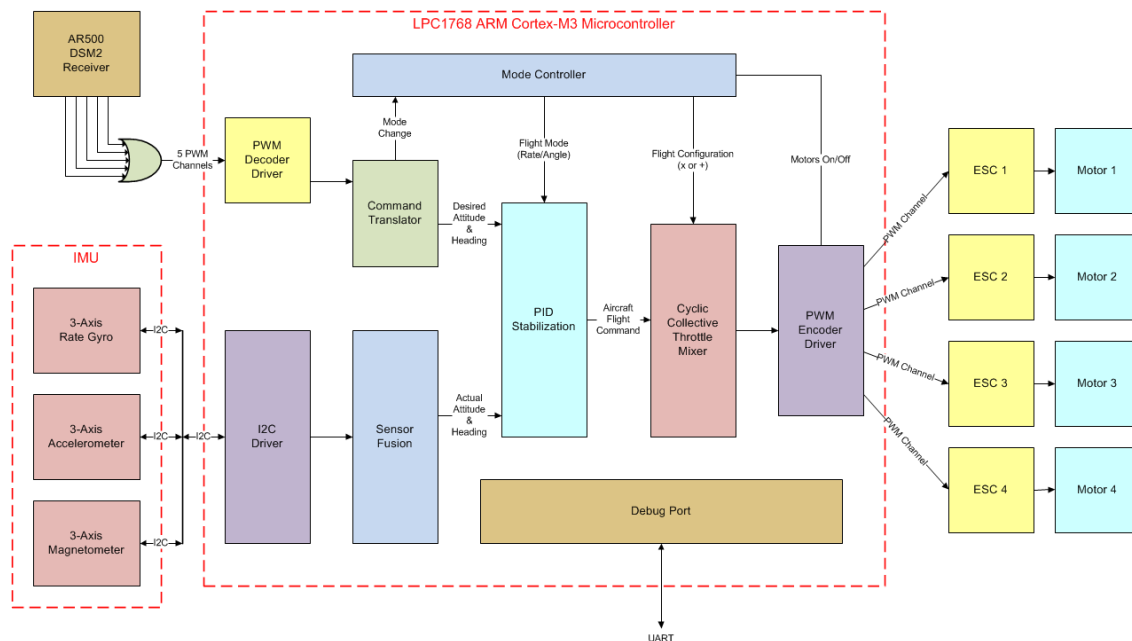
Сваки мултикоптер за своје кретање користи, као што је речено, електромоторе на којима су монтирани пропелери. Без обзира на број мотора и конфигурацију рама, смер обртања свих мотора је тако одређен да се мотор број један (увек предњи десни, или у случају + конфигурације предњи) okreће супротно од смера казаљке на сату, а сваки следећи супротно у односу на претходни. Кретање по свакој од три димензије се остварује убрзавањем, односно успоравањем одређених мотора. Тако да на пример, за кретање напред ће се убрзати мотори на задњем делу мултикоптера, ако је реч о квадкоптеру – то ће бити два мотора, а ако је реч о октокоптеру – четири. Исто тако и за окретање летелице по вертикалној оси: ако желимо да се мултикоптер окрене у смеру казаљке на сату, убрзаћемо моторе који се okreћу супротно од смера казаљке на сату и тако ће се летелица „одгурнути“ кроз ваздух по својој оси.

У идеалним условима након сваког маневра летелица би остала одмах на положају који смо јој задали, али реално постоји много фактора који утичу и ометају такво понашање. Иако ветар није увек присутан, он је после гравитације први највећи непријатељ мултикоптерима. Нагли удари ветра су прави тест за софтвер и хардвер мултикоптера. Ако је летелица добро подешена она ће остати у положају, али њени мотори су морали јако брзо да одреагују како би то успели. Било би немогуће да пилот мора сам својом реакциом да коригује положај мултикоптера и зато се користе аутоматски системи и алгоритми који ће да потребу пилота сведу на минимум.

Сигурност је најважнији фактор приликом употребе беспилотних летелица. Мултикоптери за снимање често лете изнад објеката, насељених места или људи. Најсавременији алгоритми омогућавају да и приликом губитка једног пропелера, квадкоптер користећи преостала три може да сигурно слети. Уколико има више мотора, биће још лакше – тако да хексакоптера може да се слети и са само четири мотора, осим у случају ако су суседна два отказала.

3.1. Софтвер

Пре него што почнемо причати о дизајну софтвера, следећи дијаграм (слика 18.) ће помоћи да визуелно схватимо сложену софтверску структуру.



Слика 18. Софтверска структура

Укратко објашњење сваког од кључних блокова на шеми:

- **PWM Decoder Driver** – Служи за преводјење PWM (Импулсни ширинско модулисани) сигнала од пријемника ка главном контролеру.
- **Command Translator** – У зависности од мода летења, PWM вредности примљене од предајника се преводе другачије. Преводилац команди на основу мода летења тачно преводи ове вредности у наредбе.
- **I2C Master** – I2C је протокол који користе сензори инерције. Ово је врло брз и ефикасан протокол јер захтева само неколико линија кода.
- **Sensor Fusion** – Је скуп више имплементираних алгоритама. EKF (Extended Kalman Filter) је најпознатији од употребљених алгоритама, и карактерише га велика брзина читавања параметара. EKF комуницира са сензорима који мере кретања: бочно (roll), напред-назад (pitch), вертикалне ротације (yaw) и правца у односу на магнетно поље земље (magnetic heading).
- **Proportional-Integral-Derivative (PID) Stabilization** – Када је одређена жељена позиција летелице из команди добијених од предајника и када је стварна позиција летелица одређена преко алгоритама, PID контролери служе да израчунају најбржи начин како да се из стварног положаја летелица помери у жељени. PID контролери су отпорни на сметње из окружења и превазилазе грешке и осцилације.
- **PWM Encoder Driver** – Када је све израчунато, PWM кодер узима контролне вредности и генерише PWM (Импулсни ширинско модулисани) сигнал на излаз за сваки мотор.

4. Закључак

Беспилотне летелице на даљинско управљање су механички доста једноставније од њиховог софтверског дела. То је и основни разлог због чега су тек сада реализоване и доспеле у масивну производњу. И даље њихова аутономност и функције које ће моћи саме да обављају расту, а верује се да ће највећи напредак у њиховој употреби бити нова технологија батерија која би омогућила већи капацитет, тј. дуже време лета, уз исто или краће време пуњења, као и мању тежину. Поред свега овога треба напоменути да, ако се одлучите у набавку или израду беспилотне летелице, пре тога добро научите основе њиховог управљања на једном од дигиталних симулатора, како не би ризиковали материјалну, или штету другима насталу неискусним управљањем.

Литература

1. <https://nikolaos1946.wordpress.com>
2. <http://dronewars.net/aboutdrone/>
3. http://en.wikipedia.org/wiki/Unmanned_aerial_vehicle
4. http://www.icao.int/Meetings/UAS/Documents/Circular%20328_en.pdf
5. <http://science.howstuffworks.com/reaper2.htm>
6. <http://spectrum.ieee.org/aerospace/aviation/chris-andersons-expanding-drone-empire>
7. <http://www.fas.org/sgp/crs/natsec/R42136.pdf>
8. <http://breckon.eu/toby/publications/papers/sokalski10uavsaliient.pdf>
9. <https://www.ethz.ch/en/news-and-events/eth-news/news/2013/12/new-algorithm-makes-quadcopters-safer.html>
10. <http://www.linushelgesson.se/tag/multicopters/>
11. <https://nicisdigital.wordpress.com/2011/05/17/software-design/>
12. <http://cog.yonsei.ac.kr/quad/quad.htm>

Датум предаје: _____

Комисија:

Председник _____

Испитивач _____

Члан _____

Коментар:

Датум одбране: _____

Оцена _____ ()