

Produktbeskrivning

Quadrokooper



Titel: Produktbeskrivning (Quadrokooper)	Version: 1.1	KTH
Av: Rikard Israelsson, Filip Jambor, Ignace Flavien Owona, Nathan Manzi, Aristides Granado Bazaes, Harold Torrico	Datum: 12/12-2012	1 av 19

Innehållsförteckning

[Specifikationer](#)

[Bruksanvisning](#)

[Säkerhet](#)

[Att starta och flyga quadrokoptern](#)

[Quadrokopterns delar](#)

[Skelett](#)

[Motorer](#)

[Propellrar](#)

[Fartreglage \(ESC\)](#)

[LiPo-Batteri](#)

[Laddare](#)

[Fjärrkontroll](#)

[Radiomottagare](#)

[Processorkort](#)

[Sensorkort](#)

[Accelerometer](#)

[Gyroskop](#)

[Kommunikation](#)

[Konstruktion](#)

[Mjukvara](#)

[Mottagning av radiosignalerna](#)

[Kombination av kanalerna](#)

[Skicka signalerna till motorerna](#)

[Beräkning av flygtid](#)

[Möjligheter till vidareutveckling](#)

[Gyroskop och accelerometer](#)

[Radiokanaler](#)

[Extra sensorer](#)

[Kamera](#)

[Referenslista](#)

Titel: Produktbeskrivning (Quadrokopter)	Version: 1.1	KTH
Av: Rikard Israelsson, Filip Jambor, Ignace Flavien Owona, Nathan Manzi, Aristides Granado Bazaes, Harold Torrico	Datum: 12/12-2012	2 av 19

Specifikationer

- Storlek: 65 x 68 x 10 (längd x bredd x höjd)
- Vikt: 1.1 kg
- Pris: ca 5500kr (material och komponenter)
- Flygtid per laddning (maxhastighet): ca 6 minuter
- Flygtid per laddning (mellanhastighet): ca 18 minuter
- Maxlast: 1.3 kg

Konfiguration:

- 7-kanaligt 2.4GHz radiosystem
- 4 st. borstlösa motorer á 800 kv
- Li-Poly batteri: 11.1 V 4000 mAh
- 4 st. servon/fartreglage
- 4 st. propellrar med 25.6 cm diameter

Bruksanvisning

Säkerhet

Produkten är **ej färdigbyggd** vilket gör den farlig och instabil

- Eftersom sensorer inte är implementerade i programvaran kan quadrokopter inte hålla balansen och **bör inte flygas**
- Vid eventuell testflygning bör stort utrymme tillägnas quadrokoptern. Ojämna spakrörelser på fjärrkontrollen kan få quadrokoptern att slå runt eller förflytta sig oväntat.
- Se till att ha kontakt mellan fjärrkontroll och radiomottagaren. Vid bruten radiokontakt finns inget system som bibehåller quadrokopterns balans och position vid flygning och den kommer att krascha.

Allmänna säkerhetsåtgärder:

- Håll fingrar borta från quadrokoptern vid aktivt läge. Propellrarna roterar i hög hastighet och kan orsaka samt erhålla skada.
- Batteriet är av typen Li-Poly och kräver att speciella säkerhetsåtgärder följs. Läs batteriets och laddarens manual och följ instruktionerna noggrant.

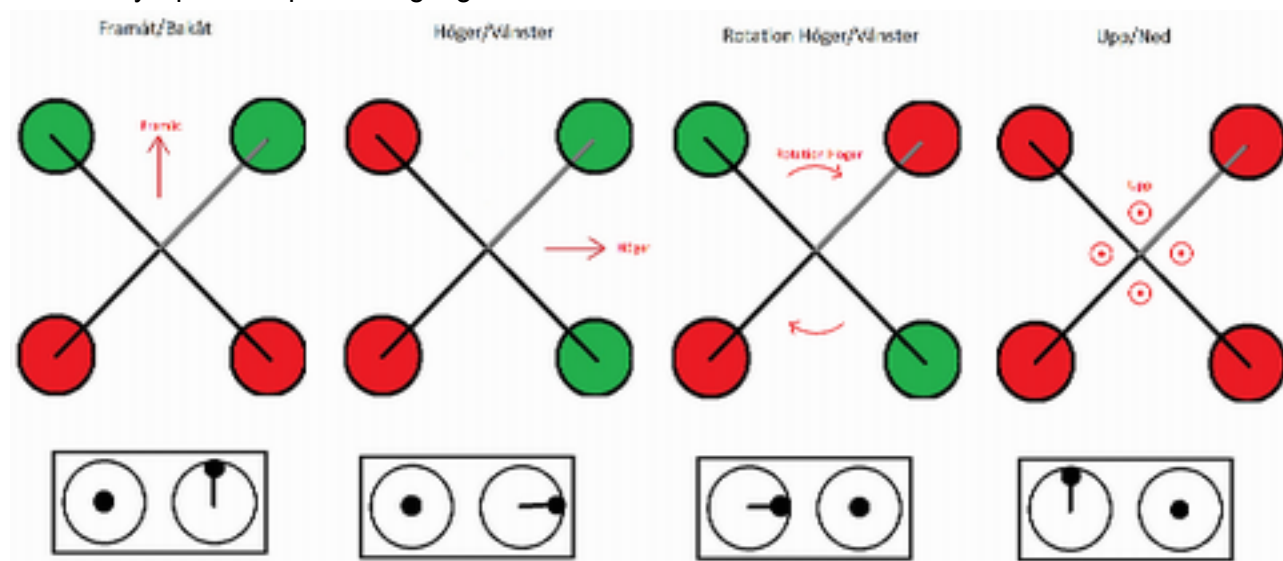
Titel: Produktbeskrivning (Quadrokopter)	Version: 1.1	KTH
Av: Rikard Israelsson, Filip Jambor, Ignace Flavien Owona, Nathan Manzi, Aristides Granado Bazaes, Harold Torrico	Datum: 12/12-2012	3 av 19

Att starta och flyga quadrokoptern



Figur 1. Fjärrkontrollens spakar

1. När fjärrkontrollen är påslagen ska quadrokopter standby (TIMER GEAR/ELE FLAP, se figur 1) vara i läge 2 vilket betyder att quadrokoptern är i inaktivt läge. Fjärrkontrollen kan även sättas på i efterhand.
2. Slut kontakten till batteriet genom att ansluta "banan"-kontakten. Motorerna kommer att pipa först en gång för att indikera att spänningen nått fram och sedan tre gånger snabbt för att indikera att quadrokoptern är redo att flygas.
3. Se till att spak 1 är i bottenläge och sätt knappen "TIMER GEAR/ELE FLAP" i läge 0 eller 1 (ingen skillnad)
4. Styr quadrokoptern enligt figur 2



Figur 2. Styrning med fjärrkontrollen

Titel: Produktbeskrivning (Quadrokopter)	Version: 1.1	KTH
Av: Rikard Israelsson, Filip Jambor, Ignace Flavien Owona, Nathan Manzi, Aristides Granado Bazaes, Harold Torrico	Datum: 12/12-2012	4 av 19

Quadrokopterns delar

 <p>Skelett</p>	 <p>Motorer</p>	 <p>Propellrar</p>	 <p>Fartreglage</p>
 <p>Batteri</p>	 <p>Batteriladdare</p>	 <p>Fjärrkontroll</p>	 <p>Radiomottagare</p>
 <p>Processorkort</p>	 <p>Sensorkort</p>		

Skelett

Modell: Quadcopter Y600-4

Finns att köpa på: www.rcflight.se

Material: glasfiber/aluminium

Vikt: 310 g

Antal armar: 4

Motorer

Modell: Tiger Motors MT2216 800 kv Coptermotor

Finns att köpa på: www.rcflight.se

Titel: Produktbeskrivning (Quadrocopter)	Version: 1.1	KTH
Av: Rikard Israelsson, Filip Jambor, Ignace Flavien Owona, Nathan Manzi, Aristides Granado Bazaes, Harold Torrico	Datum: 12/12-2012	5 av 19

Antal: 4
Vikt /st: 75 g
KV: 800 k (varv/minut vid 1V utan last)
Max Amp kontinuerligt: 17 A
Spänning: 7.4 - 14.8 V

Motorerna är borstlösa vilket innebär att permanentmagneten är roterande och spolarna sitter i statorn. Borstlösa motorer har flera fördelar gentemot vanliga DC-motorer, de är bland annat lättare med bättre vridmoment, högre effektivitet, ökad tillförlitlighet och tystare gång. [1]

Propellrar

Modell: APC SlowFlyer 10x4.7
Finns att köpa på: www.rcflight.se
Antal: 4, varav två har motsatt vinkel (två pushers och två pullers)
Storlek: 10x4.7

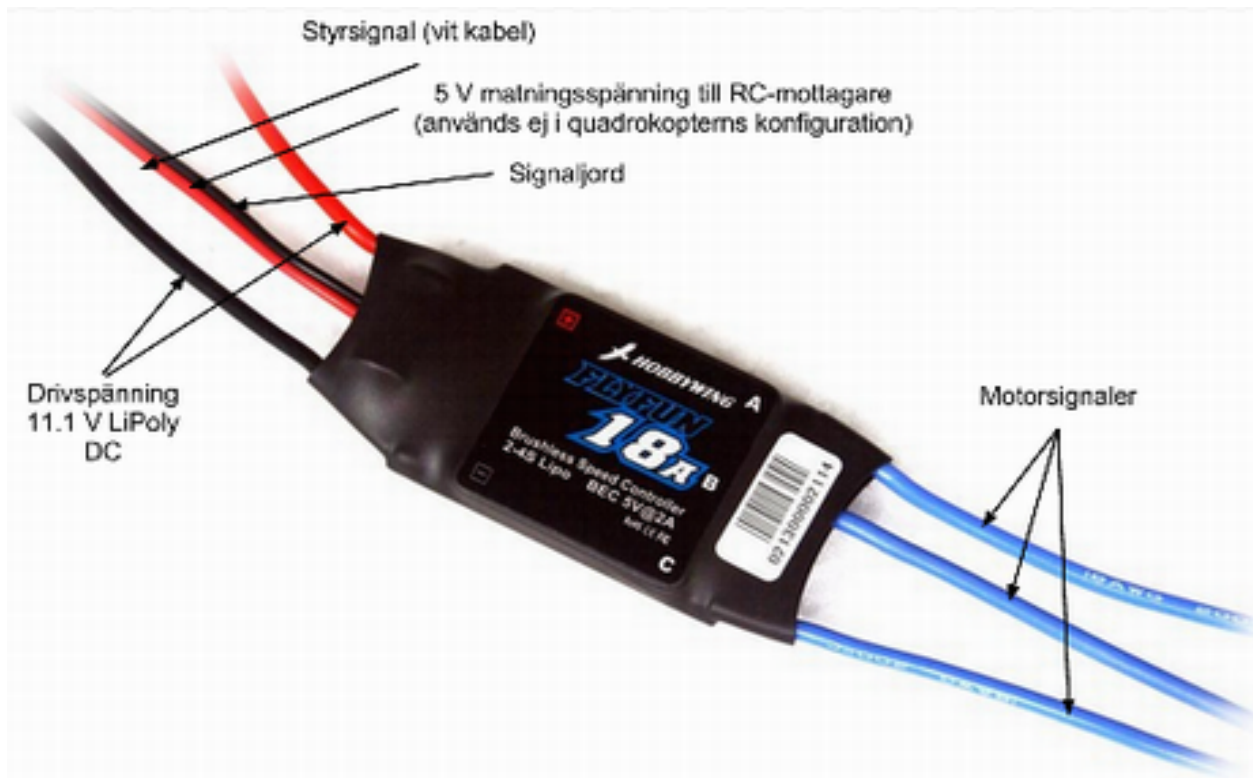
Propellrarna har motsatt rotationsriktning för att förhindra ofrivillig rotation kring quadrokopterns z-axel. För att samtliga propellrar ska lyfta quadrokoptern har de olika vinkling.

Fartreglage (ESC)

Modell: HobbyWing Flyfun 18A
Finns att köpa på: www.rcflight.se
Antal: 4
Max Amp kontinuerligt: 18 A
Spänning: 11 V
Vikt /st: 19 g

ESC (Electronic Speed Controller) har uppgiften att reglera tillförd spänning till motorer med hjälp av pulsbreddsmodulerade signaler. Drivspänningen 11.1 V DC kommer från ett LiPo-batteri genom de grövre röda och svarta sladdarna och vidarebefodras reglerade till 5 V genom de tunnare röda och svarta sladdarna (se figur 3). 5 V-spänningen används inte i quadrokoptern då denna ska kunna användas till att driva en direktkopplad radiomottagare. Signalen som skickas genom den vita sladden kommer i quadrokoptern från styrenheten.

Titel: Produktbeskrivning (Quadrokopter)	Version: 1.1	KTH
Av: Rikard Israelsson, Filip Jambor, Ignace Flavien Owona, Nathan Manzi, Aristides Granado Bazaes, Harold Torrico	Datum: 12/12-2012	6 av 19



Figur 3. Fartreglagets anslutningar.

Fartreglagen har ett tonsystem som finns för att upplysa om dess status. Till exempel ger de en ton när spänning kopplas in, tre snabba toner snabbt när allt är ok och upprepade toner med längre intervall när motorena har felaktig spänning. Se fartreglagets datablad för mer information.

LiPo-Batteri

Modell: Gravity

Finns att köpa på: www.rcflight.se

Spänning: 11.1 V 3 cell

Kapacitet: 4000 mAh

Storlek: 28 x 44 x 138 mm

Vikt: 329 g.

Amp: 30 C kontinuerligt, 40 C burst!

Laddning : 5 C

Kontakter: JST-XH Balansering

LiPo-batterier passar bra när man behöver hög effekt och låg vikt. De består av celler som grupperas i serie och/eller parallellt för att få nödvändig spänning och strömstyrka [3]. De är dock otillräkneliga och kan vid felaktig användning orsaka brand och andra skador. Läs batteriets datablad före

Titel: Produktbeskrivning (Quadrokopter)	Version: 1.1	KTH
Av: Rikard Israelsson, Filip Jambor, Ignace Flavien Owona, Nathan Manzi, Aristides Granado Bazaes, Harold Torrico	Datum: 12/12-2012	7 av 19

användning.

Laddare

Modell: ACME Multiladdare 680DC 80W 6 A

Kompatibla batterityper: Lipo/Li-ion/LiFe 1-6 celler, NiMh 1-15 celler

Inspänning: DC 11-18 V

Inström: < 6 A

Effekt: 80W

Funktioner för att automatiskt reglera laddning

Storlek: 130 x 85 x 26 mm

Medföljer: Laddkablage, balanseringsuttag JST-XH 2-6 celler i extern kabel

Fjärrkontroll

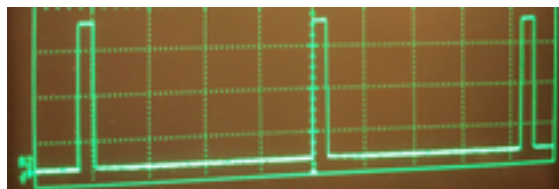
Modell: WFly WFT07

Finns att köpa på: www.rcflight.se

Frekvens: 2.4 GHz

Drivspänning: 4 st AA-batterier

Fjärrkontrollen skickar pulsbreddsmodulerade signaler till radiomottagaren. Pulsbredden varierar mellan 1 och 2 ms med ett på/av-förhållande på ca 10 %, se figur 4. Orsaken till det låga på/av-förhållandet är att information om olika spakrörelser ska kunna skickas komprimerat om radiomottagaren kopplas direkt till fartreglagen och programmeras i fjärrkontrollen. I vårt fall använder vi inte denna komprimering utan skickar signalerna över var sin kanal. Färförskjutningarna finns dock kvar och gör att vi inte kan använda det hårdvarustöd för PWM-signaler som finns på microcontrollern (se [Programvara](#) för mer info).



Figur 4. PWM-signal genererad av fjärrkontrollen

För att fjärrkontrollen ska fungera med quadrokoptern ska den vara inställd på flygplansläge. Då används de sju kanalerna enligt tabell 1.

Kanal	Spak	Riktning	Pulsbredd
1	2	höger - vänster	1 - 2 ms

Titel: Produktbeskrivning (Quadrokopter)	Version: 1.1	KTH
Av: Rikard Israelsson, Filip Jambor, Ignace Flavien Owona, Nathan Manzi, Aristides Granado Bazaes, Harold Torrico	Datum: 12/12-2012	8 av 19

2	1	upp - ned	2 - 1 ms
3	2	upp - ned	2 - 1 ms
4	1	höger - vänster	1 - 2 ms
5	Quadrocopter standby	0 - 1 - 2	1.75 - 1.75 - 1.25 ms
6	Ratt	medurs/moturs	2 - 1 ms
7	TRAIN CH7	på - av	1 - 2 ms

Tabell 1. Pulsbredder genererade av fjärrkontrollen vid olika spakrörelser.

Radiomottagare

Modell: WFly WFR07S

Finns att köpa på: www.rcflight.se (samma paket som fjärrkontrollen)

Frekvens: 2.4 GHz

Drivspänning: 5 V

Utspanning: 3.3 V

Radiomottagarens uppgift är att ta emot fjärrkontrollens signaler via en antenn och skicka dem vidare till microcontrollern. Mottagaren är kompatibel med Fartreglagen HobbyWing Flyfun 18A och kan användas tillsammans med dem via en direktanslutning varifrån mottagaren dessutom får sin spänning. I quadrocoptern skickas signalerna dock till microcontrollern och extern ström är därför ett måste.

Processorkort

Designat av Mikael Källberg [4]

Rekommenderad drivspänning: 11.1 V

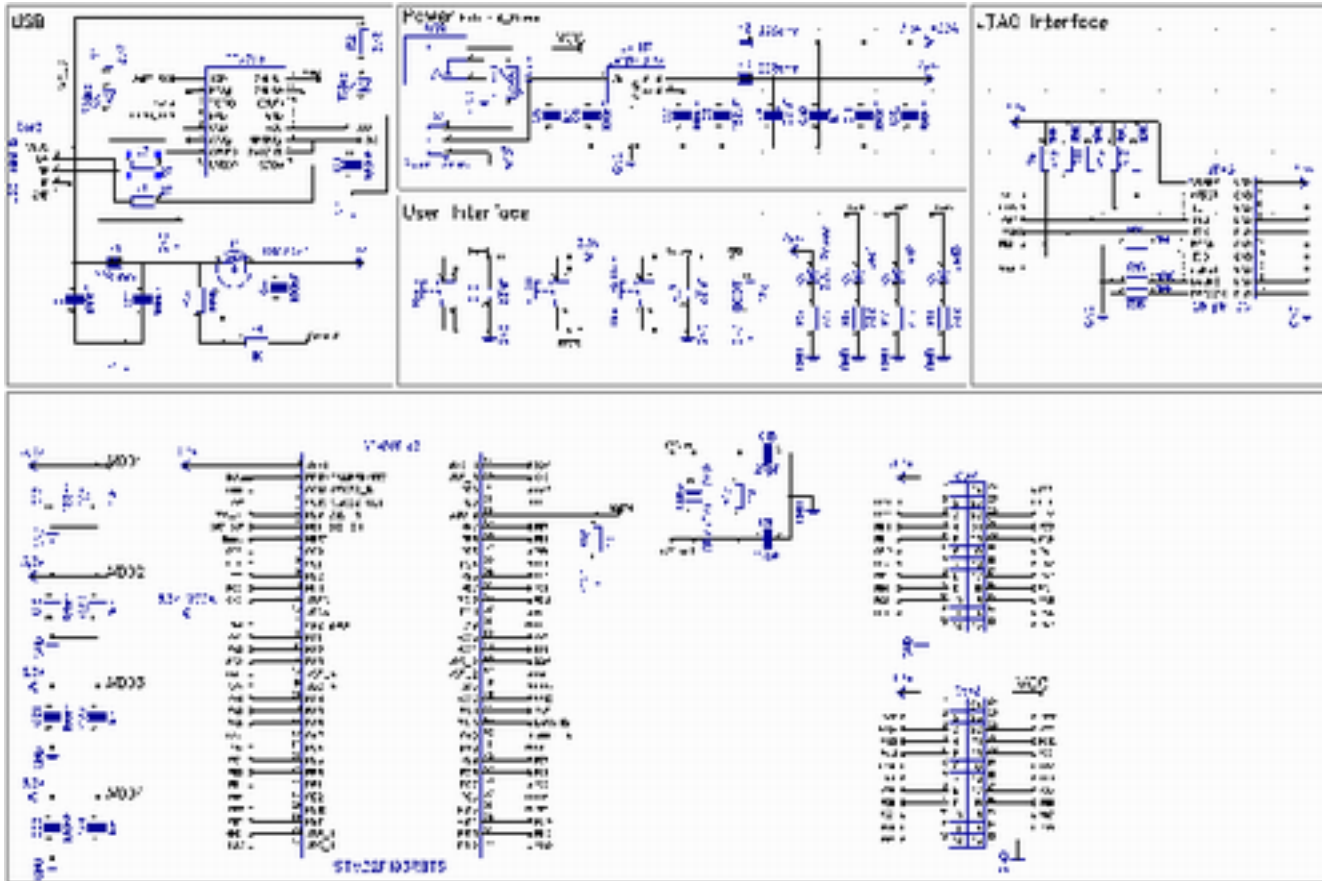
Maximal drivspänning: 20 V

Micronroller: STM32F103RE

Microkontrollern programmeras med JTAG (ej usb) och behöver då separat spänning via DC-jacket.

Portar som varken används av processorkortet eller sensor kortet och alltså är lediga är PB14, PB13, PB12, PB11, PB10, PB1, PC3, PA4, PA7, PA12, PB15, PC10, PC11, PC12, PD2, PB5, PB6, PB7 och PB8

Titel: Produktbeskrivning (Quadrocopter)	Version: 1.1	KTH
Av: Rikard Israelsson, Filip Jambor, Ignace Flavien Owona, Nathan Manzi, Aristides Granado Bazaes, Harold Torrico	Datum: 12/12-2012	9 av 19



Figur 5. Kretschemata för processorkortet

Sensorkort

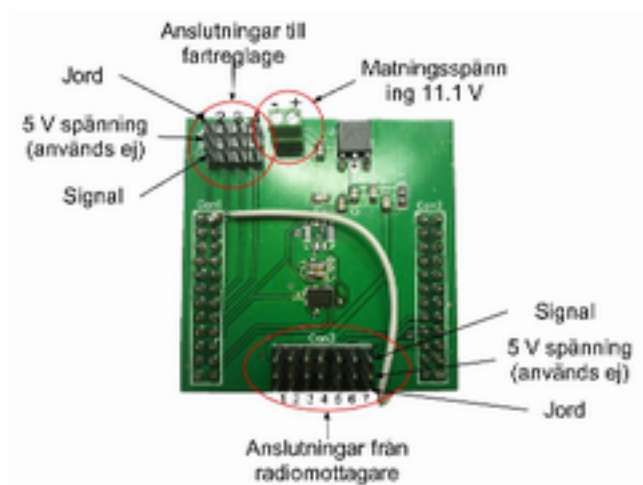
Egendesignt

Rekommenderad drivspänning: 11.1 V

Maximal drivspänning: 20 V

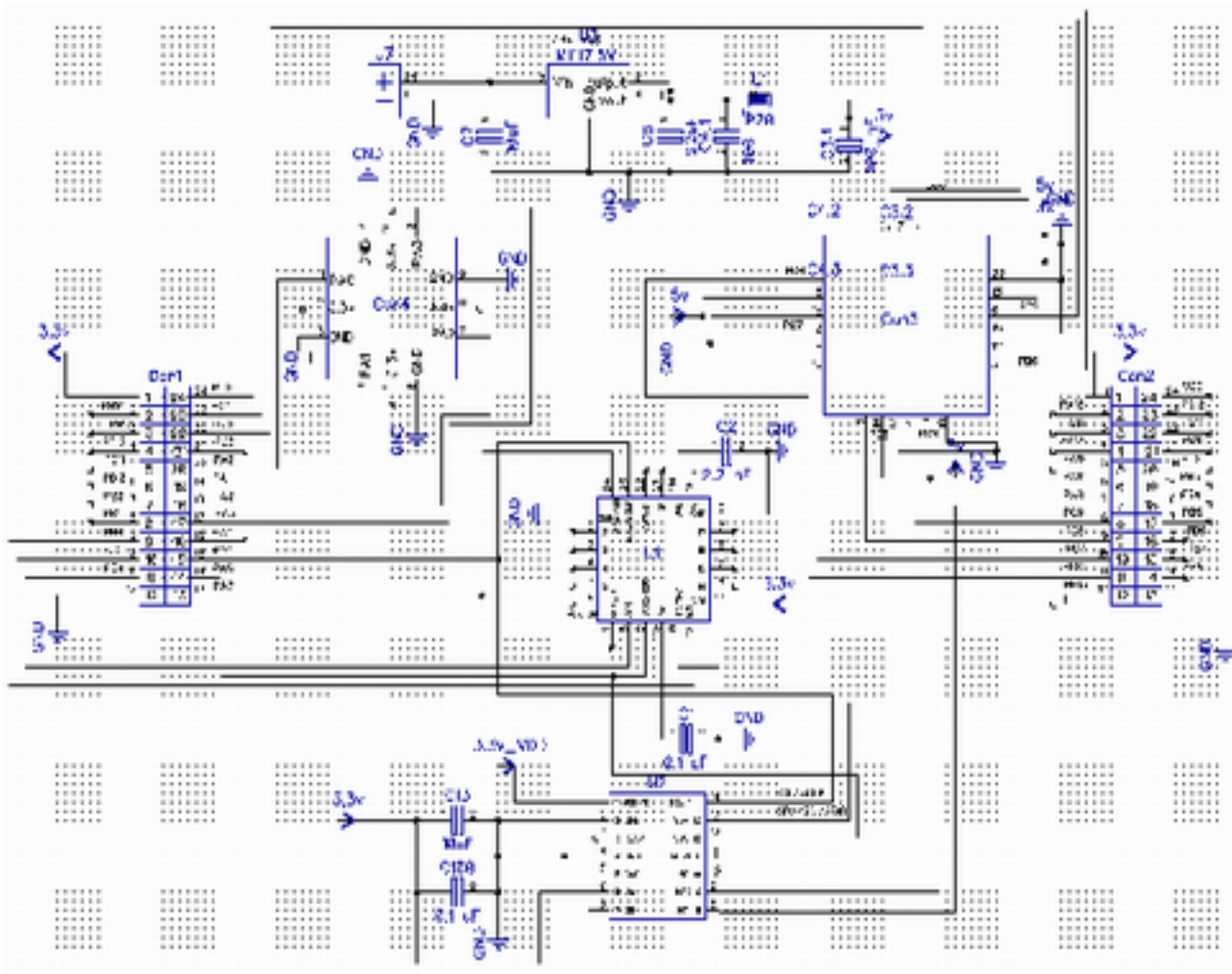
Accelerometer: ADXL345

Gyroskop: MPU-3300



Figur 6. Sensorkortets anslutningar

Titel: Produktbeskrivning (Quadrokofter)	Version: 1.1	KTH
Av: Rikard Israelsson, Filip Jambor, Ignace Flavien Owona, Nathan Manzi, Aristides Granado Bazaes, Harold Torrico	Datum: 12/12-2012	10 av 19



Figur 7. Krettschema för sensorkortet

Accelerometer

- Modell: Analog Devices ADXL345
- Finns att köpa på: www.farnell.com
- Antal axlar: 3
- Komponenttyp: LGA (ben på undersidan)
- Upplösning: 13 bitar per axel
- Känslighet per axel: 256 LSB / g
- Accelerationsområde: +- 2g, +- 4g, +- 8g, +- 16g
- Arbetsfrkvens: 1 Hz till 5 kHz
- Buss: (I2C), SPI
- Pris: 60 kr

Titel: Produktbeskrivning (Quadrokopter)	Version: 1.1	KTH
Av: Rikard Israelsson, Filip Jambor, Ignace Flavien Owona, Nathan Manzi, Aristides Granado Bazaes, Harold Torrico	Datum: 12/12-2012	11 av 19

Accelerometerns uppgift är att mäta hastighetsförändring på quadcoptern i x,y och z led och används tillsammans med gyroskopet för att bestämma quadcopterns lutning.

Gyroskop

Modell: MPU-3300

Finns att köpa på: www.farnell.com

Antal axlar: 3

Komponenttyp: QFN (ben på undersidan)

“Bias instability” per axel: 15 grader / timme

ADC: 16 bitars

Buss: (I2C), SPI

Pris: 881 kr

Gyroskopet uppgift är att mäta quadcopterns lutning. Syftet med ett så dyrt gyroskop är att det har en vinkelavvikelse på endast 15 grader per timme och axel. 15 grader / timme är ett bra värde och nödvändigt i en konstruktion som denna. På billigare gyroskop finns “bias instability” ofta inte specificerat vilket kan bero på att värdet är mycket högt. Ett billigare gyroskop skulle kunna användas till quadrokoptern men det skulle försvåra programmeringen avsevärt.

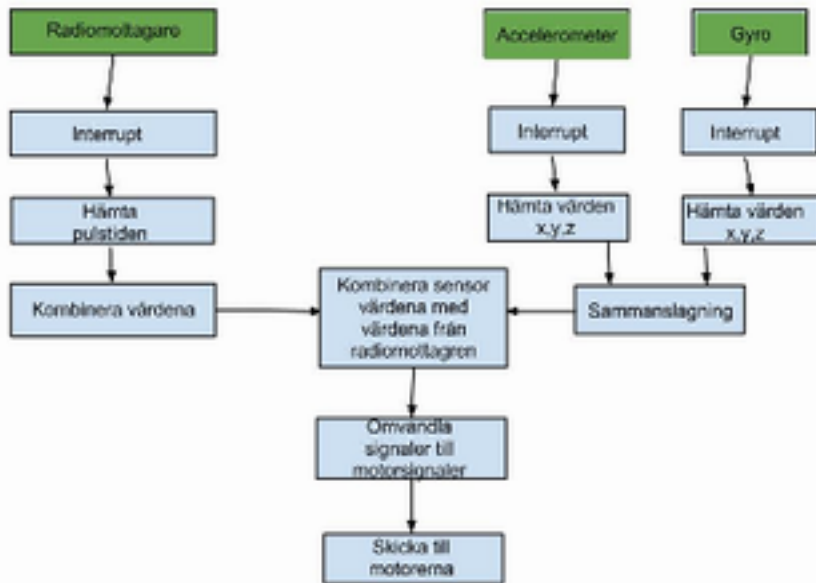
Kommunikation

Gyroskopet och accelerometern kommunicerar med microcontrollern via SPI. SPI är snabbare än den alternativa kommunikationslänken I2C och mer tillförlitlig, dessutom är implementeringen med microchippet STM32F103RE enklare eftersom dess drivrutinerna till I2C inte följer bussens standardprotokoll.

Konstruktion

Quadrokoptern är uppbyggd kring microchippet STM32F103RE som tar emot signaler från sensorer och radiomottagare (som i sin tur tar emot signaler från en radiosändare). Signalerna behandlas och kombineras med programvara skriven i C-kod och skickas via separata fartreglage till motorerna. Ett 11.1 V batteri driver systemet och spänningen anpassas i diverse regulatorer för att fungera med de olika komponenterna. Arkitekturen illustreras i figur 8.

Titel: Produktbeskrivning (Quadrokopter)	Version: 1.1	KTH
Av: Rikard Israelsson, Filip Jambor, Ignace Flavien Owona, Nathan Manzi, Aristides Granado Bazaes, Harold Torrico	Datum: 12/12-2012	12 av 19



Figur 9. Mjukvarubeskrivande arkitektur

All mottagningen av data på microcontrollern är interrupt-baserad. När radiosignalerna tas emot beräknas pulslängden. Sensorernas data tas emot och kombineras för att ge ett värde på lutningen av quadcoptern. Pulslängden på de sju kanalerna kombineras sedan med lutningen på quadcoptern till fyra PWM-signaler som skickas ut till de fyra motorerna. I den nuvarande mjukvaran är sensordelen och två av de sju insignalerna från radiomottagaren inte implementerade.

Mottagning av radiosignalerna

Radiomottagare	Microcontroller
Kanal 1	PC6
Kanal 2	PC7
Kanal 3	PC8
Kanal 4	PC9
Kanal 5	PC0

Titel: Produktbeskrivning (Quadrocopter)	Version: 1.1	KTH
Av: Rikard Israelsson, Filip Jambor, Ignace Flavien Owona, Nathan Manzi, Aristides Granado Bazaes, Harold Torrico	Datum: 12/12-2012	14 av 19

Kanal 6	PC1 (Ej implementerad)
Kanal 7	PC2 (Ej implementerad)

Tabell 2. Kopplingen mellan radiomottagarens kanaler och microcontrollern

På microcontrollerns timrar finns stöd för generera PWM-signaler. Det kan dock inte användas med radiomottagarens signaler då de olika kanalerna inte har en gemensam hög flank, vilket är ett krav för funktionen. Mjukvaran för mottagning av signalerna är därför implementerad på nedanstående sätt.

För att beräkna pulslängden används timer 4. Inputpinnarna är kopplade till EXTI-linjer (external interrupt) och är inställda att generera interrupts på både hög och låg flank. Eftersom det inte finns något stöd för att se vilken flank interruptet skedde på måste pinstatusen läsas av i interruptrutinen med `GPIO_ReadInputDataBit()` som finns definierad i GPIO-drivrutinen. Om pinnen är hög vid denna avläsning så har interruptet skett vid hög flank annars vid låg. Pulslängden beräknas utifrån de två timervärdena. För att förhindra att timern nollställs två gånger mellan hög och låg flank, vilket medför att det blir omöjligt att avgöra om interruptet skedde på hög eller låg flank, har periodtiden för insignalerna minskats till 50% på fjärrkontrollen. Pulslängden anpassas till ett värde mellan -500 och 500 för att förenkla beräkningarna vid kombination av signalerna.

Kombination av kanalerna

Signalerna till varje motor ska bero på läget av samtliga spakar, därför har varje motor en styralgoritm som är en funktion av samtliga kanaler. Dessa signaler är dessutom justerade för önskad känslighet och starttidpunkt för att kompensera för ojämnheter i quadrokopterns motorkraft. Ett hjälpverktyg för att skapa och redigera styralgoritmerna finns tillgänglig i [Mathematica](#). Där kan motorsignalerna testas på ett enkelt sätt med hjälp av dynamiska reglage.

Skicka signalerna till motorerna

För att generera signalerna till motorerna används samtliga fyra kanaler på timer 5 som har hårdvarustad för PWM-signaler, timern måste då konfigureras i PWM-läge. Pulsbredden ändras genom att skriva till registerna för de olika kanalerna. Pinnarna som används visas i tabell 3.

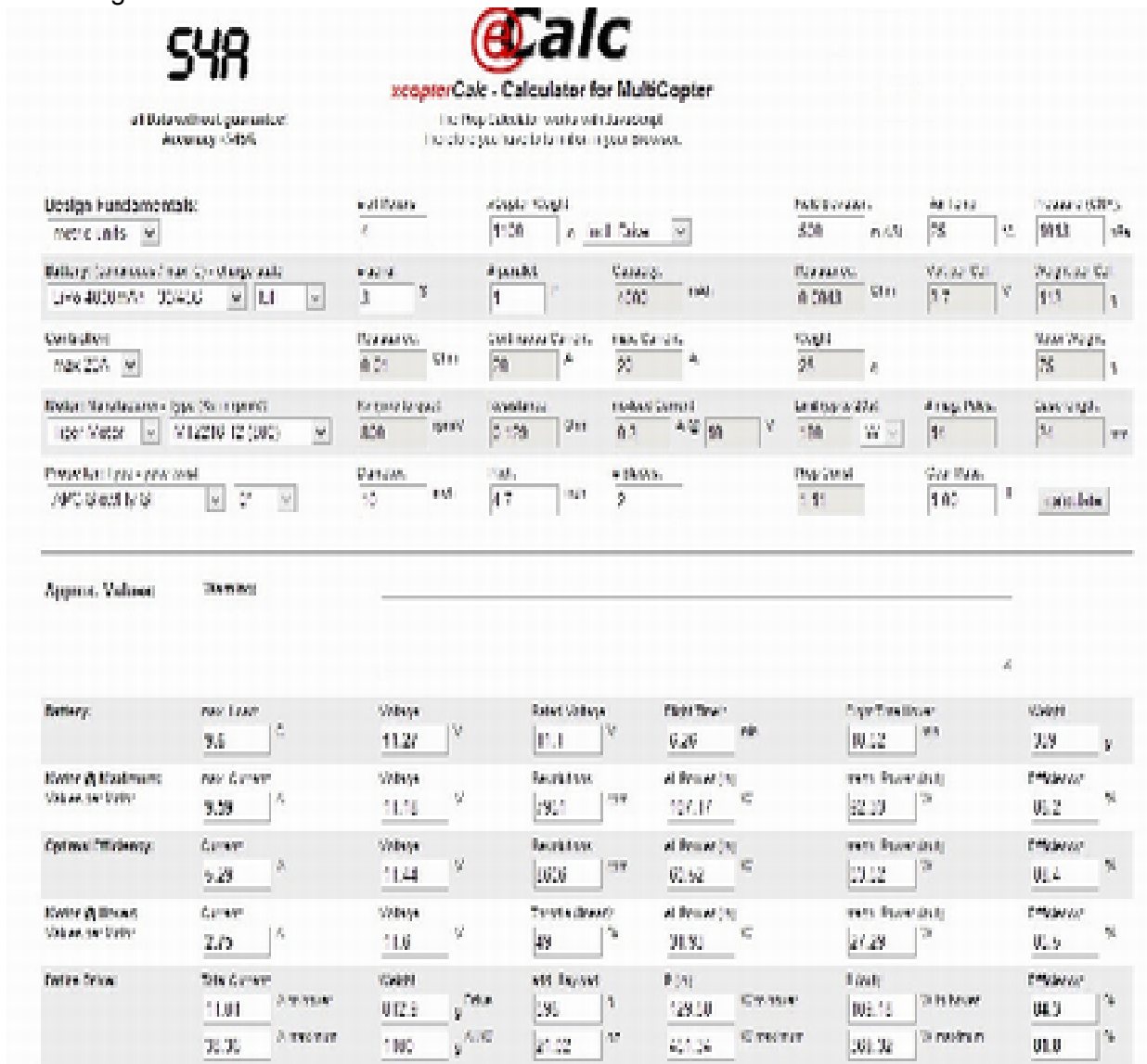
Pinne:	Funktion:	Motor:
PA0	TIM5_CH1	1
PA1	TIM5_CH2	2
PA2	TIM5_CH3	3
PA3	TIM5_CH4	4

Titel: Produktbeskrivning (Quadrokopter)	Version: 1.1	KTH
Av: Rikard Israelsson, Filip Jambor, Ignace Flavien Owona, Nathan Manzi, Aristides Granado Bazaes, Harold Torrico	Datum: 12/12-2012	15 av 19

Tabell 3. Kopplingen mellan microcontrollern och motorerna

Beräkning av flygtid

För att försäkra oss om att quadrokoptern kan lyfta och för att beräkna dess flygtid har vi använt webbkalkulatoren xcopterCalc [2] som är till för just den typen av beräkningar. Figur 4 visar denna beräkning.



Figur 4 Flygtid beräknad med xcopterCalc [2]

Slutsats:

Titel: Produktbeskrivning (Quadrokopter)	Version: 1.1	KTH
Av: Rikard Israelsson, Filip Jambor, Ignace Flavien Owona, Nathan Manzi, Aristides Granado Bazaes, Harold Torrico	Datum: 12/12-2012	16 av 19

- Flygtid per laddning (maxhastighet): ca 6 minuter
- Flygtid per laddning (mellanhastighet): ca 18 minuter
- Maxlast 1.3 kg

Möjligheter till vidareutveckling

Gyroskop och accelerometer

På sensorkortet finns plats för gyroskopet MPU-3300 samt accelerometern ADXL345. Ledningarna på mönsterkortet är dragna till microchippet enligt tabell 4 och 5.

SDA/SDI	PA7
SCL/SCLK	PA5
INT	PB0
AD0/SDO	PA6
/CS	PC4

Tabell 4. Gyroskopets koppling till microchippet

SCL	PA5
SDA	PA7
SDO	PA6
INT2	PA11
INT1	PA8
CS	PC5

Tabell 5. Accelerometerns koppling till microchippet

Radiokanaler

Radiosändare/mottagare har stöd för sju kanaler, likaså har sensorkortet plats för sju RC-mottagarkontakter. I programvaran har dock endast fem kanaler implementerats så det finns alltså möjlighet att bygga ut med två extra, nämligen kanal sex och sju. Programvaran för dessa kanaler byggs på samma sätt.

Titel: Produktbeskrivning (Quadrokofter)	Version: 1.1	KTH
Av: Rikard Israelsson, Filip Jambor, Ignace Flavien Owona, Nathan Manzi, Aristides Granado Bazaes, Harold Torrico	Datum: 12/12-2012	17 av 19

Extra sensorer

På de portar som inte används (se [Processorkort](#)) kan ytterligare sensorer kopplas in, förslagsvis genom att ändra och ge plats åt dem på senorkortet. Exempel på sensorer som skulle kunna komma till nytta är:

- Lufttrycksmätare eller ultraljudsensor som registrerar quadrokopterns höjd från marken och använder det för att till exempel låsa quadrokoptern i en bestämd höjd.
- GPS och/eller magnetometer för att hålla koll på var quadrokoptern befinner sig. Man skulle till exempel kunna programmera in rutter som quadrokoptern ska följa.

Med hjälp av diverse sensorer skulle man kunna programmera quadrokoptern till att utföra speciella manövrar som att landa vid en viss geografisk punkt (kan bland annat användas för att undvika krasch vid bruten radiokommunikation) eller att göra loopar.

Kamera

För en förhöjd förarupplevelse och/eller dokumentation skulle en kamera kunna monteras på quadrokoptern. Då behövs en annan form av trådlös kommunikation (annat än RC) som har stöd för högupplöst video. Exempelvis skulle kameran kunna kopplas till en WIFI-modul som sänder videon till en dator.

Titel: Produktbeskrivning (Quadrokopter)	Version: 1.1	KTH
Av: Rikard Israelsson, Filip Jambor, Ignace Flavien Owona, Nathan Manzi, Aristides Granado Bazaes, Harold Torrico	Datum: 12/12-2012	18 av 19

Referenslista

- [1] http://www.rcflight.se/modellflyg/motor_fartreglage.aspx, RCFlight
- [2] http://www.ecalc.ch/xcoptercalc_e.htm, Ecalc
- [3] <http://www.rcflight.se/modellflyg/guide.aspx>, RCFlight
- [4] Mikael Källberg, student på KTH.

Titel: Produktbeskrivning (Quadrokofter)	Version: 1.1	KTH
Av: Rikard Israelsson, Filip Jambor, Ignace Flavien Owona, Nathan Manzi, Aristides Granado Bazaes, Harold Torrico	Datum: 12/12-2012	19 av 19