

Fremtidens droner har arme - men ingen ben

I mit ph.d.-projekt har jeg udviklet flyvende robotter, der kan gribe fat i højspændingsluftledninger og på den måde genoplade sig selv fra strømmen i ledningen - uden menneskelig hjælp. Teknologien kan eksempelvis bruges til droner, der kontinuerligt inspicerer elnettet og aldrig behøver at lande på jorden.

Se videoen [her](#) [1].

Af Nicolaj Haarhøj Malle



Figur 1: Droner, der kan gribe og lade fra højspændingsluftledninger, har stort potentiale. [G]

Flyvende robotter, eller måske bedre kendt som droner, er blevet allemandseje. De seneste 10 år er der sket et kvantespring inden for droneteknologi, og mængden af anvendelsesmuligheder er eksploderet. Hvad der for få år siden hovedsageligt var hobbyprojekter og flyvende kameraer har i dag udviklet sig til anvendelige multiværktøjer der blandt andet bruges til kortlægning, spraymaling, frugtplukning, frøplantning, transport, udforskning af Mars, miljøovervågning, skibsparkering, antenntestning, metaldetektering, vindmølleinstallation og meget, meget mere. Særligt inspektion af infrastruktur som broer, jernbaner og elnettet er oplagte opgaver for flyvende robotter, hvor det ellers er

svært og potentielt farligt at skulle løse opgaven med en stor kran eller en helikopter. En droneoperation kan igangsættes med minimal planlægning, og droner kan komme helt tæt på infrastrukturen og inspicere den fra alle vinkler. Desuden flyver de fleste kommercielle droner i dag på el, hvilket mindsker udledningen af forurening i forbindelse med inspektionen.

På grund af den grønne omstilling bliver vores samfund løbende mere og mere elektrificeret. Og når vi skifter til elbil og varmepumpe stiger byrden på elnettet, og vi bliver mere afhængige af strøm uden afbrydelser. For at kunne levere netop det leder energiselskaberne efter nye løsninger til vedligeholdelse af elnettet. For at sætte skub i udviklingen af mere autonome og intelligente flyvende robotter, der kan løse inspektionsbyrden i det 21. århundrede, startede min vejleder Emad Ebeid derfor forskningsprojekterne Drones4Energy og Drones-4Safety i henholdsvis 2018 og 2020. Projekternes overordnede mål er udvikle dronesystemer, der flyver sig selv og autonomt løser inspektionsopgaver af forskellig infrastruktur.



Figur 2: Droner bruges meget til inspektion af infrastruktur. [G]

I sig selv er det ikke banebrydende, og der er talrige lignende forskningsprojekter og kommercielle produkter inden for dette felt. Dét, der gør

netop Drones4Energy og Drones4Safety særligt interessante, er idéen om at bruge de eksisterende højspændingsluftledninger som tankstationer eller ladestandere, hvor dronerne kan lade sig selv op fuldstændig uden menneskelig involvering. Dermed kan flyvende robotter frigøres fra deres hidtidige batteri- og kommunikationsbegrænsninger, og robotens mission kan forlænges praktisk talt uendeligt.

Den største udfordring for dronerne i dag er nemlig deres begrænsede flyvetid per batteriopladning. De mest anvendte dronetyper kan holde sig i luften i mindre end én time ad gangen, og vejrforhold og andre faktorer reducerer ofte dette til under det halve. Det betyder, at de aldrig kan flyve ret langt fra deres startposition, inden de skal vende om og lande for at genoplades eller have skiftet batteri. Piloten, der styrer dronen, er i sig selv også en begrænsende faktor. Rækkevidden på radiokontakten mellem drone og pilot når op på få kilometer, hvorefter forbindelsen mistes. Desuden flyver droner i dag sig selv bedre, hurtigere og potentielt mere sikkert end selv de allerbedste piloter [2].

Min forskning har derfor potentiale for at flytte den menneskelige arbejdskraft væk fra de dronerelaterede arbejdsopgaver - at flyve dronen, sørge for at tage billeder de rigtige steder, og skifte batterier - over til roller som koordinatører, der planlægger overordnede arbejdsopgaver for sværme af autonome droner - flyv herhen, tag billeder af dén slags komponenter, vær færdig klokken 7:00 i morgen tidlig. De droner, der bruges i dag, kan dog ikke håndtere den slags arbejdsopgaver, og derfor er vi nødt til at udvikle ny teknologi. I den forbindelse har jeg i mit ph.d.-arbejde, sammen med min forskningsgruppe, fokuseret på fire nødvendige kernekompetencer, som dronerne skal have: "øjne" i form af sensorer der kan indsamle information

fra dronens omgivelser; en "hjerne" i form af en computer som er programmeret til at analysere og forstå omverdenen og udregne næste skridt baseret på den indsamlede sensordata; "arme" der kan gribe luftledningerne, så dronen kan lande på og lette fra dem efter behov; og endeligt et "sugerør" i form af elektronik hvormed dronen kan "suge" energi fra højspændingsledningen til sig og genoplade sit batteri. Prototypen, som jeg har bygget i samarbejde med mine kolleger, kan ses på figur 3 med systemets forskellige delelementer fremhævet.



Figur 3: Den seneste prototype og dens delelementer. [G]

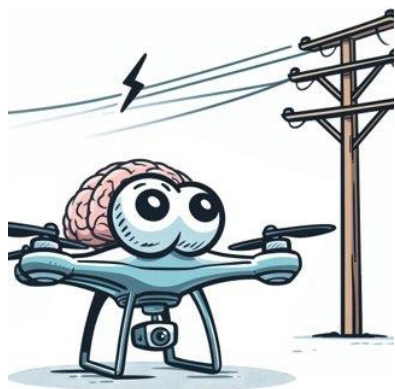
Stramme budgetter

Selvom selvkørende biler og robothunde har demonstreret, at sensor- og computerteknologi har nået et punkt, hvor mobile systemer kan agere autonomt, så kan man ikke nødvendigvis bruge de samme komponenter på en drone.

Når man udvikler droner, så er en af de helt store udfordringer nemlig vægten. Få hundrede gram kan være forskellen mellem en drone, der kan flyve, og en forvokset ventilator, der ikke rører sig ud af stedet. Når ens robots naturlige reaktion på en kritisk fejl er at styrte ned frem for at gå i stå, bør man også overveje, om man måske kunne undvære den dyre LiDAR-sensor til 100.000 kroner og i stedet bruge en radarsensor til en hundrededel af prisen, selvom det er

på bekostning af dronens forståelse af omverdenen. Det er selvfølgelig også en fordel, at robotten ikke koster spidsen af en jetjager, hvis eksempelvis Energinet kunne tænke sig at indsatte en større flåde af robotter på deres netværk i fremtiden.

Derfor har mindre og billigere computere og sensorer topprioritet, når vi udvikler nye systemer. Det betyder dog som regel, at opløsningen er lavere, rækkevidden er kortere, regnekraften er svagere, og at omverdensforståelsen derfor generelt er ringere.



Figur 4: Dronen skal forstå sine omgivelser for at løse praktiske opgaver. [G]

Af samme grund er store dele af vores droner lavet af billigt 3D-printet materiale, selvom kulfiber er det stærkeste, men også væsentligt dyrere, valg. I mit ph.d.-arbejde har den konstante udfordring derfor været at få alle disse sub-

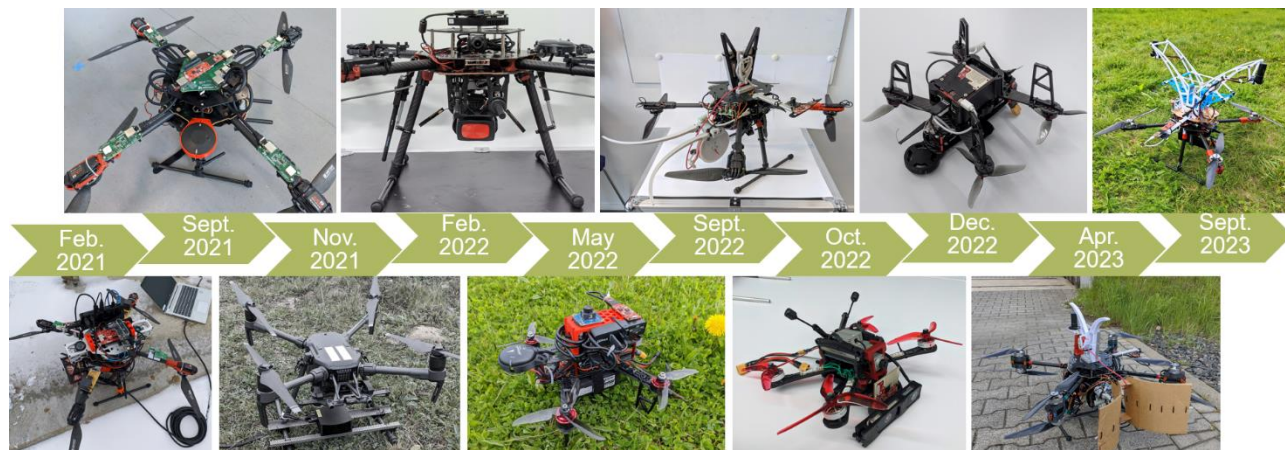
optimale delelementer til at spille sammen og danne én samlet flyvende robot. Som det ses på billede 3 lykkedes det, og vi kunne i min forskningsgruppe glæde os over, at vi som de første i verden i september demonstrerede en drone, der helt af sig selv kan finde en højspændingsluftledning, flyve hen og gribe den for at lande, lade sig selv op fra strømmen i ledningen, lette fra ledningen og flyve videre.[3]



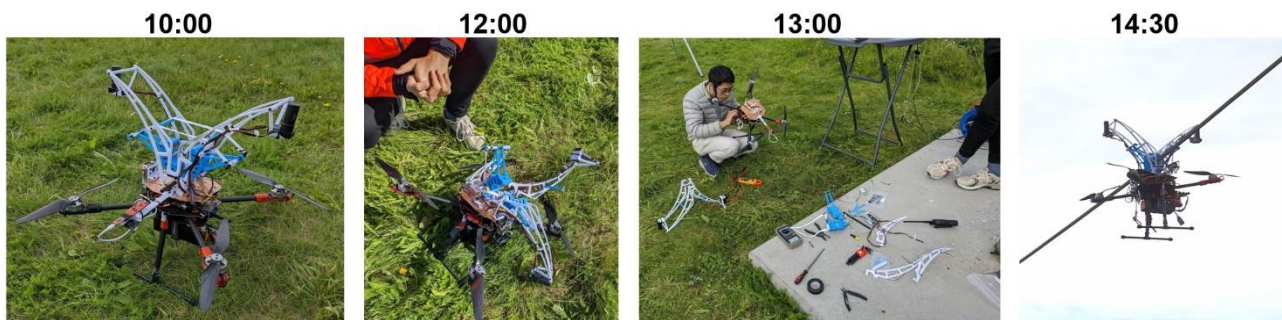
Figur 6: Droner kan selvstændigt løse arbejdsopgaver, når de selv kan lade deres egne batterier. [G]

Fra prototype til prototype

Vejen til den sidste prototype har ikke hele tiden været lige eller endda ensrettet, og undervejs er der blevet bygget og testet 10 prototyper (Fig. 6). Én prototype testede en håndfuld sensorteknologier, en anden viste de første autonome flyvninger, og en tredje eksperimenterede med de første landinger på ledninger. Kun en håndfuld prototyper slap helskindet igennem test-



Figur 5: Prototyper gennem mit ph.d.-projekt, hver især bygget for at teste noget nyt. Nogle var blindgyder mens andres DNA lever videre i senere modeller.



Figur 7: **10:00:** Indledende test påbegyndes. **12:00:** Prototypen totalskades i et styrt. **13:00:** Reparation undervejs. **14:30:** Testflyvninger fortsættes.

kampagnen, og desværre bliver fejlene og uheldene undervejs sjældent præsenteret sammen med de endelige resultater i tidsskrifter og ved konferencer - selvom det ofte er dem, der har de bedste historier. Til mit ph.d.-forsvar lavede jeg derfor en (noget svulstig) videomontage af mit forløb, som også inkluderer mange af de styrt, vi har haft undervejs [4]. En episode, jeg er særligt stolt af, sker to dage inden en vigtig konferencedeadline. Vi starter testflyvningerne om morgenen, og få timer efter bliver dronen totalskadet i et styrt. På lidt over to timer lykkedes det dog ved hjælp af sved, tårer, tape og lim at få rettet softwarefejlen og få dronen tilbage på "vingerne", og over de næste to en halv time forløber testen perfekt. Sekvensen kan ses i figur 7. Med gode data i hænde og en lang og søvnfattig weekend senere har vi indsendt vores bidrag til International Conference on Robotics and Automation 2024 i Yokohama. Derfra kan vi kun krydse fingre for god feedback i peer review-processen, hvor fagfæller rundt om i verden bedømmer kvaliteten og relevansen af de tusindvis af indsendte bidrag, inklusiv vores.

Hvad så nu?

Selvom jeg nåede i mål med det, jeg ville opnå i mit ph.d.-projekt, så er der stadigvæk noget vej igen, før teknologien er moden og kommercialiseringsparat. Især lovgivningen på dette unge

område er bagefter teknologien, og mange håbefulde iværksættere snubler i det juridiske net. Derudover skal udfordringer som støj og risikoen for privatlivskrænkelser løses. Men i takt med at bedre sensorer og computere lanceres, mere avancerede algoritmer bliver udviklet, og droneteknologi som helhed demonstrerer den nødvendige sikkerhed samt sin anvendelighed, bliver afstanden mellem forskningsprojekt og anvendeligt værktøj kortere og kortere. Derfor sidder jeg lige nu i min stilling som postdoc og arbejder på et universitetsspinout, hvor målet er at kommercialisere netop nogle af de teknologier, jeg har været med til at bygge de sidste par år. Arbejdet er støttet af Innovationsfonden og Villumfonden, og jeg udvikler i skrivende stund prototyper og forretningsmodeller med henblik på at samarbejde med danske og internationale energiselskaber. Og hvis alt går vel, så kan du måske se nogle af mine droner suse rundt ved højspændingsluftledninger langs motorvejene om nogle år. Under alle omstændigheder er mulighederne store i det her lille forskningsområde, og jeg glæder mig meget til at se, hvor vi står om 10 år mere.

[1] <https://www.youtube.com/watch?v=oNlyxieWUZ8>

[2] <https://www.nature.com/articles/s41586-023-06419-4>

[3] <https://www.youtube.com/watch?v=C-uekD6VTIQ>

[4] <https://www.youtube.com/watch?v=eJhIRKM1Gts>

[G] Billedmateriale helt eller delvist genereret med DALL-E 3