

Satellitnavigasjon med GPS

Innledning

Systemet som omtales som GPS heter egentlig NAVSTAR-GPS. Dette er en forkortelse for *NAVigation System with Time And Ranging-Global Positioning System*. På norsk: "Navigasjonssystem med tidsangivelse og globalt dekkende posisjoneringssystem". Systemet er utviklet av det amerikanske forsvaret.

En GPS-mottaker som kontinuerlig har informasjon om posisjon og tid, vil også kunne regne ut hastigheten som man til enhver tid forflytter seg med. GPS'en viser 3-dimensjonal posisjon, dvs. at den angir ikke bare lengde- og breddegrad, men også høyde over havet. Dersom man skal forflytte seg mot en kjent posisjon, X, vil GPS'en kunne regne ut retningen (ta ut kursen). Dette er mye brukt i fly og på båter. GPS har svært mange bruksområder på grunn av den gode nøyaktigheten og den lave prisen på enkle mottakere.

Systemets oppbygning

Systemet kan deles inn i tre deler:

- Satellitt-/rom-segmentet
- Kontrollsegmentet
- Brukersegmentet

Satellitt-/rom-segmentet består i dag av 24 såkalte blokk-2 satellitter i bane rundt jorden. Banen er på ca 20200 kmoh med inklinasjonsvinkel på 55°. Satellittenes omløpstid er på rett under 12 timer. Av de 24 satellittene er det til enhver tid 21 som er i bruk, og 3 som ligger ubrukte, klar til å settes i drift dersom andre satellitter skulle havarere. En GPS-satellitt har en gjennomsnittlig levetid på 6 år. Med en slik oppbygning vil alltid minst fire satellitter være "synlige" for en mottaker på jorden. (En "synlig" satellitt er pr. definisjon minst 5° over horisonten.)

Signalene som sendes ut fra satellitten er to spredt spektrum modulerte bærebølger - betegnet L_1 og L_2 . Frekvensene er ca 1,2 og 1,6 GHz. ($L_1=1575,42\text{MHz}$ og $L_2=1227,60\text{MHz}$)

Kontrollsegmentet består av en hovedkontrollstasjon i Colorado Springs og fem andre monitorstasjoner spredt rundt i verden. Data som blir mottatt fra monitorstasjonene blir sendt til Colorado Springs. Her blir informasjonen analysert, og eventuelle feil i satellittenes banedata og atomur (hver satellitt inneholder et ultra-presist atom-urverk) blir beregnet. Tre ganger i døgnet blir satellittene oppdatert (korrigert) fra hovedkontrollstasjonen.

Brukersegmentet består av antenner og mottakere tilknyttet en computer som behandler de mottatte rådata fra satellittene og beregner posisjon, fart, tid, kurs, osv. Brukersegmentet er altså den delen av systemet som omfatter selve GPS-mottakerne.

Prinsippet for posisjoneringen

De fire verdiene som en GPS-mottaker skal finne er: Tid (klokkeslett), Høyde (moh), breddegrad og lengdegrad.

De data som blir sendt ut fra hver enkelt satellitt er:

Satellittens nøyaktige posisjon i rommet og nøyaktig klokkeslett for utsendelsen av data'ene.

Når GPS'en mottar dette fra fire satellitter samtidig (dvs med 0-16,7ms forsinkelse mellom mottatte data fra de forskjellige satellittene, pga forskjellig avstand ut til satellittene alt etter hvor på himmelen de står) vil den ha data til å løse et matematisk ligningssett på fire likninger der de ukjente er GPS'ens bredde, lengde, høyde og tid.

Før denne beregningen blir foretatt bestemmer GPS'en seg for hvilke av de synlige satellittene som skal brukes til posisjoneringen. Dersom man strekker rette linjer fra GPS'en og ut til de forskjellige satellittene, skal de satellittene som har linjer som står mest mulig vinkelrett på hverandre velges. Disse satellittene har "god geometri".

God geometri betyr altså at stedlinjene for de forskjellige satellittene skjærer hverandre med en mest mulig rett vinkel. Et mål på hvor god geometri satellittene har er den såkalte DOP-verdien (Dilution Of Precision). GPS'en kan gi ut både Horizontal DOP (HDOP) og Vertical DOP (VDOP). Begge disse tallene er fra 0 ~ 100. Jo lavere jo bedre. En bra DOP-verdi er i størrelsesorden 2 ~ 4.

For f. eks. maritime brukere er høyden over havet en kjent størrelse, og det er kun nødvendig med signal fra tre synlige satellitter for å regne ut posisjon og tid.

Dersom man på et skip også installerer atomur i GPS-mottakeren vil også tiden være en kjent størrelse. Man har da bare to ukjente størrelser, lengde- og breddegrad, og det er tilstrekkelig med signal fra to satellitter for å foreta en korrekt posisjonering. Etersom et atomur er svært dyrt er bruken av slikt utstyr minimalt utbredt.

Feil, nøyaktighet og sannsynlighet

Når GPS-mottakeren regner ut posisjonen er en av variablene i formlene tidsforskjellene mellom mottak av signal fra de forskjellige satellittene. Dersom ustabilitet i signalenes overføringstid oppstår vil GPS'en regne på grunnlag av feil data. Posisjoneringen blir mindre nøyaktig. Den type ustabilitet som gjør seg gjeldende er blant annet ustabilitet i de elektroniske kretsene og komponentene, samt ustabilitet i brytningsindeksen til stratosfæren og troposfæren. Ustabil brytningsindeks kan forsinke og avbøye signalene fra satellittene.

Denne typen problemer fordeler seg helt statistisk og kan ikke beregnes. Derfor blir en GPS-posisjon alltid oppgitt til å være innenfor en radius av X meter, med Y% sannsynlighet. Verdien X er nøyaktigheten.

Et eksempel: Min posisjon er oppgitt til å være: 59°39'42"N / 06°00'13"
nøyaktighet: 60m
med en sannsynlighet av: 67%

Dette betyr at det er 33% sjans for at jeg er mer enn 60m fra oppgitt posisjon. Ettersom feilfordelingen er rent statistisk kan jeg regne om og oppgi nøyaktighet av **50m med 50%**, eller **100m med 95%** sannsynlighet. Det er altså 50% sjans for at feilen er over 50m, og det er 5% sjans for at feilen er over 100m.

Feilsirkler

Som vist over er det flere måter å angi nøyaktigheten av en posisjon på. De forskjellige sannsynlighetsnivåene 50%, 67%, 95% og 98,5% har fått egne betegnelser:

Betegnelse:	Sannsynlighet:	Radiusforhold:
CEP / CEP50%	50 %	1,0
dRMS / d_{RMS} / CEP67%	67 %	1,2
CEP95%	95 %	2,0
2dRMS / $2d_{RMS}$	98,5%	2,4

Dersom nøyaktigheten er **CEP = 70m** ...kan man også si at den er **$2d_{RMS} = 168m$**

På et kart kan man plote inn et punkt i GPS'ens oppgitte posisjon. Rundt punktet slår man sirkler med radius lik 70, 84, 140 og 168 meter. I sistnevnte eksempel ville vår virkelige posisjon være med 50% sannsynlighet innenfor den innerste sirkelen. Med 67% sannsynlighet var vi innenfor neste sirkel. Med 95% sannsynlighet var vi innenfor den nest ytterste sirkelen, og sjansen for at vår reelle posisjon var utenfor ytterste sirkelen er bare 1,5%.

Disse eksemplene omfatter bare 2-dimensjonal posisjon, dersom man også er interessert i høyden må 3-D-nøyaktigheten vurderes. Denne oppgis i SEP (Spherical Error Probable) og $SEP = 65m$...betyr at virkelig posisjon er (med 50% sannsynlighet, som i CEP) innenfor et kuleskall (med 65m radius) rundt oppgitt posisjon.

Militære og sivile brukere

Militære brukere får en 2-dimensjonal nøyaktighet på 14-18m (95% sannsynlighet). De militære GPS-mottakerne bruker begge frekvensbåndene (1,2 og 1,6 GHz). Dette gjør at problemet med ustabilitet i signaloverføringen gjennom tropos- og stratosfæren blir redusert. Denne tjenesten kalles PPS - Precise Position Service.

Sivile brukere har i utgangspunktet en 2-dimensjonal nøyaktighet på 18-25m (95% sannsynlighet). Frekvensen som brukes er 1,6 GHz. Denne tjenesten er vanligvis ikke tilgjengelig, siste gang var under Gulf-krigen, tjenesten kalles SPS - Standard Position Service.

Av sikkerhetsmessige grunner har amerikanerne valgt å legge inn feil på signalene til de sivile brukerne. Dette fører til en nøyaktighet på 100m (95%). Dette omtales som "Begrenset adgang for sivile brukere". På engelsk: SA eller S/A - Selective Availability.

I et nytt vedtak har amerikanerne bestemt at i løpet av år 2006 skal SA fjernes slik at sivile brukere får full utnyttelse av SPS. Dette vil forbedre nøyaktigheten til vanlige billige GPS'er med opptil ca 4 ganger!

Kartsystem

Når man lager et kart og refererer bredde og lengde med stedlinjer så er det viktig å vite hvilken modell som er brukt for å representere jordklodens form. Det finnes flere slike modeller, og et system som er mye brukt på nye kart er WGS-84 (World Geodetic System 1984). Dette kalles et *geodetisk datum*.

Vanligvis opererer en GPS etter WGS-84. På noen GPS'er kan imidlertid andre geodetiske datum velges. Forskjellen mellom to kart av forskjellig geodetisk datum kan være opptil flere hundre meter.

Differensiell GPS

Dette er en metode for å fjerne en stor del av nøyaktighetsforringelsen som SA (begrenset adgang for sivile brukere) og andre feilkilder tilfører systemet. Ved å plassere en korreksjonssender og en GPS på en kjent posisjon vil denne stasjonen kunne regne ut feilen i satellittenes posisjons-informasjon og tidsinformasjon for hver enkelt av de satellittene den "ser" på himmelen. Selv om ikke all feil i en GPS-posisjon skyldes SA kan også andre feil som skyldes f. eks. signalenes gang gjennom atmosfæren bli minimalisert, da også de opptrer på samme måte som om satellittene skulle være posisjonert litt feil, eller hadde en klokke-feil.

De utregnede korreksjon-signalene kan sendes ut til andre GPS-brukere, slik at de kan dra nytte av maksimal nøyaktighet på sin egen GPS. Signalene sendes ut på forskjellige måter, blant annet på NRK P2 sin bæreølge, over Inmarsat systemet (Inmarsat A terminal) og på mellombølge. De GPS'er som kan dra nytte av differensiell korreksjon har en egen inngang for disse signalene. Signalene har et standard-format som kalles RTCM SC-104.

Korreksjonssignaler kan brukes opptil 1000 km fra referanse-stasjonen som lager dem. Jo nærmere man er desto mer nøyaktig resultat får man.

Nøyaktigheten på DGPS er teoretisk sett $2d_{RMS} = 10m$...som er meget bra!
Mange tester har imidlertid vist at denne nøyaktigheten som regel er bedre enn 5m! ($2d_{RMS}$)

Erik Grindheim, 17.02.2000