

Utvecklingen av drönare och deras trådlöskommunikation.

Linus Jensén

Kandidatavhandling i datavetenskap

Fakulteten för naturvetenskaper och teknik

Åbo Akademi

2018

Innehåll

1. Inledning	1
2. Drönare	2
2.1. Militära drönare	2
2.2. Civila drönare	5
3. Drönarkommunikation.....	7
3.1. Kontrollänken och datalänken.....	8
3.2. Drönarkontroll	9
3.3. WLAN som kommunikationsform.....	10
3.4. LTE som kommunikationsform	10
3.5. Kommunikation mellan drönare och drönare till markstation	11
4. Användning av drönare.....	12
4.1. Drönarplacering och ruttplanering	12
4.2. Energisnål placering och användning.....	13
4.3. Mobilrepetering med drönare	14
4.4. D2D Informationssamling/spridning med drönare.....	14
5. Avslutning.....	Fel! Bokmärket är inte definierat.
Litteraturförteckning	17

Referat

Obemannade flygfarkoster eller drönare har utvecklats från militära flygande bomber till spaningsverktyg från detta har de blivit en kommersiell produkt med många användningsområden som t.ex. luftburna basstationer för telekommunikation.

I det här kandidatarbetet har jag gått igenom drönarens militära och civila historia med en fokus på trådlös kommunikation. Olika metoder för hur man styr drönaren har gått igenom t.ex. LTE och WLAN som kontroll av drönaren. Olika sätt en drönare kan användas på i telekommunikationssyfte har gått igenom och hur avbrott minimeras med energieffektiv användning av drönare kan utföras.

1. Inledning

Drönare har gått från att vara militära redskap till en kommersiell produkt som vem som helst kan köpa och använda. Drönare används idag i hundratals om inte tusentals olika uppgifter, allt från fotografering till transporter. Drönares användningsområde steg i och med smarttelefonens uppkomst. Smarttelefonen förde med sig ny teknik som gjorde det möjligt att den civila marknaden kunde börja utveckla drönare. [1]

Drönare kan lättast klassificeras i två olika klasser, flygplansdrönare med traditionella vingar, på engelska fixed wing, och helikopterdrönare, på engelska rotary wing. Beroende på användningsområde så kan man välja antingen eller. Flygplansdrönare har lång räckvidd och hög lastkapacitet men måste hela tiden vara i rörelse medan helikopterdrönare har bra manövrerbarhet men låg lastkapacitet. Helikopterdrönare kan hovra på stället och kan i princip röra sig åt alla håll. [1]

Det användningsområde jag fokuserar på i det här arbetet är drönares möjlighet att fungera som mobila telefonmaster och wifi-hotspottar. Drönare är inte den enda användbara lösningen. Ballonger och satelliter kan fungera som High Altitude Platforms (HAP) eller höghöjdsplattform. Dessa kan man skicka högt upp i stratosfären eller till tiotals kilometers höjd. Drönare är s.k. Low Altitude Platforms (LAP) Låghöjdsplattformar. [1]

Skillnaden mellan dessa metoder är att med en HAP-lösning kan man ge en relativt stabil trådlös förbindelse över ett stort område. I stora drag har HAP-lösningen flera fördelar mot en LAP-lösning men LAP-lösningen är mera kostnadseffektiv och kan tas i bruk på kort varsel. Dessutom får man högre hastigheter ur en LAP-förbindelse än en HAP-förbindelse. Förbindelsehastigheten på en drönare i HAP-läge kan även sänkas för att höja stabiliteten på förbindelsen. I det här läget kommer jag att fokusera mera på LAP-lösningar som använder drönare. Flera problem måste lösas för att göra både drönare och nätverk mera effektiva. Koordineringen mellan drönare måste fungera så att drönarna inte är för nära eller för långt ifrån varandra. Nätverksprotokoll måste utvecklas så att glesbefolkade områden får bra stabilitet i uppkopplingar. [1]

Drönare begränsas även av storlek, vikt och effektproblem. Energianvändningen i drönare måste utvecklas så att de inte kraschar. Drönare måste göras kraftigare så att de kan lyfta större vikter och då även göras energisnålare. Drönarstyrningen måste förbättras så att drönaren kan fungera autonomt utan att behöva konstant övervakning av en drönar-pilot. Nätverk av basstationer för drönare måste byggas så att de kan landa och laddas och servas om nödvändigt [1]. Målet med denna avhandling är att ge en överblick över de system som finns idag, och vad som utvecklas för tillfället.

2. Drönare

2.1. Militära drönare

De första obemannade flygfarkosterna användes ca 200 e.Kr. i Kina, kineserna släppte iväg pappersballonger drivna av oljelampor över fiendens linjer, detta skrämde slag på fienden som trodde att det var övernaturliga krafter som fick ballongerna att flyga. Nästa steg i utvecklingen kom på 1860 talet under amerikanska inbördeskriget när både nord och sydstaterna skickade varmluftsballonger fyllda med sprängämnen mot varandra. Under första världskriget började utvecklingen gå framåt i och med att de bemannade flygplanen utvecklades i rask takt [2] [3].

De första egentliga drönarna började utvecklas 1916-1917 av Elmer Sperry för den amerikanska flottan, dessa drönare utvecklades som flygande torpeder. Sperrys flygande torped lyckades efter flera misslyckade experiment flyga stabilt en sträcka på ca 900 m. Flygplanet överlevde landningen och kunde återanvändas och världens första obemannade flygfarkost var född. Flera andra tester utfördes under kriget t.ex. utvecklade Charles Kettering en prototypdrönare som räknade antalet varv propellern snurrade och när propellern hade nått ett visst antal vars stängdes motorn av och planet störtade till marken och förhoppningsvis mot sitt mål. Kriget hann ta slut före Ketterings drönare kunde användas. Efter att första världskriget tog slut så försvann även intresset att spendera pengar på drönare och i USA vaknade intresset först upp i slutet av 1930-talet. [3]

De drönare som utvecklades mellan första och andra världskriget var i huvudsak flygande bomber och måltavlor för luftvärn. 1933 utvecklade britterna en radiostyrd drönare som fungerade som måltavla, det första exemplaret lyckades överleva i 2 timmar före det sköts ner. Detta ledde till att man kunde effektivisera utbildningen av luftvärnet och att man kunde öva realistiskt med hjälp av radiostyrda flygplan. Under andra världskriget började man igen utveckla drönare och 1942 testade amerikanska flottan på att utrusta drönare med en filmkamera, trådlössändare och en torped. Detta försök blev dock avbrutet innan det hade färdiggjorts p.g.a. att bemannade flyg var effektivare. [3]

De mest kända obemannade flygfarkosterna under kriget var dock Tysklands V1 och V2 raketer. Dessa var inte effektiva men de ledde till att Tysklands motståndare började utveckla liknande vapen att använda mot Tyskland. USA använde beslagtagna V1 raketer för att bygga en egen kopia som de sedan förbättrade men i slutändan användes de inte p.g.a. logistiska problem. Man testade även att fylla bombplan med sprängämnen och sedan fjärrstyra dem mot sina mål vilket gav blandade resultat. Andra världskriget var ett stort steg framåt för drönarteknologin och under Kalla kriget fortsatte utvecklingen mot vad vi har idag. [3]

Under Kalla kriget utvecklade man nya uppgifter utöver vad de tidigare gjort. Amerikanska armén testade under 50 och 60-talet på drönare som skulle bygga kabelförbindelser detta hade tidigare gjorts med bemannade flygplan. Man började även använda drönare för luftspaning. 1955 utvecklade USA RP-71 vilket var en drönare utrustad med kameror för styrning och spaning. Man använde radar för att kartlägga vart drönaren flög vilket gjorde att man kunde använda den bortom visuell kontroll. Dessa drönare användes fram till 70-talet och beställdes även av brittiska armén. Denna drönare var den första drönaren som fick benämningen surveillance drone 1 eller SD-1. Fyra andra drönar modeller kom att få samma SD benämning, de senare modellerna blev större och kunde flyga längre och högre. De senare modellerna bebyggdes med jetmotorer och de två första som propellerplan. Helikopterdrönare utvecklades även under samma tid i amerikanska flottan. De var i princip vanliga helikoptrar som hade byggts om till radiostyrda helikoptrar. Dessa drönarhelikoptrar skulle användas för ubåtsbekämpning. [3]

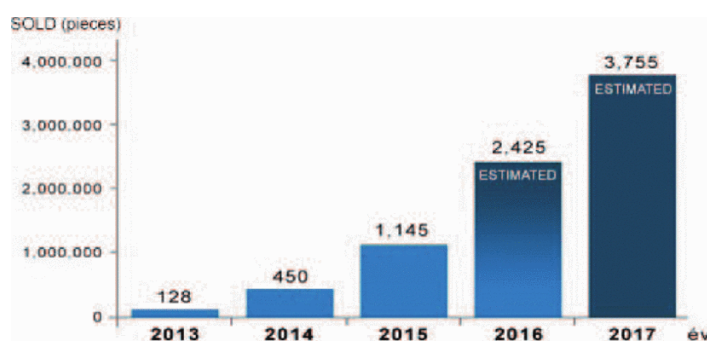
Under Vietnamkriget steg drönar användningen märkbart. Amerikanerna använde spaningsdrönare. Tidigare nämnda SD-1 användes inte i Vietnam men drönare från amerikanska luftvapnet användes istället. I takt med att luftvärnsrobotar blev vanligare och bättre ökade också användningen av drönare för spaning för att undvika förluster av piloter. Efter Vietnam kriget blev det mer eller mindre en paus i utvecklingen för drönare i USA men Israel fortsatte att utveckla drönare. Israel använde och utvecklade drönare intensivt på 70 och 80-talet. Israel utvecklade 1978 drönaren Mastiff Mk1 som anses vara den första moderna militära drönaren. [4] [3]

Den var del av en ny generation drönare som kallas Mini-UAV. Mastiff och dess efterträdare blev populära och länder som USA köpte flera av dem och använde dem i Gulfkriget 1990 – 1991. Gulfkriget var den första konflikten som drönare användes aktivt för att stödja marktrupper. 1994 började amerikanska militären utveckla vad som kan anses vara den mest ökända drönaren i världen, denna är Predator drönaren. Predator drönaren var den första drönaren i amerikanska militären under klassificeringen Medium-Altitude Endurance. Predator drönarna användes första gången 1995 i Bosnien och har använts flitigt sedan dess. Predator drönaren styrs med UHF satellitlänk. Denna uppkoppling möjliggjorde direkt sändning av stillbilder till kontrollstationen. Efter användningen i Bosnien utvecklade man vidare på Predatorn och försedde den med en radar som kan se genom moln, vilket möjliggjorde att drönaren kan användas ovanför ett lågt molntäcke. Drönaren uppdaterades även med en Ku-band satellitlänk vilket möjliggjorde direkt sändning av videomaterial, samtidigt förverkligades möjligheten för flera att direkt följa med vad drönarens kameror ser. Predator drönaren behövde inte en så kallad Line-of -Sight kontroll utan kunde arbeta bortom horisonten vilket andra drönare som var verksamma under samma tid inte kunde göra. Mellan 1995 och 1999 testades och utvecklades drönare för höghöjds bruk under benämningen High-Altitude Endurance. 2 olika drönare byggdes och testades Darkstar och Global Hawk. Darkstar projektet avbröts 1999 medan Global Hawk används ännu idag. Darkstar hade kortare räckvidd men den använde s.k. smygteknik vilket gör den svårare att upptäcka på radar. Den hade även mindre utrustning än Predator och Global Hawk. Global Hawk har en räckvidd på ca. 5500 km vilket motsvarar avståndet mellan Åbo och New Delhi i Indien. och kan flyga ca 40 timmar. [3] Darkstar och Global Hawk använder samma kommunikations system som

Predator drönaren använder. [3] Under 2000-talet har man utvecklat vidare på de drönare som togs i bruk under 1990-talet och man använder de ännu idag både i beväpnade och obeväpnade modeller. [3]

2.2. Civila drönare

Drönare har i första hand använts för militära uppgifter men med tiden har en kommersiell marknad för drönare vuxit fram. En av de första kommersiella drönarna som användes var obemannade helikoptrar i Japan som användes för att bespruta åkrar under 1980-talet. [5] Den civila drönarmarknaden höll sig i början i stora drag till forskning och jordbruk. I takt med att tekniken gått framåt så har både priset och storleken på drönare sjunkit. Patentansökningar för drönare och relaterade teknologier har sedan 2002 stigit nästan exponentiellt. I och med smarttelefonens lansering har drönare även blivit populära bland fritidsanvändare. Försäljningen av drönare har också ökat stort. 2013 såldes ca 130 tusen drönare och följande år har försäljningen bara ökat. 2017 förväntas det ha sålts närmare 4 miljoner drönare bara i USA. Se figur 1 för en heltäckande statistik över drönar försäljning i USA. [6]

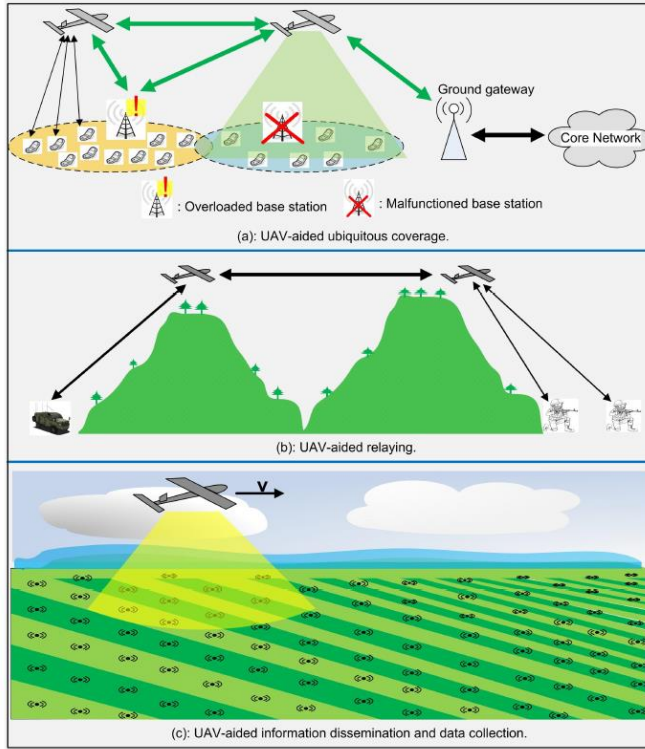


Figur 1. Försäljning av drönare i USA. [6]

I dagens läge är quadrokopters den vanligaste kommersiella drönaren på marknaden, de är tillgängliga för privatpersoner och kan användas med hjälp av smarttelefon eller dator, vilket gör de ytterst användarvänliga. Företag ser många möjligheter med drönare t.ex.

Amazon vill använda de för leverans av produkter. Andra användningsområden är t.ex. Övervakning inom olika branscher som brottsbekämpning, jordbruk, viltvård, gruvsdrift osv. [7] möjligheterna är i princip oändliga. Den huvudsakliga användningen av kommersiella drönare är ännu dock hobbybruk.

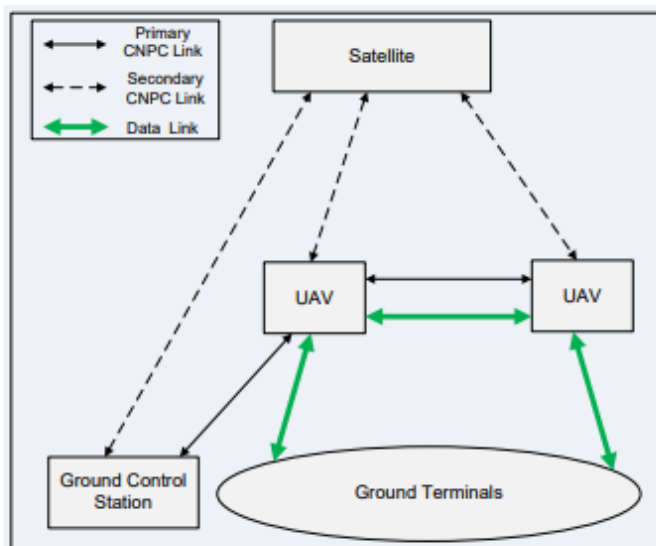
De vanligaste användningsområdena för drönare när det gäller trådlös kommunikation är de tre exempel som nämns nedan. Ett, drönare används för att komplettera infrastruktur eller till och med skapa trådlös infrastruktur på områden där det har hänt t.ex. naturkatastrofer. Denna teknologi har använts i Puerto Rico efter att orkanen Maria drog fram [8]. Ett annat alternativ är för att ge mera stabilitet i ett högtrafikerat område med t.ex. stora folkmassor. Detta scenario är en av stöttepelarna utvecklingen av femte generationens (5G) trådlösa kommunikation. Två, drönare kan också användas för att koppla samman användare. Drönarna skulle i det här fallet ta emot information från en sändare och sedan sända den vidare till andra drönare som skickar informationen till mottagaren. Detta användningsområde är ytterst viktigt om sändaren och mottagaren har radioskugga mellan sig. Tre, drönare kan också fungera som uppsamlare av data från en mängd trådlösa sensorer. Detta användningsområde fungerar bra t.ex. hos jordbrukare, de kan spara tid genom att skicka ut drönaren för att samla in information som de annars skulle samla in för hand. [1] Se figur 2 för grafisk bild av nämnda användningsområden.



Figur 2 3 användningsområden för drönare [1]

3. Drönarkommunikation

En drönare använder i huvudsak två kommunikationslänkar för trådlös kommunikation. Control and Non-Payload Communication Link (CNPC) och Data Link. [1] Se figur 3 över hur dessa länkar visualiseras grafiskt.



Figur 3 Diagram över Drönar kommunikationssystem. [6]

3.1. Kontrollänken och datalänken

Control and Non-Payload Communications Link eller CNPC kopplingen måste vara stabil, låg latens, 2-vägs kommunikationsform p.g.a. för att drönarens arbete skall kunna framskrida säkert. Kommunikation måste fungera både mellan drönare och mellan markstation och drönare. CNPC används för att kommunicera mellan drönaren och markkontrollstationen. CNPC trafik kan kategoriseras i huvudsak tre kategorier. Den första kategorin är styrning av drönare d.v.s. kommunikation mellan pilot och drönare för att kontrollera drönaren, den andra kategorin är status uppdateringar från drönaren till markkontroll, den tredje kategorin är sense and avoid vilket är ett system för att undvika kollisioner i luften. I stort sett fungerar drönaren autonomt men ifall nödsituationer uppstår så används CNPC länken för att styra drönaren. [1]

Drönare kan styras på två sätt direkt och indirekt styrning. Direkt styrning går från markkontrollstation till drönare och är i huvudsak förstahandsval när det gäller kontroll av drönare. Indirekt styrning sker via satellit, detta ger ökad säkerhet om direkt styrningen skulle misslyckas, indirekt styrning kommer dock i andra hand som reserv p.g.a.

fördröjning i kommunikationshastigheten. Säkerheten i CNPC kommunikationen måste också vara hög för att undvika så kallad ghost control händer, alltså att en obehörig tar över kontrollen av drönaren. [1]

Datalänken är den kommunikationsform som används för uppdragsspecifik kommunikation. Exempel på detta är i inledningen nämnda fall där drönare kompletterar överbelastad eller på annat sätt fallerande infrastruktur, som mobila basstationer för telekommunikation. Drönar till drönar kommunikation sker via datalänk. Datalänken har normalt sett lägre krav för latens och säkerhet än CNPC länken. [1]

3.2. Drönarkontroll

De första drönarna hade så kallad envägsstyrning. Den enda kommunikationen var mellan operatören och drönaren. Detta innebär att operatören inte har någon kontroll över drönaren annat än han kan se eftersom drönaren inte kan skicka information tillbaka till operatören. Senare lade man till tvåvägskommunikation vilket ledde till att operatören nu kunde ta emot data från drönaren vilket hjälper i kontrollen av drönaren, detta möjliggjorde även överföring av bilder och videomaterial. Denna sorts kommunikation sker på VHF frekvenser, Styrningen sköts med hjälp av pulsbreddsmodulering på ett simplex VHF frekvensband. Simplex betyder att all kommunikation förs på en frekvens jämfört med duplex som sänder på en frekvens men tar emot på en annan. Simplex system problem i och med att det bara kan ta emot kommandon. Signalerna opererar på en liten del av frekvensskalan och det finns få kanaler vilket leder till att det lätt händer störningar. T.ex. om en starkare sändare än den man använder är på samma frekvens kommer den starkare sändaren att störa den svagare sändarens signal och t.o.m. eventuellt ta över kontrollen av drönaren. Ett annat problem är om sändaren slutar sända eller att mottagaren flyger utom räckvidd så låser sig systemet på det sista kommandot och fortsätter tills det antingen får slut på bränsle eller kraschar. [6] Inom den kommersiella sektorn har VHF och UHF styrda drönare varit standard medan inom den militära sektorn har man använt VHF med både radar och satelliter.

3.3. WLAN som kommunikationsform

IEEE standard 802.11 Wireless Local Area Network standarden lanserades 1997. [9] Idag används den här allt mera och den används även för att kontrollera drönare. Med WLAN kan man skapa en tvåvägs IP uppkoppling mellan drönare och användare. Detta gör det möjligt att drönaren kan sända en 1080p bild till användaren, detta kräver en överföringshastighet på ca 5-10 Mbps. Drönare arbetar vanligast på 2.4 GHz vilket hör till UHF på skalan över frekvenser som används, exempel på annat som använder UHF frekvenser är Digital Tv och GSM. I och med att det handlar om trådlöskommunikation så är drönarens uppkopplingsstabilitet beroende av vad som finns i området och avståndet till användaren t.ex. Bebyggelse och naturliga hinder, En hög byggnad kan t.ex. störa kontakten. Även mängden WLAN nätverk i området kan inverka på anslutningen, för många och anslutningen kommer inte att hållas stabil och man kan förlora kontakten med drönaren eller eventuell bildöverföring kan fördröjas. [6]. Vissa drönarmodeller använder även en bandbredd på 5.8 GHz, t.ex. DJI Phantom quadrokopter modellerna, DJI är en kinesisk tillverkare av kommersiella drönare. Drönare som använder antingen 2.4 GHz eller 5.8 GHz är så kallade LOS (Line of Sight) drönare vilket betyder att de bara kan arbeta inom pilotens synfält [10].

3.4. LTE som kommunikationsform

Drönare kan även kommunicera med LTE/4G nätet istället för 2.4 GHz anslutning. Detta betyder att drönaren är uppkopplad till mobiltelefonnätet. Detta betyder att drönaren kan flyga överallt där det finns LTE koppling. I och med detta eftersom drönaren och piloten är kopplade till samma nät så kan man styra drönaren från väldigt långa avstånd, t.ex. från en annan kontinent. [6]

Manuell kontroll av en drönare via mobilnätet är dock inte lika precist som t.ex. 2.4 GHz WLAN. Latensen är lite högre vilket ger aningen fördröjda kommandon. T.ex. om latensen är 50ms och drönaren flyger i en hastighet på 50 km/h hinner drönaren flya 0.7 m före den tar emot kommandot. Detta kan dock förbises helt om drönaren flyger enligt en planerad rutt. Detta kan leda till vissa begränsningar om man styr drönaren på avstånd, då lönar det sig att inte styra drönaren manuellt eftersom latensen kommer att vara högre. [6]

3.5. Kommunikation mellan drönare och drönare till markstation

Som figur 2 visar använder sig både CNPC och Data-länk av drönare till drönare och drönare till markstation kommunikation. Vanliga bemannade flygfarkoster behöver i allmänhet stort utrymme för att kunna operera utan risker, t.ex. flygplatser. Drönare däremot har lite mera komplicerade krav för att kunna användas riskfritt. Synfältet(LoS) är inte alltid fritt byggnader och andra hinder kan skymma signaler och sikt för drönaren. [1]

För låghöjdsdrönare kräver detta att signaler kan sändas från flera sändare för att minimera störningar från hinder i området t.ex. byggnader eller höjdskillnader i terrängen. Drönare som fungerar i havs eller ökenområden behöver i stället två sändare eftersom synfältet är brett och hindren få. En annan metod som kan användas är stokastisk Rician fading modellen, vilket är en blandning av LoS styrning och slumpmässigt utspridda komponenter. I praktiken betyder det att signalerna till drönaren använder sig av olika vägar för att nå drönaren vilket minskar risken för störningar. [1]

Drönar till drönar kommunikation baseras sig i huvudsak på att drönarna är synliga för varandra, inom direkt kontakt med varandra. Möjligheten att signaler skickas indirekt finns men den är ytterst liten. [1]

4. Användning av drönare

Tidigare i kapitel 2.2 Civila drönare nämndes tre viktiga användningsområden. Komplettering av infrastruktur, Sammankoppling av två eller flera drönare för förlängd räckvidd och informationsinsamling eller utspridning. För att dessa skall kunna utföras effektivt så behöver vissa aspekter som ruttplanering drönarplacering energi medvetenhet beaktas i användningen av drönare. [1]

4.1. Drönarplacering och ruttplanering

Speciellt viktigt för scenariot där drönare kompletterar infrastruktur är placeringen av drönare och deras ruttplanering. Optimal ruttplanering behövs för att få en så kvalitativ täckning som möjligt, flera faktorer inverkar på en optimal ruttplan allt från sändare, bränsle tillgång, kollisionsrisk och terränghinder. Planeringen beror mycket på vad för uppdragstyp det handlar om. Behövs information konstant eller icke konstant? Om informationen inte behövs i realtid kan man välja att använda en drönare som flyger en specifik rutt och tar kontakt med markstationer i tur och ordning. Men om det är ett konstant informationsflöde som krävs t.ex. ersättning av mobilnätet. Så används en eller flera helikopterdrönare som hoverar över målområdet och fungerar som statiska luftburna basstationer. I det här fallet behövs ingen specifik ruttplanering men istället tar man i beaktandet hur stort området som skall täckas är, och med den informationen kan man bestämma på vilken höjd och hur många drönare som behövs. Problem som uppstår med den här metoden är hur tätt skall drönarna placeras för att få optimal täckning, man vill inte ha för många för tätt eller för utspritt. För många drönare leder till ökade kostnader och ökade kollisionsrisker men bättre täckning medan för utspridda drönare leder till sämre täckning men mindre kostnad. Höjdplaceringen är viktig, om drönaren hoverar för lågt blir området som täcks mindre och hinder i terrängen kan störa signalerna från

drönarna. En högre placering leder till bättre räckvidd men kan öka kollisionrisken och minskar på luftrummet för drönare som följer specifika rutter. [1]

4.2. Energisnål placering och användning

Ett av de stora hindren för effektiv drönaranvändning är energiförbrukning. Alla drönare måste servas och laddas eller tankas. Även om batteritider har ökat drastiskt med åren och motorer har blivit energisnålare hämmas drönare av begränsad tid i luften. Därför utvecklar och tillämpar energisnåla metoder som ger utrymme för service och laddning av batterier eller tankning av bränsletankar och även minskar på avbrottstiden när detta sker. Energieffektiv användning är även viktigt, så att uppdrag utförs med så lite extra energi används. [1]

En effektiv metod i det här avseendet är att utnyttja flera drönare. T.ex. skall bara en drönare i gången vara på väg från uppdragsområdet, när den specifika drönaren inte är tillgänglig så tar de omkring liggande drönarna över den frånvarande drönarens område och när den kommer tillbaka så återtar den sin ursprungliga position och en annan drönare flyger tillbaka för service, med det här uppnår man en kontinuerlig ström av drönare i laddning och i arbete vilket maximerar utfört arbete. Ytterligare kan man ta i beaktande när dataanvändningen av konsumenter är som minst t.ex. nattetid och därmed fokusera laddning och annan service till de tidpunkter på dygnet som efterfrågan är minst. Drönarna i användning måste dock ha den sorts teknologi som krävs för att kunna utföra den här sortens manövrar. [1]

Alternativa energikällor från de traditionella batterierna och bränsle drivna metoderna testas också t.ex. soldrivna drönare och trådlös energiöverföring via laser. Soldrivna drönare är något som kan vara lönsamt eftersom detta kan användas tillsammans med

batteridrivna drönare, det finns t.ex. soldrivna flygplan som flugit runt jorden så teknologin finns. [1] [11]

Saker som skall tas i beaktande för att uppnå så lite energianvändning som möjligt är optimal ruttplanering som minimerar onödiga rörelser, fartändringar, höjdändringar och att man använder sig av sparsamma hastigheter och höjder. Även olika sändningar från drönaren förbrukar dyrbar energi [1]

4.3. Mobilrepetering med drönare

Mobilrepetering eller sammankoppling av drönare för ökad räckvidd och bättre sändning är ett användningsområde för drönare som har utvecklats för att komplettera befintliga statiska system. Drönare har möjlighet att fungera som relästationer för meddelanden. Antingen genom att sända informationen vidare till en annan drönare eller till nästa markstation. En annan metod är om sändningen inte är tidssensitiv är att drönaren flyger mellan två positioner. När ett meddelande ska sändas flyger drönaren mot punkt A så snabbt som möjligt och tar emot sändningen sedan flyger den till punkt B och skickar vidare sändningen. Detta användningsområde fungerar ytterst bra i mobila miljöer som t.ex. modern krigsföring där man inte har tid att bygga upp ett existerande statiskt nät. [1]

4.4. D2D Informationssamling/spridning med drönare

Drönare kan användas för att samla in eller sända information till markstationer som annars inte kommunicerar med varandra. Denna metod kan användas t.ex. inom jordbruk för att samla in information från olika stationer på stora områden. Denna metod används även när drönare ersätter fallerande infrastruktur. Ett annat användningsområde är att låta en drönare flyga över ett område och konstant sända ut samma sändning tills alla mottagare har tagit emot sändningen, sedan kan de mottagande noderna ta kontakt med varandra och slå samman den data de tagit emot ifall de inte lyckats få all data själva. Detta skulle ske i två faser den första med drönaren som sänder ut information och den

andra med mottagarnoderna som sammanslår informationen, detta skulle spara tid och resurser och effektivisera spridningen av informationen. [1]

5. Diskussion och avslutning

Drönare har utvecklats från primitiva flygande bomber och luftvärnsmål till avancerade multiverktyg som kan klara av olika uppdrag. Idag kan man se drönare som fungerar som budleverans, videoinspelning, undersökning av farliga platser och som tidigare nämnt flygande basstationer, möjligheterna är många. Flera företag utvecklar och testar olika former av drönare som skall kunna ersätta fallerande infrastruktur eller rent utav ersätta den helt och hållet. Det amerikanska telekommunikationsbolaget AT&T har utvecklat och testat helikopterdrönare som ersätter telemaster. Det är AT&Ts drönare som har testats i Puerto Rico, som nämndes i ett tidigare kapitel [8]. Facebook experimenterar på en lite större skala, de utvecklar och testar en soldriven drönare som skall kunna sända ut signaler till basstationer på marken som omvandlar de till WLAN eller LTE signaler. Tanken är att Aquila som projektet heter skall kunna flyga upp till nittio dagar och sända ut signaler i en radie på femtio kilometer [12]. Projektet är ett försök att erbjuda alla människor i världen tillgång till internet, men det finns förstås en baksida, eftersom Facebook är ett företag vill de förstås tjäna pengar på detta och med internet åt alla får de lätt flera kunder. Ett liknande projekt är Googles projekt Loon, det använder dock inte drönare utan ballonger. Grundtanken med detta är att ett nät med ballonger repeterar informationen till varandra och ner till basstationer på marknivå som sedan kan erbjuda internet [13].

Om man går ner på mindre skala kan man själv skapa ett liknande system med drönare. T.ex. kan man med ett mobilt bredbandsmodem lätt kunna skapa en luftburen WLAN router. Hur effektivt ett sånt här experiment skulle vara återstår att se men i teorin skulle det fungera. En mera rakt på sak metod skulle även kunna utföras med en vanlig router

med WLAN kapacitet och en drönare som klarar av vikten, tillräckligt långa Ethernet och elkablar skulle även behövas. Med detta skulle man få en väldigt enkel men relativt ostabil luftburen WLAN antenn. Användbarheten av de här två exemplen är lite oklar men det visar dock att det är möjligt att i liten skala göra samma saker som större företag.

Utvecklingen av drönaren har stadigt gått framåt med åren och de senaste tio åren har utvecklingen gått framåt så mycket att drönare har blivit förmånliga även för privatpersoner. Detta leder till att användningsområdena för drönare bara växer hela tiden och de ämnen som tagits upp här tidigare ger en inblick i vad som är möjligt och vart man kan nå med drönare.

Litteraturförteckning

- [1] Y. Zeng, R. Zhang och T. Joon Lim, "Wireless Communications with Unmanned Aerial Vehicles: Opportunities and Challenges," 11 Februari 2016. [Online]. Available: <https://arxiv.org/pdf/1602.03602.pdf>. [Använd 7 Mars 2018].
- [2] Q. A. Abdullah, "1.1 UAS History," The Pennsylvania State University, [Online]. Available: <https://www.e-education.psu.edu/geog892/node/643>. [Använd 15 Mars 2018].
- [3] J. D. Blom, "Unmanned Aerial Systems: A Historical Perspective," September 2010. [Online]. Available: <http://www.armyupress.army.mil/Portals/7/combata-studies-institute/csi-books/OP37.pdf>. [Använd Mars 2018].
- [4] S. C. Tucker och P. M. Roberts, *The Encyclopedia of the Arab-Israeli Conflict: A Political, Social, and Military History: A Political, Social, and Military History*, ABC-CLIO, 2008.
- [5] M. Mazur och et al, "Clarity from above," Maj 2016. [Online]. Available: <https://www.pwc.pl/pl/pdf/clarity-from-above-pwc.pdf>. [Använd 5 Mars 2018].
- [6] P. Hell, M. Mezei och P. J. Varga, "Drone communications analysis," i *2017 IEEE 15th International Symposium on Applied Machine Intelligence and Informatics (SAMI)*, Herl'any, Slovakia, 2017.
- [7] J. Desjardins, "Here's how commercial drones grew out of the battlefield," *Business Insider*, 15 December 2016. [Online]. Available: <http://www.businessinsider.com/a-history-of-commercial-drones-2016-12?r=US&IR=T&IR=T>. [Använd 28 Mars 2018].
- [8] R. LeFebvre, "AT&T's 'Flying COW' drone provides cell service to Puerto Rico," 6 November 2017. [Online]. Available: <https://www.engadget.com/2017/11/06/att-flying-cow-drone-cell-service-puerto-rico/>. [Använd 5 Mars 2018].

- [9] B. R. Jahanzeb Farooq, "An Overview of Wireless LAN Standards IEEE 802.11 and IEEE 802.11e," 2006. [Online]. Available: [http://www8.cs.umu.se/kurser/TDBD16/VT07/overview80211\(e\).pdf](http://www8.cs.umu.se/kurser/TDBD16/VT07/overview80211(e).pdf). [Använd 31 Mars 2018].
- [10] Jammer-store, "All you need to know about frequencies on which drones operate," Jammer-Store, 2017. [Online]. Available: <https://www.jammer-store.com/drones-frequencies.html>. [Använd 1 April 2018].
- [11] La Souris Verte, "SolarImpulse Foundation," SolarImpulse Foundation, 2016. [Online]. Available: <http://aroundtheworld.solarimpulse.com/>. [Använd 2 April 2018].
- [12] Y. Maguire, "Building communications networks in the stratosphere," Facebook, 30 Juli 2015. [Online]. Available: <https://code.facebook.com/posts/993520160679028/building-communications-networks-in-the-stratosphere/>. [Använd 5 Mars 2018].
- [13] X development LLC, "Project Loon," X development LLC, 2017. [Online]. Available: <https://x.company/loon/>. [Använd 4 April 2018].