

FRTM01 Examensarbete i Reglerteknik:

# Autonom och exakt landning av en obemannad luftfarkost

Simon Ågren [simon.agren@gmail.com](mailto:simon.agren@gmail.com)  
Louise Tylstedt [louise.tylstedt@gmail.com](mailto:louise.tylstedt@gmail.com)

I samarbete med larm-företaget Verisure behandlar denna studie konceptet av en obemannad luftfarkost som en del av ett larmsystem. Mer specifikt fokuserar studien på ett av de första delproblemen i realiseringen av en autonom drönare i hemmet, nämligen start, landning och laddning. Lösningen baseras på drönaren Crazyflie, datorseende med ArUco-markörer och en 3D-printad basstation. Konceptet resulterade i en genomsnittlig exakthet i landningen på ca 11.2 mm i radiellt avstånd från en referenspunkt och ett vinkelfel på 0.97 grader från en referensvinkel. Studien anses lyckad med avseende på en bra reglering som resulterade i en exakt landning.

## INTRODUKTION

I takt med att obemannade luftfarkoster utvecklas blir även våra hem smartare och mer uppkopplade. Även hemlarmsbranschen anpassar sina produkter till den senaste tekniken med kameror och andra lösningar. Dock kan det kännas som ett intrång på integriteten med kameror i hemmet. En alternativ lösning hade kunnat vara en mobil kamera som, vid ett larm, rör sig mot rummet där larmet utlösts för att undersöka orsaken. En sådan mobil lösning kan, till exempel, implementeras på en obemannad luftfarkost anpassad för inomhusnavigering. Detta är temat för examensarbetet [1].

Bitcraze AB utvecklar en mini-drönare kallad Crazyflie, se figur 1, och erbjuder även en väldokumenterad utvecklingsplattform med öppen tillgång till mjukvara och hårdvara. Denna obemannade luftfarkosten passar sig väl för bruk inomhus och med de verktyg som Bitcraze erbjuder lämpar den sig för denna studie.

## DET VALDA KONCEPTET

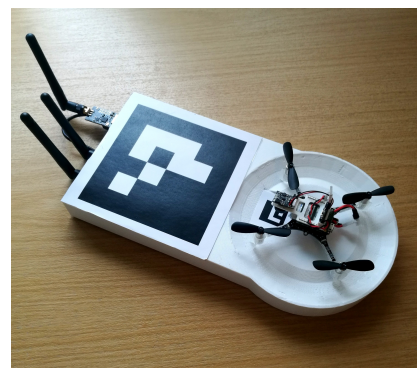
För att kunna landa precist måste drönaren ha en uppfattning om sin position och orientering relativt landningsplatsen. Med hjälp av ArUco-markörer och datorseende kan detta uppskattas. ArUco-markörer liknar QR-koder och kan ses i figur 2, där den inre matrisen visar vilket ID-nummer markören har. Med datorseende kan de fyra hörnen av markören identifieras och markörens ID avläsas, därefter kan kamerans position och orientering relativt markören uppskattas. Den här tekniken kräver förstås att en kamera monteras på drönaren och därför har drönaren i denna studie utrustats med en liten kamera riktad nedåt.

När drönaren inte flyger behöver den vara redo för avfärd, placerad upprätt och gärna med fulladdat batteri. Därför är



**Figur 1:** Mini-drönaren Crazyflie från Bitcraze AB, här med en kamera och en videosändare monterade. Drönaren mäter 9,2 cm från motor till motor.

även en basstation en del av konceptet. Basstationen som designades kan ses i figur 2. Denna station är designad för att innehålla en mindre dator för reglering av drönaren, till exempel en Raspberry Pi, och en induktiv, trådlös laddare. Den är även utformad för att passivt hjälpa drönaren att landa på rätt position. Där drönaren är placerad i bilden finns en skåra där sidorna runt om är lätt lutade. Tanken är att drönaren glider ned till rätt position om landningen inte blir helt perfekt.



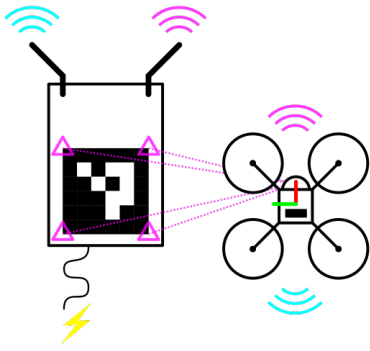
**Figur 2:** Bas-stationen med ArUco markörer.

## HUR FUNKAR SYSTEMET?

Figur 3 visar en översikt av systemet. Drönaren filmar med kameran och skickar bildströmmen över radio till en dator som identifierar ArUco-markörens ID, beräknar drönarens position

och orientering, räknar ut nästa styrsignal och skickar den tillbaka till drönaren via radio. På så sätt styrs drönaren närmare landningsplattan för att till sist landa.

På datorn körs ett Python-script med två trådar där den ena tråden genomför bildanalysen och den andra tråden beräknar styrsignalerna. Python-scriptet är baserat på ett open-source bibliotek från Bitcraze och OpenCV. Det sistnämnda biblioteket är vanligt förekommande bland enkla applikationer med datorseende.

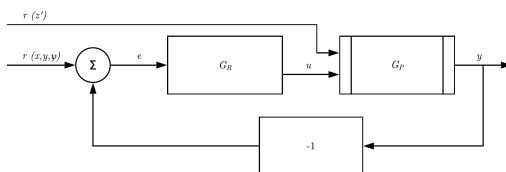


**Figur 3:** Översikt av systemet. Bildströmmen från drönaren skickas via radio (lila) till en dator som utför diverse beräkningar och skickar tillbaka en kontrollsignal till drönaren, också via radio (blå).

### REGLERING

Integrerat i drönarens mjukvara finns en färdig hastighetsreglering implementerad men för en autonom styrning behövs en extern positionsreglering. I detta projekt användes P-reglering som ger en tillräckligt stabil reglering för vår applikation. Figur 4 visar ett blockdiagram av regleringen där  $G_R$  är P-regleringen och  $G_P$  är den redan hastighetsreglerade drönaren.

För att implementera reglering av hela landningsproceduren användes en sekvensregulator. Det innebär att proceduren delas in i olika tillstånd där varje tillstånd innefattar olika referensvärden till positionsregleringen. Till exempel användes olika referensvärden vid start, när drönaren är långt ifrån landningsplatsen, och när drönaren är nära densamma.

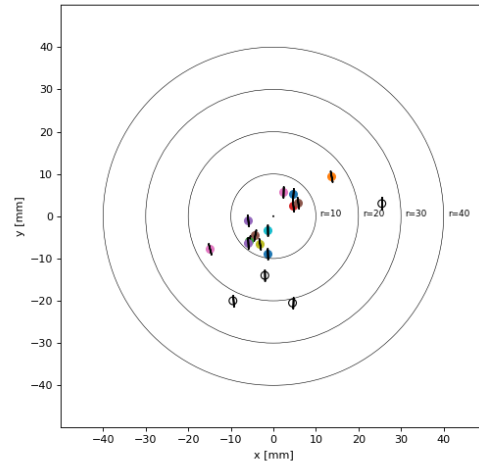


**Figur 4:** Översikt av regleringen.

### RESULTAT OCH SLUTSATSER

Konceptet utvärderades med hjälp av en rad olika experiment där reglering och landningsexakthet var det viktigaste att utvärdera. Regleringen visade sig fungera bra och resulterade i en exakt landning på en plan yta. Resultatet från flera olika landningar kan ses i figur 5. Det genomsnittliga radiella felet

var 11.2 mm och det genomsnittliga vinkelfelet var  $0.97^\circ$ . Exaktheten uppfyllde kravet för induktiv laddning vilket var ett radiellt fel på max 40 mm. Dock visade det sig att landningen på basstationen var mindre exakt än landning på en plan yta. Orsaken bakom det är något oklart och skulle behövas undersökas vidare. Ytterligare ett resultat vid test av batteriet visade att flygtiden var begränsad till strax under 5 minuter.



**Figur 5:** Noggrannheten av landning på en plan yta. Varje färgad cirkel representerar en landning, varje vit cirkel representerar en landning där kameran inte kunde se markören efter avslutad landning och varje streck över en cirkel representerar drönarens vinkel  $\times 2$ .

Detta koncept visade sig fungera väl för att implementera en exakt och autonom landning för en obemannad luftfarkost. Noggrannheten uppfyllde dessutom kravet för att kunna ladda induktivt. En förbättring av denna studie hade varit en ny design av basstationen, på grund av den mindre exakta landingen, och även en utvärdering av valet av drönare, på grund av dess begränsade flygtid. För navigering inomhus i övervakningssyfte behövs en mer kraftfull drönare för att den ska orka flyga under en längre tid.

### REFERENSER

- [1] L. Tylstedt och Si. Ågren, *Autonomous and Accurate Landing of an Unmanned Aerial Vehicle*, Examensarbete TFRT-6100, Institutionen för Reglerteknik, Lunds Universitet, Lund, Sverige, 2020.