

Du er her! – Præcis positionering

Jens Olaf Pepke Pedersen, DTU Space

Nye tjenester fra navigationssatellitter betyder at vi kan bestemme positioner mere og mere præcist. Det kommer til at drive en teknologisk udvikling, der vil forandre vores dagligdag.

Græssende køer og landmænd på markarbejde har altid været en del af det danske kulturlandskab, men i fremtiden skal vi vænne os til, at robotter og droner også vil myldre rundt på markerne. I tre år har en robot således næsten helt alene passet en 18 ha roemark på Møn, hvor den både har sået roerne samt luget mellem rækkerne, indtil roerne kunne høstes.

Roepasseren på Møn er produceret af firmaet FarmDroid i Vejen, og ifølge landmanden Benjamin Christensen ved Stege har robotens indsats betydet, at hans udgift til håndlugning været under 1.000 kr. per ha.

FarmDroid drevet af solenergi og har desuden holdt roemarken fri for ukrudt helt uden sprøjtemidler. Og så kan FarmDroid noget, som landmanden ikke kan, for robotten kan præcist huske, hvor den har sået hvert eneste frø, og derfor kan den begynde at luge før planterne har spiret.



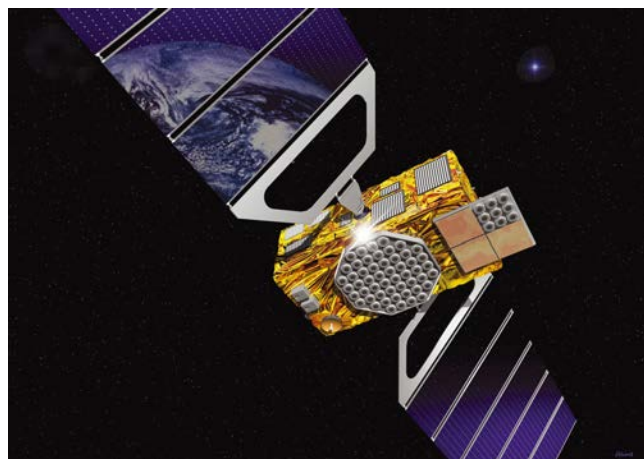
Figur 1. Markrobotten FarmDroid FD20 vejer 900 kg og har en kapacitet på 20 ha. Tophastigheden er omkring 1 km/t.

Globale navigationssatellitter

En forudsætning for, at den avancerede teknologi virker, er naturligvis, at robotterne præcist ved, hvor de er, og her er de helt afhængige af de navigationssatellitter, som befinder sig 20.000 km ude i rummet.

De fleste kender navigationssystemet under navnet GPS, som er et amerikansk system, og som også var det første satellitnavigationssystem, men siden er det russiske Glonass og det kinesiske BeiDou-system kommet til, ligesom både Indien og Japan har egne regionale satellitsystemer. Efter en årelang udvikling og en investering på omkring 100 milliarder kroner, har EU også fået sit eget navigationssystem, Galileo. Under et kaldes navigationssatellitterne for GNSS (Global Navigation Satellite System), og det er ved hjælp af dem, at vi med

vores smartphone kan finde ud af, hvor vi er inden for få meter.

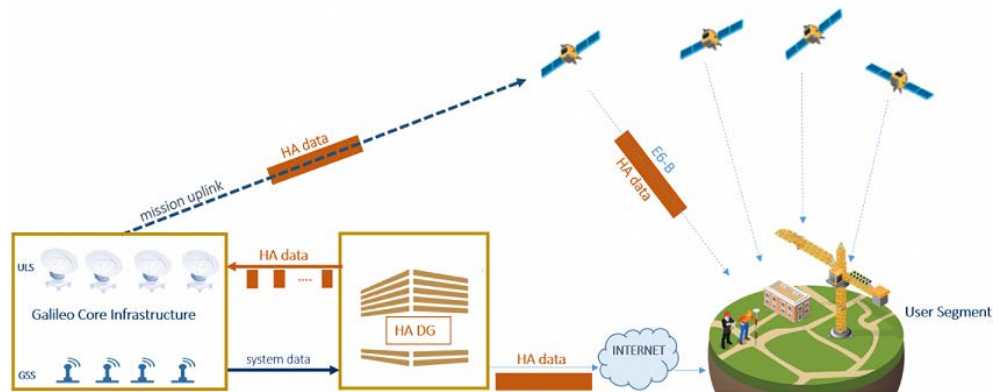


Figur 2. Det europæiske Galileosystem består af 24 aktive navigationssatellitter. Den første blev opsendt i 2011 og systemet blev operativt i 2016.

En nøjagtighed på et par meter er naturligvis ikke nok til, at en landbrugsrobot kan holde styr på, hvor de enkelte frø er sået. Præcisionen i GNSS-signalerne er blandt andet bestemt af de forstyrrelser og forvrængninger, som signalerne udsættes for, når de passerer gennem atmosfæren, og derfor benytter robotten private tjenester, der korrigerer fejlene i GNSS-signalerne ved hjælp af et jordbaseret referencesystem. Algoritmerne er komplicerede, men takket være denne teknologi, der kaldes Real Time Kinematic (RTK), kan præcisionen forbedres helt ned til 1–2 cm.

RTK bruges allerede i vidt omfang af landmålere og andre, der har brug for høj præcision, og systemet er også udbredt i landbruget, hvor over halvdelen af landbrugsarealet nu bliver dyrket med maskiner, som traktorer og mejetærskere, der bruger præcisionsstyring.

Tjenesten forudsætter altså, at man er i nærheden af en referencestation, men hvis det ikke er tilfældet, er Precise Point Positioning (PPP) et alternativ. Her genereres korrektionssignalerne fra et globalt netværk af referencestationer og sendes via kommunikationssatellitter eller internettet til modtageren. I princippet kan man med PPP få bestemt sin position ned til en nøjagtighed på 3 cm, men til gengæld har systemet brug for lang tid til at registrere og korrigere signalerne fra flere satellitter for de atmosfæriske forhold. Afhængigt af hvor mange satellitter, der er til rådighed, tager det mellem 20 og 40 minutter, hvis positionen skal bestemmes indenfor 10 cm, så det er ikke en teknik, der egnet sig til hurtige maskiner.



Figur 3. Galileo-systemelementerne, som er involveret i leveringen af HAS (“High Accuracy Service”). En “High Accuracy Data Generator” (HADG) modtager data fra Galileos jordstationer (GSS) og genererer korrektioner til Galileo og GPS. Korrektionerne med høj nøjagtighed (HA) sendes i realtid gennem Uplink-stationerne (ULS) til Galileo-satellitter, som videregiver HA-data til brugerne. HA-data leveres også via et jordbaseret link, som er tilgængeligt for brugerne via internettet.

HAS og TAPAS – høj præcision

Det er heller ikke helt billigt at bruge RTK- eller PPP-tjenester, men Galileo har i mange år forberedt en ny “High Accuracy Service” (HAS), som bliver stillet gratis til rådighed. HAS-tjenesten fungerer ved, at korrektionerne udsendes fra satellitterne sammen med det egentlige positionssignal. Brugere er således hverken afhængige af, at de skal være på internettet eller i nærheden af en jordstation, ligesom de lynhurtigt kan beregne deres position. Til gengæld er nøjagtigheden på 20–30 cm også noget mindre. Den store fordel med HAS er, at den ikke skal bruge 20 eller 40 minutter, men blot få sekunder til at fastslå positionen. Til mange anvendelser indenfor for eksempel transport og logistik kan denne opløsning imidlertid være tilstrækkelig, og forventningen er også, at opløsningen vil blive bedre i fremtiden i takt med at satellitterne opgraderes og teknologien udvikles.

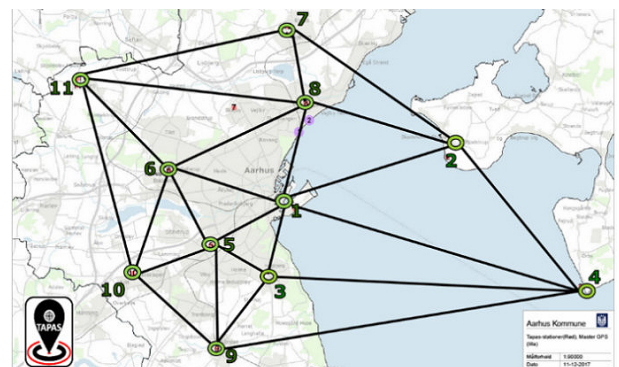
Siden maj måned i år har særlige brugere kunnet eksperimentere med HAS-tjenesten, hvis de har en modtager, der er i stand til at opfange HAS-signalerne. I denne fase vil det europæiske GNSS-agentur, der står bag Galileo, indsamle feedback fra brugerne, og forventningen er, at systemet vil blive åbnet en gang i 2022, mens det først bliver fuldt operationelt i 2024.

I Danmark er det Styrelsen for Dataforsyning og Effektivisering (SDFE), som er ansvarlig for implementeringen af Galileo-systemet. For at teste HAS-tjenesten har styrelsen kunstigt forvrænget signalet til en mark-robot, der var sat til at luge en kartoffelmark, således at den kun kendte sin position inden for en nøjagtighed på 20 cm. Heldigvis viste det sig, at robotten godt kunne passe sit arbejde alligevel.

Til gengæld er der virkelig brug for få centimeters præcision, hvis en robot skal luge omkring et bestemt frø, og det samme er tilfældet, når droner og førerløse biler bliver en del af bybilledet, for de skal også vide, hvor de befinder sig inden for få cm, samtidig med at de bevæger sig ganske hurtigt. Specielt inde i byerne bliver positionsbestemmelsen yderligere udfordret af, at satellitsignalerne også forstyrres af refleksioner fra fx høje bygninger.

For at virksomheder og myndigheder har mulighed

for at afprøve og udvikle deres robotsystemer har SDFE i samarbejde med DTU Space og Aarhus Kommune etableret testplatformen TAPAS, der med jordbaserede målestationer har taget forskud på de muligheder, som kommer med HAS. Systemet består af 11 basestationer, og ved at kombinere satellitdata fra både de europæiske, amerikanske, russiske og kinesiske navigations-satellitter leverer TAPAS nu positionsdata i Aarhus uden forsinkelse, så modtageren kan beregne sin position med en nøjagtighed på ned til 1 cm³ – også i bevægelse.



Figur 4. De 11 referencestationer i TAPAS-platformen er placeret i og omkring Aarhus. Der er kun mellem 4 og 22 km mellem dem. Dermed er det et meget tæt og præcist referencesystem i forhold andre eksisterende systemer. I kombination med data fra Galileo-satellitterne fås derfor en ekstremt præcis positionering.

Når robotterne engang indtager bybilledet, vil de være udstyret med forskellige sensorer som radar og kameraer, så de også kan orientere sig i forhold til omgivelserne. De er derfor ikke nødvendigvis afhængige af et TAPAS-system, men det fungerer som et sikkerhedsnet, så robotter kan afprøves og udvikles i et komplekst bymiljø, som også er et besværligt miljø for satellitsignaler på grund af bygninger.

Danske landmænd har altid været hurtige til at tage ny teknologi til sig, men ser vi mod USA, står landbruget over for en hel high-tech-revolution. Ved at bygge videre på den teknologi, som NASA anvender til deres rovere på Mars, har University of Illinois i Urbana-Champaign således udviklet TerraSentia-robotten, der lynhurtigt kører rundt mellem planterne i marken og

indsamler data om hver enkelt plantes tilstand. Udviklerne forventer, at robotten snart vil være i stand til at måle biomassen samt opdage og identificere plantesygdomme og andre stressfaktorer.



Figur 5. TerraSentia-robotten bruger maskinlæring til at identificere planternes egenskaber, såsom deres højde, bredde og bladareal.

Fra luften kan en enkelt præcisionsdrone også overvåge og registrere hver eneste pante, og på en dag kan dronen undersøge flere marker end en landmand ville kunne på et helt år. I kombination med “big data”-analyser af dronens eller robotens datamateriale kan landmanden optimere produktionen ved for eksempel at sprøjte eller tilføje gødning på præcist de steder og på de tidspunkter, hvor der er brug for det. Hvis han har kvæg, kan han med GNSS-sporingsudstyr holde øje med hvert enkelt dyr, dets aktivitet og sundhedstilstand. Udstyret findes naturligvis også allerede i en amerikansk kæledyrsversion, så ejeren kan se, om hunden løber længere væk end den må eller om katten bliver fodret flere steder end derhjemme. De mere avancerede modeller har også en voice-funktion, så man kan tale til sit kæledyr. Det er ikke sikkert, at det kan få dyret til at gå hjem igen, men det betyder nok, at der ikke længere vil være så mange opslag om forsvundne kæledyr i villakvartererne.

Hertil kommer alle de andre anvendelser, hvor man har brug for præcise positions- eller tidsbestemmelser, som i transport, navigation, overvågning, finanstransaktioner, sikkerhed og eftersøgning. Blot for at nævne en mindre, men vigtig anvendelse, så kan alarmcentralerne nu spare vigtige minutter, fordi de automatisk får positionen fra den indbyggede GNSS-modtager i mobiltelefonen – indtil videre dog kun i Android-udgaven.

Det forudsætter alt sammen, at droner og robotter præcist ved, hvor de befinder sig, og dermed, at infrastrukturen i rummet er på plads. Så selvom det kostede 100 mia. kr. at etablere det europæiske Galileo-system, er det en samfundsinvestering, der hurtigt har tjent sig selv hjem igen. I dag understøtter positioneringstjenester næsten 24% af det danske BNP, og ifølge en rapport fra det Europæiske GNSS-Agentur skønnes det globale marked for GNSS-tjenester alene i år at være på over 1.000 mia. kr. Forventningen er, at markedet vil blive mere end fordoblet i løbet af dette årti.

Med den øgede afhængighed af GNSS-systemet stiger imidlertid også behovet for at sikre systemet bedre. Den civile del af GPS-systemet er således ikke beskyttet, og det er derfor muligt at snyde modtagerne

med såkaldt GPS-spoofing til at tro, at de er et andet sted. Da satellitsignalerne er forholdsvis svage, er det ikke så svært at overdøve dem, og under borgerkrigen i Syrien beskyldte Israel således Rusland for at genere flytrafikken i lufrummet omkring Ben Gurion-lufthavnen ved at udsende falske GPS-signaler. Det var dog næppe for at genere israelerne, men snarere fordi russerne ville sløre deres luftbase i Syrien for at forhindre angreb på basen med droner.

Data fra TAPAS-plattformen har også afsløret stigende forstyrrelser af GNSS-systemerne, og mistanken samler sig om GPS-jammere, som lastbilchauffører nemt kan montere og dermed blokere for satellitsignalerne, så lastbilen ikke kan spores, hvilket formodentlig også er chaufførens hensigt [1]. Forstyrrelserne sker nemlig i dagtimerne og især omkring hovedindfaldsvejene og havnen i Aarhus. Det forstyrrer imidlertid også andre brugenes signaler, og i Norge oplever ambulance- og beredskabsmyndigheder stigende problemer med GPS-jamming. I Europa er det i øvrigt forbudt at sælge eller købe jammere, der heller ikke har nogen lovlige anvendelsesområder. De europæiske Galileo-satellitter har nu indlagt en række nye autentifikations-tjenester, som gør det mere besværligt at jamme og forstyrre satellitsignalerne.

Spørgsmålet om sikkerhed, databeskyttelse og retten til privatliv bliver også en del af “Tingenes internet” (Internet of Things), som er på vej overalt. Vores mobiltelefon og PC forbindes med flere og flere apparater, som udveksler enorme mængder data til producenter og operatører, som både gør vores dagligdag nemmere og apparaterne smartere, men også registrerer vores færden og adfærd stort set overalt. Det er allerede ti år siden, at der var flere “ting” end mennesker forbundet til nettet, og i dag anslås det, at omkring 50 milliarder apparater er forbundet til nettet. Også her spiller GNSS-systemerne en nøglerolle ved blandt andet at holde styr på, hvor de mange milliarder “ting” befinder sig – eller, hvis de bevæger sig – hvor de er på vej hen.

Litteratur

- [1] L. Hovgaard (2020) Mystiske GPS-forstyrrelser registreret i Aarhus: Ulovlige jammere under mistanke, *Ingeniøren*, 23. november.
- [2] European GNSS Service Centre: www.gsc-europa.eu.
- [3] Galileo General Introduction (2021) https://gssc.esa.int/navipedia/index.php/Galileo_General_Introduction
- [4] Galileo High Accuracy Service (HAS) Info Note (2020) European GNSS Agency.



Jens Olaf Pepke Pedersen er seniorforsker på DTU Space samt medlem af Kvants redaktion. Han forsker i klimaændringer og rumvej, herunder forstyrrelser af satelliternes positioneringssignaler på grund af rumvej.