

Forskning GNSS

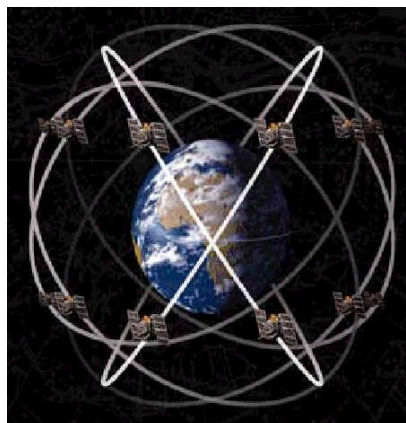
GNSS (Global Navigation Satellite Systems) är samlingsnamnet för globala satellitbaserade system för navigation, positionsbestämning och tidsöverföring. Det mest kända och använda systemet är det amerikanska systemet GPS (Global Positioning System) som fick operationell status 1994. Även Ryssland har sedan början av 1990-talet ett liknande system kallat GLONASS (Global Navigation Satellite System). GLONASS har däremot inte fått den genomslagskraft som GPS har haft, vilket i huvudsak berott på att systemet inte givits den ekonomi för underhåll och utveckling som GPS har haft och har. I tillägg till dessa system kan nämnas Galileo som är ett framtida europeiskt system och som är planerat att komma i drift vid slutet av detta årtionde.

SP och tid- och frekvensgruppen har en ganska stor verksamhet som rör alla tre nämnda system. Laboratoriet är utrustat med ett flertal mottagare för GPS och GLONASS, och medverkar i nationella och internationella grupper för utveckling och integration av Galileo.

Vår GNSS-station ingår i ett antal nationella och internationella nätverk av fast installerade GNSS-mottagare. Från 1996 ingår stationen i SWEPOS, ett svenskt nätverk med närmare 50 stationer placerade runt om i Sverige. SWEPOS drivs operationellt av Lantmäteriverket. Från 2001 ingår stationen också i ett internationellt nätverk IGS (International GNSS Service) bestående av ett par hundra stationer över hela världen.

Vår FoU inom GPS och GLONASS omfattar flera olika typer av applikationer och användningsområden. Framför allt rör det tids- och frekvensöverföring, men vi har också stor verksamhet inom statisk och dynamisk positionering samt inom modellering av atmosfären. Nedan går vi kort igenom den utrustning vi har till vårt förfogande och ger exempel på FoU aktiviteter.

Grundkonfigurationen av GPS består av 24 satelliter men idag cirkulerar närmare 30 satelliter runt jordklotet



GNSS-utrustning

Tid- och frekvenslaboratoriet använder kontinuerligt ca sju stycken GPS-mottagare, varav en är en kombinerad GPS/GLONASS-mottagare, för olika applikationer. Fyra av dessa är så kallade kod-mottagare som används för tid- och frekvensjämförelser. Tre stycken är så kallade geodetiska mottagare som även har möjligheten att mäta på fasen på bärvågen från satelliterna, vilket ger betydligt mer precisa mätningar.

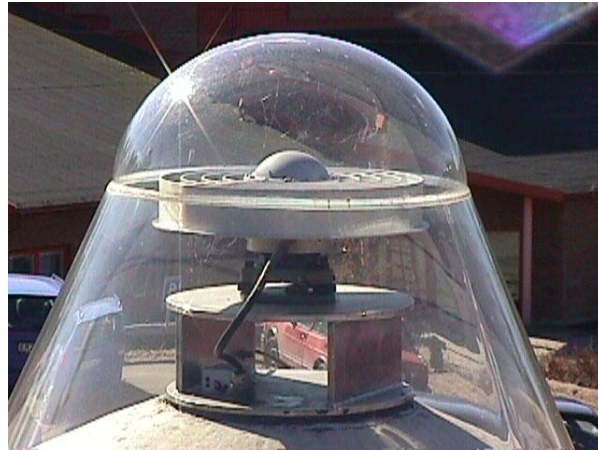
Mottagarna är placerade i laboratoriet och får sin signal från en och samma antenn via en temperaturreglerad ca 70 meter lång antenkabel och en effektdelare. Antennen är placerad på en 3 meter hög armerad och temperaturreglerad betongpelare och innanför en radom för att skydda den mot väder och vind (se figurer). Pelaren är förankrad i urberget med hjälp av armeringsjärn. Antennkabeln som delvis är synlig innanför radomen, går genom ett rör i pelaren och under jord. Genom röret går också kylvatten som används för temperaturregleringen av kabel och pelare.

På ett antal ställen i systemet finns temperaturgivare som kontinuerligt registrerar temperaturen hos bland annat omgivningen, pelaren, radom och kylvattnet i röret med antenkabel. Anledningen till att så mycket som möjligt av utrustningen måste vara temperaturkontrollerad är de systematiska fel som uppstår vid variationer i omgivningstemperatur. Dessa variationer skapar i sin tur variationer av signalens gångtid i olika komponenter, vilket påverkar framförallt tidmätningar. Vi har också utvecklat en metod för temperaturkontroll av luften i radomen. Detta innebär att även antennen med dess förstärkare befinner sig i en omgivning med jämn temperatur. Metoden hindrar också snö och is från att ansamlas på radomen, vilket kan påverka noggranna mätningar.

GNSS-pelare på SP

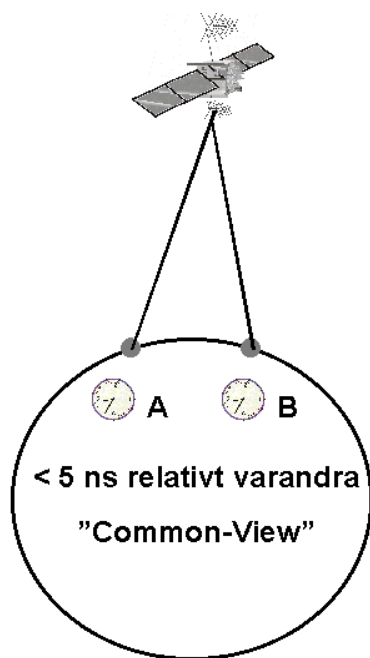


*Toppen av GNSS-pelaren
med radom och choke-ring
antenn med förförstärkare*

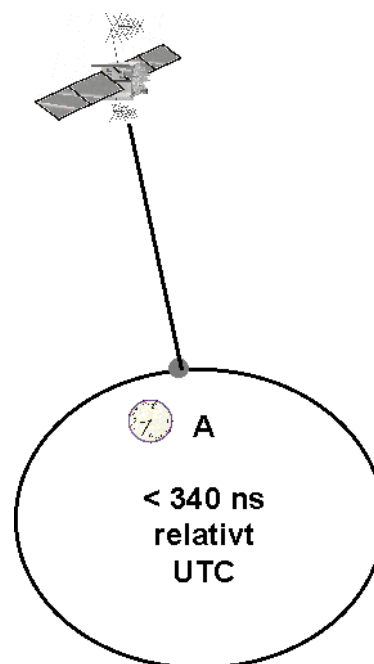


Forsknings- och utvecklingsprojekt

GNSS och framförallt GPS används allt flitigare inom en rad olika applikationer och beroende på noggrannhetskrav så varierar utrustning och metod. Vår forskning är främst inriktad på att utveckla nya metoder för mer noggranna mätningar, men vi genomför även riktade studier och systemutveckling med redan beprövad teknik. Nedan ges några exempel inom olika områden.



Direkt tidmätning med GPS



*Tidmätning mellan två
laboratorier med GPS Common-
View tekniken och kod-
mottagare*

SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut

A Member of United Competence

Postadress
SP
Box 857
501 15 Borås

Besöksadress
Västeråsen
Brinellgatan 4
504 62 Borås

Telefon / Telefax
010-516 50 00
033-13 55 02

E-post / Internet
info@sp.se
www.sp.se

Bankgiro
715-1053

PlusGiro
10 55-3

Org.nummer
556464-6874

Tid och frekvens

För att kunna positionera sig med hjälp av en GNSS-mottagare måste i princip mottagaren observera minst fyra satelliter. Tre används för att beräkna en tredimensionell position och en satellit används för att beräkna tidsskillnaden mellan klockan i mottagaren och klockorna i satelliterna. Tidsskillnaden måste alltid beräknas eftersom en positionsbestämning med GNSS i grunden är en tidintervallmätning. Mottagaren mäter tidintervallet det tar för signalen att gå mellan satelliten och mottagaren, vilket innebär att de båda klockorna måste vara synkroniserade. Genom att multiplicera tidintervallet med ljusets hastighet fås avståndet till satelliten vilket används för att beräkna positionen. Eftersom tiden i satelliterna är uppmätt relativt UTC, kan också klockan i mottagaren synkroniseras till UTC vilket utnyttjas för att studera andra klockor eller oscillatorer.

Mätning av tid och frekvens med hjälp av kod-mottagare

De flesta mottagare som är avsedda för tid- och frekvensapplikationer har en utgång med sekundpulser som är spårbara till UTC enligt ovan. Dessa pulser kan användas för att karakterisera och kalibrera egna klockor eller oscillatorer. En direkt mätning enligt denna metod ger en noggrannhet på bättre än 300 ns relativt UTC. Noggrannheten vid en frekvensjämförelse blir ungefär $1E-12$ om man mäter under flera timmar. Noggrannheten begränsas av bland annat osäkerheter i satellitens positionsangivelse och klockor samt signalfördröjningar i atmosfären.

Ibland är denna noggrannhet inte tillräcklig och man kan dessutom vara i behov av att jämföra sin klockor och oscillatorer direkt mot en speciell nationell referens. Man kan i båda dessa fall utnyttja en teknik som kallas "Common-View" (CV). CV-mätningar innebär att minst två laboratorier observerar samma satellit vid samma tidpunkt. Det är i detta fallet mycket viktigt att man antingen observerar en satellit i taget eller att man i efterhand kan beräkna tidsskillnaden mellan sin egen klocka och klockan i varje satellit. Efter en sammanställning (differentiering) av mätningarna erhålles ett mått på tidsskillnaden mellan klockorna i de olika laboratorierna. Eftersom mätningarna differentieras försvinner det mesta av osäkerheten i satellitens position och signalfördröjningar i atmosfären, till en grad som beror på avståndet mellan laboratorierna. All osäkerhet hos satelliternas klockor försvinner eftersom denna är exakt lika för båda laboratorierna. En mätning enligt denna metod kan ge en noggrannhet på bättre än 5 ns relativt ingående laborieklockor. Noggrannheten vid en frekvensjämförelse blir ungefär $5E-14$ om man mäter under flera timmar.

Common-View tekniken är av stort intresse för oss eftersom metoden används för att mäta upp våra klockor och vår tidsskala UTC(SP) i förhållande till UTC och TAI. Metoden har under senare år utvecklats genom användandet av flerkanals-mottagare och GLONASS-mottagare, och häri ligger det största delen av vår FoU med kod-mottagare. Vi har till exempel utvecklat ett system för att automatiskt och kontinuerligt mäta upp klockor och oscillatorer relativt UTC(SP) utan att utrustningen behöver skickas till SP.

Mätning av tid och frekvens med hjälp av fas-mottagare

För de mest noggranna klockorna och oscillatorerna räcker idag inte kod-tekniken till. För att förbättra noggrannheten vid tidsjämförelser med hjälp av GNSS måste man utnyttja mer sofistikerade mottagare som har möjlighet att mäta på fasen på bärvågen från satelliterna.

Metoden kan ge en noggrannhet på några tiotals picosekunder och en frekvensnoggrannhet på $1E-16$ om man mäter under ett dygn. Denna noggrannhet kräver avancerade beräkningar av satelliternas position och klockor samt av signalens fördröjningar i atmosfären, och i de flesta fall en efterbearbetning av insamlade mätningar.

De största felkällorna härrör framförallt från temperaturvariationer i omgivningen som påverkar signalfördröjningen i utrustningen samt problemet med att bestämma den konstanta tidsfördröjningen i mottagaren. Den sistnämnda felkällan påverkar endast en absolut tidmätning varför metoden i huvudsak hittills använts för frekvensmätningar. En stor del av vår forskning kring tid och frekvensmätning med hjälp av fas-mottagare för GPS och GLONASS rör dessa felkällor. Vi utvecklar också metoder för beräkningar i realtid (se nedan).

Positionering, Atmosfärsstudier, och Simuleringar

Genom ett nära samarbete med Onsala rymdobservatorium vid Chalmers Tekniska Högskola bedrivs även forskningsprojekt som inte direkt innefattar området tid och frekvens, men som i förlängningen utnyttjas för att förbättra noggrannheten inom även det området.

Speciellt studeras tre områden:

• Statisk och dynamisk positionering i realtid

Här utnyttjas ett nätverk av fasta GPS fas-mottagare (referensstationer) för relativ positionering med en noggrannhet på cm-nivå. För att positioneringen skall fungera i realtid måste korrekationer för satellitbanor och klockor samt atmosfärsförhållanden beräknas, framförallt för jonosfären, och överförs i realtid till användaren. Detta sköts genom ett format kallat RTCM som överförs via de digitala RDS/DARC-kanalerna på FM-bandet.

Metoden används idag redan i stor utsträckning, framförallt med hjälp av kod-mottagare (DGPS) men även med hjälp av fas-mottagare. Dock kräver det sistnämnda att referensstationerna inte är stationerade längre bort från användaren än ca 20 km. Detta beror på att inga atmosfärskorrekationer överförs vilket betyder att metoden förutsätter samma atmosfärsförhållanden.

För att undvika den stora mängd av referensstationer detta kräver för en nationell tjänst, studerar SP och Chalmers metoder för att i realtid beräkna de atmosfärsförhållanden som gäller för användaren och referensstationerna. Detta görs med hjälp av data från nationella nät med referensstationer stationerade på längre avstånd från varandra. SWEPOS är ett sådant nät med stationer distribuerade över hela Sverige med ett medelavstånd mellan stationer på ca 200 km.

• Karakterisering av atmosfärsförhållanden i nära realtid

Dessa studier har ett nära samband med projektet ovan och har som mål att så noggrant som möjligt karakterisera jonosfären och troposfären med avseende på innehåll och signalfördröjning. Troposfären består till stor del av vattenånga, en gas

som varierar i mängd beroende på väderleksförhållanden. Mängden vattenånga och variationer i denna kan utnyttjas till exempel som stöd till beräkning av väderprognoser. Eftersom mängden vattenånga i jordens atmosfär är den bästa indikatorn på globala temperaturförändringar så är detta också en viktig parameter inom miljöforskning.

- **Simuleringar av mottagningsförhållanden**

För en planerad mätsejour kan i många fall vara nyttiga och tidsbesparande. Simuleringar kan till exempel avgöra val och placering av mottagarutrustning eller vid vilken tidpunkt mätningen lämpligast genomförs för bästa möjliga noggrannhet. SP och Chalmers har utvecklat programvara för simuleringar i olika mätmiljöer för detta ändamål.