**Приложение на Ардуино за управление на летателен обект Трикоптер**

**Въведение**

Трикоптерът е безпилотен летателен апарат известен още като дрон, чийто полет се управлява от компютър или пилот с радио управление. За да лети използва три мотора в хоризолна равнина образуващи триъгълник, като по този начин позволява лесно управление и стабилност. Рамката му може да бъде изградена с евтини материали и при нея няма сложни механични елементи.

Скоростта на всеки мотор може да се контролира по отделно, като по този начин се постига управлението на движението в четирите хоризонтални посоки. Задният мотор може да се накланя в ляво и дясно чрез серво машинка, като по този начин се контролиrа посоката на движение и се компенсира нечетния брой ротори, който предизвиква хоризонтална ротация.

Управлението се извършва чрез контролер за автономни летателни апарати базиран на Arduino, който позволява напълно автоматизиран полет с разнообразни функции и мисии. Софтуерът е с отворен код и е достъпен за обучение и разработки.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | **Arduino**  http://arduino.cc/en/uploads/Main/arduino_due_in_hand.jpgArduino е платформа за софтуерна и хардуерна разработка с отворен код. Представлява просто микропроцесорна система със среда за разработка на софтуер за нея. Тя е предназначена за всеки, който иска да създава интерактивни обекти или среди. Arduino разполага с множество сензори, дигитални и аналогови входове и изходи и може да се използва за контролиране на светлини, мотoри и всякакви разнообразни обекти и системи за управление.  Процесорът може да се програмира със средата на Ардуино или чрез различни инструменти . Хардуерно Ардуино е AVR платка за разработка. Може да се използва AVR C или C++ със avr-gcc и avrdude или AVR Studio. Проектите на Ардуино могат да същестуват самостоятелно или да комуникират със софтуер на компютър, друго Ардуино или друга платка със сензори.  Схемите на платките и софтуерът могат да бъдат закуперни или да се свалят безплатно и се разпространяват чрез лиценз за отворен код. Всеки е свободен да ги адаптира към собствените си нужди.  Има много други микропроцесорни системи, като Parallax Basic Stamp, MIT’s Handyboard, AVR Atmel Starter Kits, които предлагат подобни функционалности. Всички те опростяват процеса на работа с микроконтролери, но Ардуино предлага някой предимства за предподаватели и студенти.   * Достъпна цена. Платките на Ардуино са сравнително евтини с тези на конкуренцията. Най-евтиният вариант е да си я направиш сам и в интернет е пълно с информация по въпроса. При желание винаги могат да се закупят като цените са под 50 долара. * Крос-платформен софтуер. Ардуино работи и на трите операционите системи Windows, Mac и Linux. * Проста и достъпна програмна среда. Средата за програмиране на Ардуино е лесна и функционална за изпозлване както от начинаещи, в същото време и от напреднали. Тя е базирана на Processing Programming Environment(PPE). * Отвoрен код. Софтуерът на Ардуино е публикуван като отворен код и е с възможности за разработване на допълнителен функционалности. Той е базиран на езика за програмиране на процесори на Атмел - AVR C. * Хардуерни възможности. Ардуино е базирана на процесорите на Атмел Atmega8 и Атмега168. Схемите са публикувани под Creative Common License. Напреднали потребители могат да добавят функционалности и да разширят възможностите и да подобряват Ардуино. Потребителите без много опит могат да експериметират с версии за разработваща платка и да разберат кое как работи, чрез минимални средства.   Всичко това прави Ардуино идеалната среда за разработка на софтуер и хардуер, по лесен и достъпен начин и му печели „Honorary Mention” в Digital Communities section от 2006 Ars Electronica Prix.  **Arduino Mega2560**  Един от основните, най-използвани и функционални продукти на Ардуино е Ардуино Мега2560 - микроконтролерна платка за разработка базирана на процецорът на Атмел ATMega2560. Тя има 54 дигитални входно изходни пина. От тях 15 могат да се използват за широчинно импулсна модулация, 16 аналогови входа, 4 UART-та, 16 MHz кристален резонатор и USB порт.  C:\Users\switch\Desktop\tricopter\@@@final\pics of interest\ArduinoMega2560_R3_Front.jpg  Процесор Мега 256   |  |  | | --- | --- | | Кратко обобщение на процесора | | | Процесор | ATmega2560 | | Работен волтаж | 5V | | Цифрови(I/O) входове | 54 ( от който 15 се използват със ШИМ) | | Аналогови Входове | 16 | | Ток на I/O пин | 40 mA | | Ток при 3.3V на I/O пин | 50 mA | | Памет | 256 KB от които 8 KB се използват от bootloader | | SRAM | 8 KB | | EEPROM | 4 KB | | Максимална производителност | 16 MHz |   **Ардуино 2560 разполага с 256KB памет за съхранение на код. От тях 8KB се използват за bootloader. Също така процесора разполага с 8 KB SRAM и 4KB EEPROM.**  **Входове и Изходи**  **Всеки от 54-те пина на Мега256 може да бъде използван като вход или изход. Работният им волтаж е 5 волта. Всеки пин може да предава или да приеме максимум 40 мА и има вътрешен пул-ъп резистор от 20-50 кОм. Някой от пиновете имат специални функции:**   * **UART**   **Serial: 0 (RX) and 1 (TX);**  **Serial 1: 19 (RX) and 18 (TX)**  **Serial 2: 17 (RX) and 16 (TX)**  **Serial 3: 15 (RX) and 14 (TX)**  **Използват се за приемане (RX) и изпращане (TX) TTL данни.**   * **Външни прекъсвания**   **2 (interrupt 0)**  **3 (interrupt 1)**  **18 (interrupt 5)**  **19 (interrupt 4)**  **20 (interrupt 3)**  **21 (interrupt 2)**  **Тези пинове могат да се конфигрират да активират прекъсване при различни събития на пина, като промяна на стойност, нулева стойност(low value) или rising or falling edge.**   * Широчинно импулсна модулация   2 до 13 пин  44 до 46 пин  Позволяват ШИМ с 8-битова резолюция.   * SPI   **50 (MISO)**  **51 (MOSI)**  **52 (SCK)**  **53 (SS)**  **Тези пинове осигурят SPI комуникация. Чрез нея може да се програмира процесора или да се комуникара с различни устройства или процесори.**   * **I2C**   **20(SDA)**  **21(SCL)**  Mega2560 разполага с 16 аналогови входа, всеки от който разполага с 10 битова резолюция предлагаща 1024 различни стойности. Те измерват от маса до 5 волта. Възможно е промяна на тяхната горна граница чрез пинът AREF. Комуникация Ардуино Мега2560 разполага с разнообразни начини за комуникация с различни компютри, други платки на Ардуино или микроконтролери. Процесора разполага с четири хардуерни UART-та за TTL сериина комуникация(5V). Платката разполага с ATmega16U2, който използва един UART портовете за да съсздаде виртуаален USB COM порт за комуникация с PC.  Ардуино 2560 поддържа SPI и I2C комуникация.SPI синхронна комукация с голяма скорост. I2C или Two-Wire Serial Interface(TWI) синхронна комуникация с SDA(data line) и SCL(clock line). Програмиране Ардуино Мега2560 може да се програмира чрез USB порта със средата и софтуера на Ардуино. Изключително много библеотеки и информация може да се намери на сайта на Ардуино.  Също така микорконтролера може да се програмира и чрез ISP(In System Programmer) програматор. Може да се използват различни инструменти, като AVR Studio, AVR OSP, avrdude и други.  Обобщение  Огромната функционалност на процесорът на Атмел ATMega2560 дава на Ардуино 2560 голямо предимство при избора на платки за разработване. Множеството начини за програмиране, комуникация, достатъчна памет, голяма скорост, библиотеки и помощни материали дават възможност за лесно разработване на софтуер и хардуер, по достъпен начин. Не случайно платката се използва за основен ядро в много и по-сложни проекти и разработки.  **C:\Users\switch\Desktop\tricopter\@@@final\pics of interest\0038-APM2.jpgАрдукоптер**  Сърцето на трикоптера е базираният на Arduino Мега 2560 контролер Arducopter 2.5. Отвореният код на контролера и голямото интернет общество, което работи над него му спечелват пет първи места на [Sparkfun 2013 Autonomous Vehicle Competition](https://avc.sparkfun.com/). Също така го правят изключително подходящ за всякакъв вид проувания, разработки и обучение. Процесорът на Атмел Мега 256 разполага с достатъчно Flash памет и може да изпълнява до 16 милиона инструкция в секунда, което го прави повече от достатъчен за изпълнение и на по-сложни методи за управление. Arducopter разполага с допълнителните периферни устройства като GPS, компас, барометър, акселерометър и жироскоп. С тяхна помощ може да се постигне стабилен автономен полет и изпълнение на сложни задачи, като автоматично излитане, кацане и проследяване на маршрут.   * Съвместим с Ардуино и може да се възползва от допълнителните сензори и от цялата литература за него. * Ардукоптер има прецизни три осови жироскопи и аксеромеетри, компас и барометър. * Автоматично запазване на летателните данни се извършва чрез 4 Mb флаш памет на платката. * Прецизни позициониране чрез GPS модулът на Mediatek 3393. * Един от първите проекти с отворен код, който използват Invensense MPU-6000 – Акселерометър и жироскоп със 6 посоки на свобода. * Висококачествен барометър от Measurement Specialties MS5611-01BA03 * Прецизен три осов дигитален компас на Honewell HMC5883L * Процесорите на Атмел ATMEGA2560 и ATMEGA32U-2 съответно за изчисления и USB функции. * Управление на моторите чрез ШИМ Контролери * Радио телеметрия за предаване на данни по време на полет на честота 433 Мhz * Графика на данни от полета в реално време * Графичен интерфейс за настройка на параметрите на системата * Навигация по координата чрез Google Maps   Инерционно измервателни сензори IMU(Inertial Measurement Units)  Ардукоптер разполага със сензори за разпознаване на средата и състоятнието, в което се намира спрямо земята. Необходимостта от прецизно измерване на позиция и ориентация, налага използването на така наречените инерционен измервател блок. В случая се изпозлва MPU6000, в който са заложени три осови акселерометри и жироскопи. Допълнително информация относно ориентирането в пространноството получаваме от три осовият дигитален компас на Honeywell HMC5883L. За определяне на височина се грижи барометърът на Measurement Specialties MS5611-01BA03.  [http://www.meas-spec.com/showImage.aspx?medsrc=/uploadedImages/Sensor_Types/Pressure/Products/MS5607_3_600.jpg](http://www.meas-spec.com/product/t_product.aspx?id=8503) mpu6000.png  Дигитален жироскоп – принцип на дейстие  [gyro axes](https://dlnmh9ip6v2uc.cloudfront.net/assets/9/9/3/f/b/5112d375ce395ff927000002.jpg)Жироскопът е устройство, което се използва за измерване на въртеливи джижения. Микроелектромеханичните(MEMS) жироскопи са малки, не скъпи сензори, който измерват ъглова скорост (скорост на въртене w,°/s – градуси в секунда) и могат да бъдат събрани в много малък корпус. Жироскопът се използва, за измерване на възникнала ротация от балансираната позиция, чрез който се подават електрически сигнали за компесиране на тази ротация.  Три осов МЕМС жироскоп подобен на илистрацията, може да измерва ротации и по трите оси: x, y и z. Жироскопите се използват при обекти които не се въртят много бързо. При полет на хеликоптер или самолет те ротират постепенно по няколко градуса. Усещайки тези ротации, жироскопът може да подаде сигнали и чрез тях полетът да бъде стабилизиран автоматично.  Сензорът в микроелектреомеханичното устройство е с размерите на косъм( между 1 и 100 микро метра). Когато жироскопът се завърти, малка тежест се измества. Това изместване се конвертира в много малки електрически сигнали и след това се усилва, за да може да бъде прочетено от процесора.  Важно уточнение, е че ускорението и линейната скорост не ефектират измерванията на жироскопът. Те измерват само ъглови отклонения. Ето защо в повече автоматични летателни апарати се използват устройства за измерване на инерционните сили, в който се екомбинират жироскоп и акселерометър.  Дигитален акселерометри – принципи на действие  Акселерометърът е устройство, което измерва ускорението, промяната на скоростта на даден обект. Измерва се в метри в секунда на квадрат m/s\*s или чрез силата на земното притегляне(G, g = 9,8 m/s\*s). те са електромеханични устройства, който засичат статични или динамични сили на ускорение. Статична сила е например земната гравитация, докато динамична може да бъде вибрация или движение. Акселерометрите, както и жиросопите могат да измерват ускорение в една, две или три оси. Три осовите такива стават все по поулярни заради намаляващата им цена.  Основно принципът им на действие е чрез капацитивна пластинки. Едната е фиксирана, докато другата е на миниатюрна пружинка. Пластината на пружинката се движи когато се появят сили на ускорение върху сензора и капацитетът между тях се променя. От тези промени може да се определи ускорението.  [alt text](https://dlnmh9ip6v2uc.cloudfront.net/assets/a/9/1/1/7/516daf84ce395f411e000001.gif)  Друг пример на действие с пиезоелектрически акселерометър  Инерционно измервателните устройства са такива, който комбинират в един корпус акселерометър, жироскоп и компас. В случаят на Ардукоптер, се изпозлва MPU-6000, който получава данни от дигиталния компас HoneywellXXXX и обработва самостоятелно данните без да затормозява централния процесор на системата.  6000-6050-diagram.png  МPU-6000 Инерционенно измервателено устройсво  MPU-6000 комбинира дигитални три осови жироскоп и акселерометър в един чип. В него е вграден и Digital Motion Processor, чрез който се изчиляват до 9-осови алгоритми. Чрез I2C комуникация се приемат данни от външния дигитален компас с точност 1° - 2° Honeywell HMC5883L, позволявайки на MPU-6000 да изчислява и идентифицира самостоятелно пространственото си в състоянието без намесата на основният процесор(АТмега 2560).  Обхвата на жироскопа е програмируем в съответсвие от нуждите на устройсвтото и може да приема стойности между ±250, ±500, ±1000, и ±2000°/сек (градуси в секунда). Акселеметърът съответно може да има обхват между ±2г, ±4г, ±8г, и ±16г.  MPU – 6000 освен I2C поддържа и SPI комуникация с честота до 20MHz и разполага с един VDD пин, на които са свързани референцията за логическите нива, аналоговото и цифровото захранване. Корпусът е СМД и смален до революционните размери от 4х4х0.9мм и се нуждае само от 3.8mA ток за да функционира.  The MS5611-01BA is a new generation of high resolution altimeter sensors from MEAS Switzerland with SPI and I²C bus interface. It is optimized for altimeters and variometers with an altitude resolution of 10 cm. The sensor module includes a high linearity pressure sensor and an ultra low power 24 bit ΔΣ ADC with internal factory calibrated coefficients. It provides a precise digital 24 Bit pressure and temperature value and different operation modes that allow the user to optimize for conversion speed and current consumption. A high resolution temperature output allows the implementation of an altimeter/thermometer function without any additional sensor. The MS5611-01BA can be interfaced to virtually any microcontroller. The communication protocol is simple, without the need of programming internal registers in the device. Small dimensions of only 5.0 mm x 3.0 mm and a height of only 1.0 mm allow for integration in mobile devices. This new sensor module generation is based on leading MEMS technology and latest benefits from MEAS Switzerland proven experience and know-how in high volume manufacturing of altimeter modules, which have been widely used for over a decade. The sensing principle employed leads to very low hysteresis and high stability of both pressure and temperature signal.  **Features:**   * High resolution module, 10cm * Low power, 1 μA (standby < 0.15 μA) * Integrated digital pressure sensor (24 bit ΔΣ ADC) * I²C and SPI interface up to 20 MHz * No external components (Internal oscillator)   **PWM**  The Fading example demonstrates the use of analog output (PWM) to fade an LED. It is available in the File->Sketchbook->Examples->Analog menu of the Arduino software.  Pulse Width Modulation, or PWM, is a technique for getting analog results with digital means. Digital control is used to create a square wave, a signal switched between on and off. This on-off pattern can simulate voltages in between full on (5 Volts) and off (0 Volts) by changing the portion of the time the signal spends on versus the time that the signal spends off. The duration of "on time" is called the pulse width. To get varying analog values, you change, or modulate, that pulse width. If you repeat this on-off pattern fast enough with an LED for example, the result is as if the signal is a steady voltage between 0 and 5v controlling the brightness of the LED. http://arduino.cc/en/uploads/Tutorial/pwm.gifIn the graphic below, the green lines represent a regular time period. This duration or period is the inverse of the PWM frequency. In other words, with Arduino's PWM frequency at about 500Hz, the green lines would measure 2 milliseconds each. A call to [analogWrite](http://arduino.cc/en/Reference/AnalogWrite)() is on a scale of 0 - 255, such that analogWrite(255) requests a 100% duty cycle (always on), and analogWrite(127) is a 50% duty cycle (on half the time) for example. Once you get this example running, grab your arduino and shake it back and forth. What you are doing here is essentially mapping time across the space. To our eyes, the movement blurs each LED blink into a line. As the LED fades in and out, those little lines will grow and shrink in length. Now you are seeing the pulse width. |

**Електрически компоненти на системата**

Принципна схема на електрическата част на трикоптер е даден на схемата:



Контрол на скоростта на моторите

The brushless motors we run in our modern r/c's are true three phase AC motors. (thus the three wires on the motor, one for each phase)  
  
ESC(electronic speed control)

The ESC is a trapezoidal wave generator. It produces 3 separate waves, one for each wire on the motor (i.e. it converts DC to 3 phase AC). Controlling the speed of the motor has nothing to do with voltage or amps, but instead the timing of the current fed into it. By increasing and decreasing the wave length (frequency) of the trapezoidal wave on the three phases, the ESC causes the motor to spin faster or slower.

Since the ESC controls the motor with frequency, not voltage, when you plug 22.2 volts of battery into your power system, you have 22.2 volts going to the motor with the full amperage potential of the batteries backing that voltage.  
  
The ESC switches polarity of the phases to create the waves. This means the voltage through any given winding flows "alternately" one direction, then the other. This creates a push/pull effect in the magnetic field of each winding making these motors very powerful for their size and weight.  
  
The motor, and load placed on it determines the amp draw from the ESC and batteries.

Теория на полета

row - ъгъл на крена (страничен наклон);   
pitch - ъгъл на тангажа;   
yaw - ъгъл на рискание.   
  
При описанието пространственото положение на летателният апарат използват няколко координатни системи - свързана, скоростна, траекторна, земна, нормална и др.   
Ъгълът на крен е ъгълът между напречната ос на летателният апарат (ЛА) OZ и нейната проекция върху нормалната координатна система OZg (координатна система, чиято ос OYg е насочена нагоре по местната вертикала)   
  
Ъгълът на тангаж е ъгълът между надлъжната ос на ЛА и хоризонталната плоскост. Не трябва да се бърка с ъгълът на атака, който е ъгълът между надлъжната ос на самолета и векторът на въздушната скорост.   
  
Рисканието (от руски - рыскание=лъкатушене) е отклонението на ЛА от някакво зададено направление на полета.

Контролер

Lot of controllers have been already developed for quadrotor system. In this chapter I am going to mention some of them and provide short summary.

***3.1 PID control***

(Bouabdallah et al. 2005) have used this controller to stabilize the attitude of the quadrotor around the hover position. The controller was designed using linearized model of the quadrotor in the hover trim point. The controller was developed using the nonlinear Simulink model and it was verified on the physical system. The resulting controller was able to stabilize the physical system within three seconds.The linearity of the controller constraints its use only around the hover trim point. Strong perturbation from this positions leads to loss of control. (Hoffmann et al. 2007) have used PID control for controlling attitude, altitude and position. Results were satisfactory, but the quadrotor has not performed any aggressive maneuvers and the disturbance rejection of the control system was not very good.

***3.2 LQR control***

(Castillo et al. 2005) have implemented this kind of controller. During simulation the controller has performed satisfactory. When strong perturbation was introduced the controller due to its linearity was not able to stabilize the system. On the physical model, this controller was not able to stabilize the system at all. (Bouabdallah et al. 2005) have implemented LQR controller using multiple trim points. Unfortunately they have not implemented the motor dynamics into the model. This lead to worse performance than their already mentioned PID controller.

Unfortunately it was not possible to implement more modern controllers such as the LQ optimal regulator or controllers synthesized using the H∞ minimization. This lead to pure proportional controllers' design. It was very interesting to see that even those very simple controllers are able to stabilize and even provide robust performance when a suitable architecture is chosen. The comparison between LQ and P regulator was carried out and evaluated. The LQR provides faster and smoother response but the difference is not dramatic.

Then more advanced control algorithms can be implemented as well, such as already mentioned LQR and H∞ minimization or model predictive control (MPC) algorithm as a higher level control and planning platform. This algorithm can use the already developed inner loops as a low level control interface providing optimal control therefore lowering the power consumption and improving the performance.