

GPS og Galileo

Af Anna B.O. Jensen, AJ Geomatics og DTU-Space

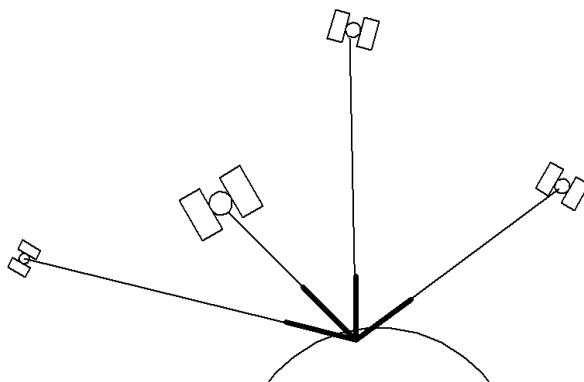
GPS er i dag meget udbredt til positionering og navigation, og langt de fleste kender det amerikanske system. EU og det europæiske rumagentur, ESA, er godt i gang med udviklingen af Galileo, et lignende europæisk system. Artiklen beskriver indledningsvis princippet for positionering med GPS. Herefter beskrives Galileo, forskelle og ligheder mellem Galileo og GPS, og afslutningsvis oprises nogle af de naturvidenskabelige forskningsområder hvor Galileo forventes at bidrage.

De fleste kender i dag GPS (Global Positioning System) som et system af satellitter, der anvendes til positionering, navigation og til time tagging og tidsbestemmelse over alt på jorden.

GPS er et amerikansk system, der drives af US Air Force. GPS består i det oprindelige design af 24 satellitter der kredser om jorden i næsten cirkulære baner ca. 20.200 km over jordoverfladen. GPS satellitterne

udsender signaler på tre forskellige frekvenser i "L-båndet" (se figur 3). Signalerne modtages af en GPS-modtager, der ud fra signalerne bestemmer transmissionstiden fra satellit til modtager, omregner denne til en afstand mellem satellit og modtager og bestemmer derfra positionen for modtageren, hvis der modtages signaler fra et tilstrækkeligt antal satellitter (se boks).

Grundlæggende princip for GNSS positionering



Figur 1. Principskitse for positionering med GNSS [1].

GNSS-modtageren opfanger signaler fra GNSS satellitter med bl.a. information om prædikterede satellitpositioner og modeller for satellitternes urdrift.

PRN-koder fra signalerne anvendes til bestemmelse af transmissionstid fra satellit til modtager med inddragelse af modeller for satellitternes urdrift.

Transmissionstid omregnes til en såkaldt pseudoafstand (ikke den geometriske afstand men en tilnærmet værdi). Ved anvendelse af modeller korrigeres pseudoafstande for atmosfæriske effekter.

Modtagerens position bestemmes ud fra satellitternes prædikterede positioner, de målte og korrigerede pseudoafstande og et estimat for modtagerens urfejl. Det hele samles i nedenstående observationsligning.

$$r_m^i = \sqrt{(X_m - X_i)^2 + (Y_m - Y_i)^2 + (Z_m - Z_i)^2} + c \cdot dT_m \quad (1)$$

Hvor r er korrigeret pseudoafstand mellem modtager, m og satellit, i , (X_m, Y_m, Z_m) er modtagerens ukendte koordinater, (X_i, Y_i, Z_i) er satellit i 's kendte koordinater, c er lysets hastighed, dT_m er modtagerens ukendte urfejl.

Med observationer til mindst fire satellitter opstilles et ligningssystem med mindst fire ligninger og de fire ubekendte. Dette kan lineariseres og løses f.eks. med mindste kvadraters princip. Se [2] for en beskrivelse af dette.

Med observationer fra 7-8 satellitter og ovennævnte relativt enkle fremgangsmåde er det muligt at bestemme en position med 5-10 meters nøjagtighed. Bedre nøjagtighed opnås med mere avancerede beregningsrutiner, filtrering, differentiell GPS med inddragelse af eksternt bestemte korrektionsværdier eller ved fase-positionering hvor observationer af fasen af selve bærebølgen inddrages i beregningen.

Herefter kan hastighed og retning beregnes fra en tidsrække af positioner hvorved det er muligt at navigere.

GPS bæreølgerne i L-båndet har påmoduleret en række PRN koder (Pseudo Random Noise), forenklet sagt et binært mønster, der gør det muligt for GPS modtageren at bestemme transmissionstiden. Signalerne indeholder endvidere den såkaldte navigationsbesked med information om prædikterede satellit positioner, koefficienter til modeller for urdrift og ionosfæreaktivitet samt servicemeddelelser til GPS modtageren om eksempelvis de enkelte satellitters aktuelle driftstilstand. For en mere detaljeret gennemgang af GPS henvises til [1].

Arkitekturen for GPS blev vedtaget i 1973 og den første satellit blev opsendt i 1978, så GPS er et halvgammelt system i dag. Men anvendelsen af GPS er stigende, der kommer stadig nye applikationer, og der er et økonomisk set meget stort marked for GPS-relaterede services, hardware og software. Det er den primære grund til at GPS nu får konkurrence fra lignende satellitbaserede systemer.

GNSS

Begrebet GNSS (Global Navigation Satellite System) anvendes som en fællesbetegnelse for GPS og alle lignende systemer. Det russiske GNSS, der hedder Glonass, er næsten fuldt operationelt. Glonass bygger på de samme principper som GPS dog med den primære forskel at hvor GPS-satellitterne alle sender på de samme frekvenser med forskellige koder, så sender Glonass satellitterne på forskellige frekvenser men med samme koder. Kina har offentliggjort planer om at etablere et GNSS som på engelsk kaldes Compass. Der er endnu kun en smule tilgængelig information om Compass, men det bliver et system der vil minde meget om GPS. Endelig er der os selv, EU, der er godt i gang med at udvikle Galileo, som bliver beskrevet mere detaljeret nedenfor.

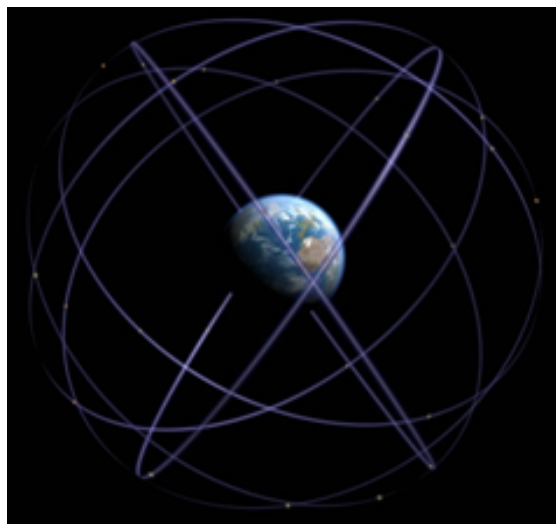
Yderligere findes der forskellige satellitbaserede differentielle hjælpesystemer, f.eks. det europæiske EGNOS (European Geostationary Navigation Overlay System) og det amerikanske WAAS (Wide Area Augmentation System). De er begge udviklet til luftfarten, men anvendes også til marin navigation. Både EGNOS og WAAS er offentlige systemer. Satellitbaserede hjælpesystemer der drives af private virksomheder eksisterer også og de anvendes bl.a. i offshore olie- og gassektoren.

Galileo – satellitter og signaler

Det er det Europæiske Rumagentur (ESA) der på vegne af EU står for den tekniske udvikling af Galileo. Galileo vil i den fulde konstellation bestå af i alt 30 satellitter, 27 operationelle satellitter med faste pladser i konstellationen og tre reserver, der placeres i konstellationen efter behov. Satellitbanerne ligger i en højde af ca. 23.200 km over jordoverfladen. Det bliver stort set

cirkulære baner, der ligner GPS-satellitbanerne. Inklinationsvinklen mellem baneplanet og Ækvatorplanet bliver dog 56° for Galileo mod 55° for GPS. Det giver en smule bedre positionsnøjagtighed på høje breddegrader.

En væsentlig forskel mellem GPS og Galileo ligger i de atomure der installeres i Galileo-satellitterne. Hvor GPS-satellitterne i dag har cæsium og rubidium atomure, får Galileo satellitterne rubidium og hydrogen baserede atomure. Den passive hydrogenmaser¹ der p.t. er ombord på en af Galileo test satellitterne har vist sig at være det mest stabile ur der hidtil har opereret i rummet. En stabil og forudsigbar tidsreference er vigtig for at opnå stabil og robust positionering med Galileo.



Figur 2. Illustration af Galileo-satellitbaner [3].

For brugere af Galileo betyder de bedre ure i satellitterne at transmissionstiden fra satellit til modtager kan bestemmes mere præcist, hvormed afstanden til satellitterne kan bestemmes mere præcist, og dermed bliver en Galileo-baseret position i sidste ende mere præcis end en GPS-position.

Galileo-satellitterne skal udsende signaler på fem forskellige frekvenser, hvor GPS i dag sender på tre frekvenser. Den ene Galileo-frekvens er dog forbeholdt en *search and rescue* funktion, hvor transpondere, der kan modtage og videresende et radiosignal, monteres i satellitterne, så de kan bruges til at videresende nødsignaler på den aktuelle frekvens. Det er således ikke et navigationssignal, men naturligvis en vigtig egenskab ved Galileo-satellitterne.

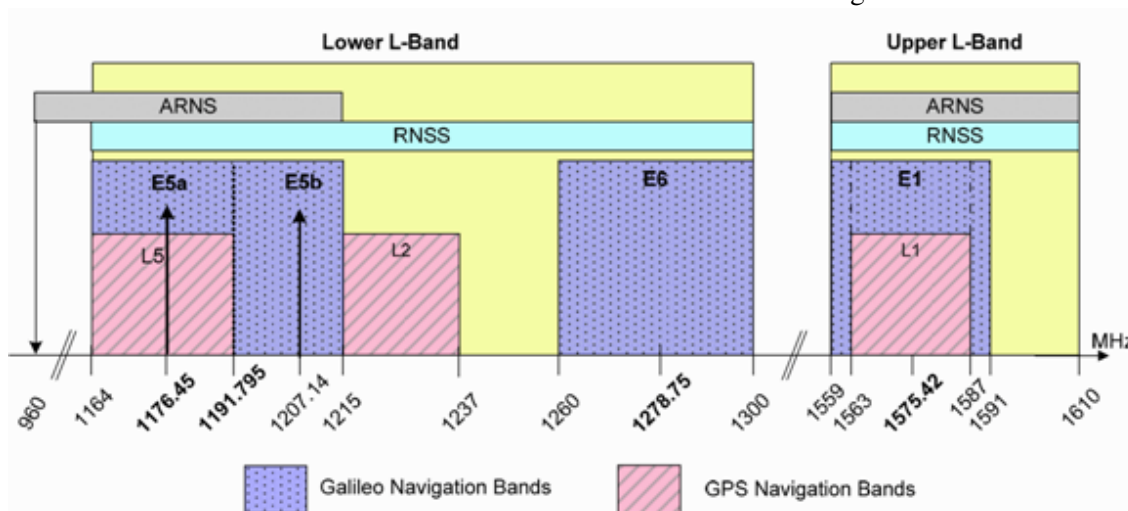
De øvrige fire Galileo-frekvenser skal anvendes til navigation, og der udvikles forskellige binære koder, således at slutresultatet bliver 10 forskellige navigationssignaler (kombinationer af koder og frekvenser), tilpasset forskellige brugergrupper.

Hver satellit får, ligesom GPS, sin egen kodestruktur, så modtageren kan skelne mellem satellitterne via koderne. Det hedder CDMA (Code Division Multiple Access) og er modsat Glonass der bruger FDMA (Frequency Division Multiple Access). Endvidere er

¹En maser producerer kohærent stråling, meget lig en laser, bare i mikrobølgeområdet.

der mellem Europa og USA opnået enighed om en fælles signalstruktur for Galileo og GPS på E1/L1-frekvensen 1575,42 MHz (se figur 3). Det betyder at begge systemer på sigt vil sende det samme signal, så

det bliver relativt let at udvikle kombinerede Galileo-GPS modtagere. Fra russisk side er der planer om at ændre signaler fra FDMA til CDMA, så det vil blive lettere at integrere alle tre systemer i en samlet Galileo-GPS-Glonass modtager.



Figur 3. Frekvensplan for Galileo og GPS [3].

Galileo – status og anvendelsesområder

Der er i dag to Galileo-testsatellitter i kredsløb opsendt i henholdsvis 2005 og 2008. Testsatellitterne har været anvendt til udvikling af de første Galileo-modtagere, der nu anvendes af både forskning og industri til test og udvikling af modeller og software til optimeret positionsbestemmelse med Galileo.

De første forsøg udført med egentlig positionering baseret på Galileo-testsignalerne ved Delft Tekniske Universitet i Holland viste, at de Galileo-signaler der p.t. udsendes er mere robuste og har et lavere støjniveau end tilsvarende GPS-signaler [4].

Det er planen at to nye testsatellitter skal opsendes i starten af 2011, og de sidste to testsatellitter i slutningen af 2011.

Produktionen af de første 14 'rigtige' Galileo-satellitter er gået i gang, og den første af disse opsendes i 2012. Herefter er planen at Galileo skal være operationel i en første fase fra 2014 med 14 + 4 satellitter i kredsløb. Den fulde konstellation forventes tidligst klar i 2018. Følgende Galileo services er planlagt:

- *Open Service* – gratis og tilgængelig for alle, som vi kender GPS i dag. Denne service vil blive tilgængelig som det første i 2014.
- *Commercial Service* - service med højere kvalitet, bedre nøjagtighed og en service-garanti til professionelle brugere.
- *Safety of Life* – høj kvalitet og integritet f.eks. til marin navigation i kystnære områder og til luftfart.
- *Public Regulated Service* – krypteret og modstandsdygtig overfor jamming f.eks. til politi og beredskab.

- *Search and Rescue* – modtagelse og videreledning af nødsignaler til brug ved redningsaktioner f.eks. efter sneuskred i alperne eller uheld til søs.

De forskellige services vil gøre brug af forskellige signaler. Open Service vil primært være baseret på E1-frekvensen. Commercial Service bliver derimod baseret på data fra flere frekvenser for at opnå mulighed for korrektion for ionosfæreeffekten på signalerne, ved at anvende linearkombinationer af observationer fra de forskellige frekvenser i positionsberegning.

Fordele ved Galileo for slutbrugere

Alle der bruger GPS i dag vil fremover få mulighed for at bruge kombinerede Galileo-GPS-modtagere. Det betyder, at man kan få signaler fra dobbelt så mange satellitter og det giver en hurtigere og mere nøjagtig positionering primært i by- og skovområder, hvor mange satellitsignaler er blokeret af bygninger eller træer.

Der er også andre grunde til at Galileo-positionering vil blive mere robust end GPS som vi kender det i dag. Galileo-signalerne bliver designet så de er mere modstandsdygtige overfor jamming og interferens, og de nye frekvenser med Galileo giver bedre mulighed for at håndtere den ionosfæriske effekt på satellittsignalerne.

Galileo og forskning

I dag bliver både GPS og Glonass anvendt til mange forskellige former for forskning. Det vil også blive tilfældet med Galileo. ESA har nedsat en *GNSS Scientific Advisory Committee* der arbejder både for at sikre at den naturvidenskabelige forsknings ønsker til Galileo når frem til ESA, og for at sikre at Galileo bliver brugt til forskning. Arbejdet har blandt andet resulteret i et *Galileo Science Opportunity Document* udgivet af ESA [3].

En af de store forskningsmæssige anvendelser for Galileo forventes at blive geodynamik, hvor Galileo, sammen med GPS og Glonass, kan anvendes til monitorering og analyse af bevægelser i jordoverfladen, hvilket på sigt vil lede til en bedre forståelse for processerne, og i sidste ende give forbedrede varslingsystemer for jordskælv og tsunamier.

Ud fra analyse af de modtagne satellitsignaler vil Galileo også blive anvendt til troposfære- og ionosfærefysik. Det er forskningsområder som allerede i dag anvender GPS-signaler, men med kombinationen af GPS og Galileo kan man nå langt videre f.eks. indenfor meteorologi med modellering af vanddamp i atmosfæren, så vi kan få bedre vejrudsigter, eller indenfor rumfysik med modellering af elektrisk aktivitet i ionosfæren, så vi på sigt kan få en bedre forståelse for processerne bag f.eks. nordlys.

Den nye generation af atomure der anvendes i Galileo-satellitterne er interessant som baggrund for yderligere metrologisk forskning i retning af bedre ure, dels for udvikling af mindre og bedre enheder med samme egenskaber, men også for udvikling og forbedring af ny teknologi som f.eks. de optiske atomure.

Afslutningsvis bør det nævnes at der selvfølgelig også forskes i hvordan beregningerne, der ligger til grund for positionsbestemmelse med Galileo, kan forbedres med det formål at opnå mere robuste og mindre støjfølsomme algoritmer. Der forskes også i hvordan GPS, Galileo og Glonass bedst muligt kan kombineres via bl.a. nye metoder til positionsberegning og signalbehandling.

Litteratur

- [1] Dueholm, K., Laurentzius, M., og Jensen, A.B.O. (2005), GPS, 3. udgave, Nyt Teknisk Forlag. København, 2005. Både papirbog og e-Bog.
- [2] Nielsen, A.A. (2009), Least Squares Adjustment: Linear and Nonlinear Weighted Regression Analysis. DTU Lecture Notes. <http://www2.imm.dtu.dk/pubdb/p.php?2804>
- [3] European Space Agency, Galileo Science Opportunity Document ver. 2.0, 2010-04-23. http://egep.esa.int/egep-public/file/GSOD_v2_0.pdf
- [4] de Bakker, P.F, Marel, H.v.d., Tiberius, C.C.J.M. (2009), Geometry-free undifferenced, single and double differenced analysis of single frequency GPS, EGNOS and GIOVE-A/B measurements. GPS Solutions, 13:305-314. <http://www.springerlink.com/content/y2q6wn3j8p131123/>
- [5] For mere information om Galileo se evt.: <http://www.esa.int/esaNA/galileo.html>



Anna B.O. Jensen er tidligere lektor ved DTU og arbejder i dag med GNSS relaterede udviklings- og forskningsopgaver ved AJ Geomatics. Underviser desuden fortsat på DTU.

PFEIFFER VACUUM

Trinos Vacuum
nu en del af Pfeiffer Gruppen



Kan rekvireres ved henvendelse:

Tlf. 4352 3800 Fax 4352 3850
efa@pfeiffer-vacuum.dk

KVANT søger frivillige til faglig og pædagogisk korrekturlæsning

Hvis du kan svare ja til nogle af nedenstående punkter kan du overveje at blive tilknyttet KVANT-redaktionen.

- Du har en uddannelse indenfor de fysiske fag
- Du er bredt interesseret i fysik
- Du er interesseret i at fysik formidles på dansk
- Du har erfaring med at læse og rette andres tekster
- Du er god til at formulere dig skriftligt og god til retstavning og grammatik.

Har du tid og lyst til at præge KVANT, kan du sende en e-mail til kvant@kvant.dk eller ringe på 22672642, og høre nærmere om opgavernes art og omfang hos redaktøren Michael Cramer Andersen.