

Het LOCOPROL/LOCOLOC Project

LOw COst satellite based train LOCation system for signalling
and train PROtection for Low density traffic railway lines

Deel 2

**Een veilige positionering gebaseerd op LEO-satellieten
Wat maakt dat GPS-metingen niet precies zijn?
Welke fouten kunnen er zoal voorkomen?**

In de vorige uitgave van FOCUS (nr 49) hebben we het gehad over het project LOCOPROL in zijn geheel. In deze bijdrage gaan we dieper in op de problematiek van het gebruik van de GPS-signalen. De GPS-meting steunt op het principe van het meten van de tijd dat een signaal vertrekkende van de satelliet nodig heeft om de ontvanger te bereiken. Deze metingen zijn echter niet zo eenvoudig als men denkt en tal van kleine fouten zijn aanwezig. In dit artikel worden de fouten opgesomd en aangegeven hoe zij een invloed hebben op het bereiken van de SIL-4 norm.

In een volgend artikel (Focus 51) wordt dan beschreven hoe men deze fouten zal wegwerken om toch een trein veilig te kunnen positioneren met het oog op het realiseren van de specifieke doelstelling van dit project, namelijk het bouwen van een "veilig" low cost systeem waarbij men wenst dat het ongeveer 50% goedkoper is dan de gebruikte klassieke systemen met spoorstroomkringen, assentellers enz..

Een veilige positionering gebaseerd op LEO-satellieten

I. Inleiding.

In het vorig deel (zie Focus 49) werd eerder de historie van het ontstaan van het LOCOPROL project geschetst. In dit tweede deel en volgende delen (volgende Focus 51) wordt dieper ingegaan op enkele facetten en problemen die bij de praktische verwezenlijking van dit systeem een rol spelen en vooral op wat nu zo innovatief is aan dit project voor het positioneren van een trein, namelijk het bereiken van de SIL4 norm bij het bepalen van de plaats via het gebruik van satellieten.

II. Het hoofdprincipe en het innovatieve van het LOCOPROL-project: zekerheid en "veiligheid voor alles" primeren op de nauwkeurigheid van de positionering!

Een positionering

Vele projecten waarbij ook satellietnavigatie gebruikt wordt, willen vooral precisie bereiken.

Dit moet zeker indien men bijvoorbeeld aan landmeten doet. Hierbij staat het apparaat stil en men kan na enkele minuten via het gemiddelde van honderden metingen toch een precieze meting verkrijgen.

De positionering van een rijdend voertuig is moeilijker. Het feit dat de berekening wat tijd in beslag neemt maakt dat ze niet zo maar precies kan zijn. Bij alle verkeersvormen waar men op zicht rijdt, heeft dit geen invloed daar de plaatsbepaling geen veiligheidsfunctie is. De bestuurder maakt automatisch de correcties bij onnauwkeurige aanduidingen.

Bij het gebruik van satellieten voor een plaatsbepaling in de regeling van het treinverkeer krijgt deze meting een **veiligheidsfunctie** en dit verandert volledig de omstandigheden waarin een GPS-meting zal gebruikt worden.

Veiligheidsfunctie = voldoen aan SIL-4

Het bepalen van de plaats via satellietnavigatie is op zich zelf niet meer nieuw, doch het bepalen van de plaats **met een zekerheid die de SIL4-norm bereikt** en dus voldoet aan de nor-

men voor het gebruik van een dergelijke methode in de seinrichting is helemaal nieuw.

Vele projecten voor localisatie vertrekken van het standpunt dat men de trein zo nauwkeurig mogelijk moet localiseren doch daarbij kunnen ze tot nog toe niet garanderen dat hun systeem aan de SIL-4 norm en dus de Europese norm voor de veiligheid van de seinrichting voldoet. Maar nauwkeurigheid is niet het hoofddoel van het Locoprol project. Dit zou wel het geval zijn, indien men bij een dubbele spoorbaan of in een rangeerstation via satellietnavigatie wenst te weten op welk spoor de trein rijdt, doch dit is niet de doelstelling van het project. Veiligheid gaat voor.

Low cost blijven

Overigens, zoals men verder ook kan lezen, zal het verhogen van de nauwkeurigheid ook aanleiding geven tot het verhogen van de kostprijs van de uitvoering van het project en één der doelstellingen is juist een "low-cost" project te hebben. Immers, via een beschrijving van de infrastructuur en het opvolgen van de stand van de wissels kan men ook weten op welk spoor de trein rijdt.

Zekerheid haalt het op precisie

Het vertrekidee van het veilig positioneren van de trein steunt op het feit dat men een beetje zoals in de quantummechanica slechts één van de twee volgende gegevens terzelfdertijd correct kan bepalen: ofwel wil men zeer precies weten waar de trein is maar dan heeft men slechts een kleine zekerheid dat het gegeven juist is, ofwel eist men een zeer grote zekerheid en dan weet men niet zo precies waar de trein is maar men weet dan wel **heel zeker dat hij zich in een bepaald interval bevindt**.

Men gaat dus de aandacht zetten op de **zekerheid** dat de trein zich in een bepaalde zone, een **betrouwbaarheidsstrook** of "**confidence-interval**", bevindt en niet zo zeer op de **precisie** om te weten waar hij zich juist in dit interval bevindt.

Zoals men in een volgende bijdrage zal kunnen lezen wordt dit betrouwbaarheidsinterval bekomen door de plaatsbepaling van een bepaald punt te verruimen tot een interval dat bepaald wordt door de berekende plaats uit langs weerszijden uit te breiden met 2 maal de standaardvariatie van de metingen met de gebruikte ontvanger. Deze zone omhelst zogezegd alle mogelijk-

ke fouten op de meting waarover we het hierna zullen hebben. Naargelang de kwaliteit van de ontvanger en dus ook zijn prijs zal deze zone smaller of breder zijn. Aldus kan men bewijzen dat men bij in acht name van dit interval een zekerheid voor die GPS-meting bekomt van 10^{-4} . Dit is natuurlijk onvoldoende voor de SIL-4 norm.

Aldus valt men terug op het principe zoals dit in de seinrichting voor de veiligheid vereist is. Namelijk het indelen van het spoor in bloksecties: men weet heel zeker dat de trein in de bloksecties is maar men weet niet zeker waar hij zich juist in de sectie bevindt. In een dergelijk betrouwbaarheidsinterval of sectie, vermeerderd met de treinlengte, mag zich nooit een andere trein bevinden.

III. De GPS-meting

III.1 Het principe van een GPS -meting

Iedereen kent ondertussen het GPS (Global Positioning System) systeem dat omstreeks 1990 voor het eerst in de oorlog tegen Irak op grote schaal toegepast werd. Het systeem bestaat uit een 24 satellieten en 4 reservesatellieten die op ongeveer een hoogte van ongeveer 19.500 km tweemaal per etmaal rond de aarde cirkelen. Hun snelheid bedraagt ongeveer 3750 m/s. Hun banen zijn zo verdeeld over de aardbol dat op elk punt van de aarde er op elk ogenblik normaal 5 zichtbaar moeten zijn.

Alle satellieten beschikken over een atoomklok en zenden tegelijk uit op twee frekwenties L1 en L2 genoemd. De uitgezonden berichten zijn gecodeerd en bevatten tal van gegevens. Men noemt dit de Pseudo Random Code of PRC-code en elke satelliet heeft zijn eigen code. Het leger gebruikt daarbij een speciale geheime code: de P-code genoemd.

Van zodra de ontvanger het signaal ontvangt probeert hij tal van codes uit om aldus uit dit signaal waarvan de ruis in amplitude groter is dan het signaal zelf, de juiste code en juiste satelliet te detecteren.

Volgende gegevens zijn o.a. steeds aanwezig: het nummer van de satelliet, haar positie, de tijd van het verzenden van het bericht, de efemeriden - dit is een tabel met de opeenvolgende posities van een hemellichaam - en ook nog andere parameters die bij die berekening van de plaatsbepaling noodzakelijk zijn.

De antenne op aarde zal nu de signalen van alle satellieten die in haar gezichtsbereik vallen, ontvangen en deze decoderen. De ontvanger registreert aan de hand van zijn eigen klok, de aankomsttijd (TOA= time of arrival) van het bericht en zal daarmee de afstand van de antenne tot de satelliet berekenen. De afstand = voortplantingssnelheid van de radiogolf (ongeveer 300.000km/s) X de tijd. Deze tijd bedraagt dus minstens 20000/300.000 \approx 0,066 seconden. Men noemt dit een pseudoafstand of in het engels een pseudorange. Het woord pseudo is toegevoegd omdat op deze berekende afstand heel wat kleine fouten zitten. Deze worden hierna besproken.

Indien men aldus de boodschappen van drie satellieten tegelijk kan ontvangen, dan kan men theoretisch met de boldriehoeksmeetkunde de juiste plaatscoördinaten van de antenne op aarde berekenen. Een vierde satelliet signaal is nodig om de verschillen op de klokken, vooral tussen de klok van de satelliet en deze van de ontvanger, te kunnen wegwerken.

De berekening van de juiste positie van de ontvanger (hoogte en azimuth) ten opzichte van een coördinatenstelsel in het centrum van de aarde (oplossen van een stelsel met 4 of meer vergelijkingen en 4 onbekenden) is niet eenvoudig en vraagt krachtige processoren om dit in een zo kort mogelijke tijd uit te voeren. Men zal dus naar methoden zoeken om dit te vereenvoudigen.

III.2 De kwaliteit van een GPS-meting.

De kwaliteit van een meting houdt verband met de nauwkeurigheid. Waar men theoretisch aan één enkele GPS-meting met slechts 3 satellieten voldoende heeft om de coördinaten te berekenen, blijkt in de praktijk een dergelijke meting absoluut onbetrouwbaar is. Dit komt doordat er bij de meting tal van fouten optreden.

Daarbij zijn ook de aangewende ontvangers met hun berekeningsmodellen niet evenwaardig. Zo heeft de hoogte van de satelliet boven de horizon (de elevatie) en de sterkte van het signaal een invloed en men bekomt een andere spreiding van de berekende waarden naar gelang de gebruikte ontvanger en het erin aanwezige rekenmodel.

III.3 De GPS-meting als positioneringsmiddel in de seinrichting.

Wil men nu een GPS-meting voor de localisatie van een trein in de seinrichting gebruiken, dat is dit slechts mogelijk indien men kan aantonen dat de kwaliteit van de gegevens voldoet aan de zeer strenge SIL4-norm.

III.4 Aangewende technieken ter verbetering van de kwaliteit en dus de nauwkeurigheid van een GPS-meting.

III.4.1 Vereenvoudiging door uitschakelen van een dimensie

- één coördinaat kan als constant verondersteld worden

Een vereenvoudiging kan bereikt worden indien het mogelijk is om 1 coördinaat als ongeveer een constante te beschouwen. Dit is het geval bij het zeeverkeer waar men voor de zeespiegel overal een bepaalde hoogte ten opzichte van het centrum van de aarde aanneemt. Men komt dan van een 3-D model naar een 2-D model. Door een daling van het aantal onbekenden, gaat de berekening vlugger en heeft men aldus ook minder zichtbare satellieten nodig om toch reeds een voldoende nauwkeurigheid te bekomen.

- het traject van het bewegend voorwerp is bekend

Dit is het geval bij spoorverkeer waar men het traject op voorhand kent. Men hoeft nog enkel te bepalen waar het voorwerp zich op het traject bevindt. Hierbij kan men gebruik maken van het 1-D (ééndimensioneel) algoritme (zie volgende Focus 51) zoals dit bij het Locoprol-project het geval is. Met het waarnemen van één enkele satelliet heeft men theoretisch genoeg om de plaatsbepaling uit te voeren.

III.4.2 Uitvoeren van meerdere metingen

Bij een ontvangst van meerdere satellieten kan men telkens met koppels van 4 satellieten een berekening maken en dan kan men daaruit met de statistische methoden van "het gemiddelde" en de "kleinste kwadraten" het meest waarschijnlijke resultaat bepalen. Hoe sterker de rekenenheid van de ontvanger is hoe vlugger men resultaat heeft en hoe meer berekeningen men per seconde kan maken. Zo kan men bij een statische meting door het grote aantal me-

tingen reeds een goede nauwkeurige meting te bekomen.

Voor heel wat toepassingen waarbij men geen grote precisie vereist en waarbij veiligheid geen rol speelt, is deze methode voldoende.

Dit is o.a. het geval voor handterminals en de GPS in auto's.

Opmerking: in de auto's is het GPS-toestel, zeker bij de duurderde installaties, gekoppeld aan een gyroscoop en aan de afstandsmeter. Zo is het mogelijk ook in kleine tunnels nog de weg aan te tonen en het draaien van de wagen ter plaatse aan te duiden.

Wil men nog betere resultaten dan kan men gebruik maken van een ontvanger met KALMAN-filters. Dit is een algoritme dat steunt op artificiële intelligentie en waarbij meetresultaten die klaarblijkelijk als onwaarschijnlijk overkomen wegens hun te grote afwijkingen automatisch niet in aanmerking genomen worden. Natuurlijk wordt dan de ontvanger weerom wat duurder.

III.4.3 Gebruik van de differentiële GPS

Bij deze methode gaat men gebruik maken van een tweede antenne die op een welbepaalde plaats opgesteld staat. Indien men nu via een voorafgaande juiste meting of via het Geografisch Nationaal Instituut de juiste coördinaten van de plaats kent, weet men welke afwijkingen er op de GPS-meting van dit punt zitten. Met deze correcties kan men dan zeer juist de positie van de andere antennes, die zich binnen een straal van maximum een 15 tal kilometer bevinden, berekenen. Hoe verder men van de basisantenne verwijderd is, hoe onnauwkeuriger de meting wordt.

Met deze methode is het mogelijk om een verstoring van het GPS-systeem die zeker in het begin door het Amerikaanse Leger op de burgerlijke frequentie gezet was, weg te werken. Ondertussen is sinds een tweetal jaren deze verstoring opgeheven doch ze kan nog steeds in kritieke omstandigheden teruggeplaatst worden. Anderzijds verhoogt het gebruik van hulpmiddelen als DGPS opnieuw de kostprijs van de plaatsbepaling en dit kan het voordeel van een "low cost" systeem hypothekeren. Men moet dan om de 30 km een antenne plaatsen met de nodige voeding en communicatieapparatuur.

III.4.4 Gebruik van correctiesatellieten: het systeem EGNOS (European Geostationary Navigation Overlay Service) en het systeem WAAS (Wide Area Augmentation System).

Het gebrek aan precisie door de vele fouten was een rem voor het gebruik van het GPS-systeem voor bepaalde toepassingen. Daarom heeft de ESA (European Space Agency), in afwachting van het operationeel worden van het systeem GALILEO, een eigen systeem ontwikkeld, EGNOS genoemd, en dit gekoppeld aan een eigen Europese geostationaire satelliet. Binnen Europa zijn een aantal punten bepaald waarvan men zeer precies de plaats kent en die zelf voortdurend GPS-metingen uitvoeren. De resultaten van deze metingen worden dan, aangevuld met de nodige passende parameters, maken het mogelijk de invloed van de fouten, waarover we het verderop zullen hebben, weg te werken. Dit alles wordt naar de EGNOS satelliet gestuurd en deze stuurt dan op dezelfde frequentie als de GPS-satellieten al deze gegevens door naar de GPS-ontvangers.

Aldus laat dit toe toch een zeer precieze meting te bekomen. Voor het ter beschikking krijgen van de EGNOS-informatie moet echter betaald worden.

Wil men dergelijke precisie metingen in Amerika of Azië uitvoeren dan moet men één der twee geostationaire Amerikaanse satellieten, WAAS 1 of 2 gebruiken.

Opmerkingen:

- het **gebruik van de EGNOS satelliet** laat toe om een hoge nauwkeurigheid van enkele centimeter te behalen. Doch, ondanks de hoge precisie, laat dit systeem nog niet toe de veiligheidsnorm SIL4 die in de seinrichting vereist is, te bereiken. Daarom wordt in het LOCPROL/LOCOLC project geen omstandig gebruik van deze satelliet gemaakt, ook al omdat dit de kostprijs van het project verhoogt.

- het **project GADEROS** waarover in de vorige uitgave van Focus gesproken is, maakt gebruik van het EGNOS signaal en kan aldus een hoge nauwkeurigheid bereiken. Dit project kan bij het opvolgen van rangeringen gebruikt worden, doch het haalt de SIL4 norm niet en wil men de SIL4 norm behalen, dan is bijkomende apparatuur nodig en dit verhoogt op zijn beurt de kostprijs.

IV De fouten bij een GPS-meting.

IV.1 Fouten op de horloges.

De klokken van de satellieten.

De satellieten zijn voorzien van atoomklokken. Deze werken op een frequentie van ongeveer 10.23 Mhz of de kleinste tijdseenheid die ze kunnen weergeven is ongeveer een 10 miljoenste van een seconde. Welnu, ondanks de grote precisie zitten er tussen de klokken van de verschillende satellieten kleine synchronisatiefouten en afwijkingen. Daarom wordt op deze klokken toezicht gehouden door het Master Control Station. De correcties worden medege-deeld op de militaire L2 frequentie. Voor de L1 ontvangers die de militaire frequentie niet kunnen ontvangen worden de correcties via een speciale parameter medege-deeld. Zo kunnen zij ook van die correctie gebruik maken. De grootte van de fout veroorzaakt door de niet gecorrigeerde klokproblemen wordt maximaal op 3 m geschat.

De klok van de ontvanger.

Een tweede groot probleem is het feit dat de klok of horloge van de ontvanger niet gesynchroniseerd is met de klok van de satelliet. Het installeren van een atoomklok in de ontvanger komt natuurlijk te duur. Er zit dus in de ontvanger een fout op de tijd. Dit brengt dus een 4de onbekende in het systeem. Men moet dus minstens een 4de satelliet ontvangen en de oplossing van dit stelsel wordt moeilijker en meer tijdrovend. Het gebruik van het 1-D algoritme (zie volgende Focus) laat toe van deze fout te elimineren.

IV.2. Fouten op een onjuiste voorspelling van de efemeriden van de satellieten

Het voorspellen van de banen die de satellieten zullen volgen is ook niet steeds optimaal. De correcties die hierbij nodig zijn worden door de satellieten in hun boodschap meegestuurd. De maximale fout die hier veroorzaakt wordt wordt geschat op 4.2m.

IV.3. Fouten op een niet perfecte cirkelvormige baan van de satellieten: het relativiteitseffect

De satellieten zelf maken geen echte cirkel rond de aarde maar hun baan is een beetje excen-

trisch. Dit is het gevolg van de aantrekkingskracht van de zon en de maan met hun wisselende positie volgens de periode van het jaar. Dit veroorzaakt een klein relativistisch effect. De lichtsnelheid wordt lichtjes beïnvloed door een verschil in zwaartekracht tijdens de beweging van de satelliet rond de aarde. Via formules kan men dit berekenen en ook dit moet gecorrigeerd worden. In de literatuur kan men vinden dat de maximale invloed ongeveer 70 nanoseconden kan bedragen. Dit komt overeen met een fout van ongeveer 21m.

IV.4. Fouten veroorzaakt door het draaien van de aarde

Een andere kleine fout waarbij moet rekening gehouden worden is de afstand die de antenne door het draaien van de aarde tijdens de tocht van het signaal van de satelliet naar de aarde aflegt. Deze fout is afhankelijk van de breedte(noorder- of zuider-) waarop de antenne opgesteld staat. Ter inlichting: in de literatuur vindt men als officiële aangenomen draaisnelheid van de aarde in het WGS-84 systeem: $0.72921151467 \times 10^{-4}$ rad/s.

Ook hier is er nog een kleine fout te wijten aan de relativiteit van de beweging van de radiogolven opzichte van de aarde. Die is zeer klein en kan maximaal 18.7mm bedragen.

IV.5 Het probleem van de luchtgesteldheid: de troposferische fout.

Het is geweten dat de voortplantingssnelheid van de radiogolven lichtjes vertraagd en afgebogen wordt door de laagste delen van de atmosfeer rond de aarde omwille van een veranderende brekingsindex. Hetzelfde fenomeen ziet men 's avonds met de lichtstralen van de zon.

Deze afbuiging hangt af van twee fysische fenomenen: de verandering van de luchtdruk onder invloed van de zwaartekracht en de aanwezigheid van watermoleculen. De verandering van de luchtdruk is een functie van de lokale druk, de breedtegraad en de hoogte waarop de antenne zich bevindt. De hoeveelheid water in de atmosfeer is een functie van de relatieve vochtigheid, de temperatuur en luchtdruk op die plaats.

Ook de hoek waaronder de golven de aarde bereiken maakt dat hun weg door de atmosfeer al dan niet langer wordt. In de literatuur kan

men dan ook formules aantreffen die deze vertraging in functie van de luchtdruk, de temperatuur en de relatieve vochtigheid op zeeniveau weergeven.

Wie hierover meer wil weten en de juiste formules wil kennen, kan volgend referentiewerk lezen: Niell, A.E. 1995 Global mapping functions for the atmospheric delay at radio wavelengths VLBI Geodetic Technical Memo Np13, Haystack Observatory MIT, Westford, MA.

IV.6 Het probleem van de zonneactiviteit: de ionosferische fout.

De bovenste laag van de atmosfeer, de ionosfeer beïnvloedt eveneens de voortplantingsnelheid van de radiogolven doordat deze laag een zekere verstrooiing te weeg brengt.

Er bestaan verschillende modellen die toelaten de invloed hiervan te bepalen. Hierbij spelen ook de hoogte van de satelliet boven de horizon en de lokale zonnetijd of de periode in het jaar een rol.

Deze fout kan slechts gemeten worden indien men ontvangers gebruikt die de beide frequenties kunnen ontvangen. De PolarX2 ontvanger is in dit geval. In het andere geval moet men een empirische formule gebruiken die rekening houdt met de noorder- of zuiderbreedte waarop de antenne zich bevindt. Voor meer inlichtingen en de juiste formules, raadpleeg eveneens het standaard werk van Niell vermeld in de bovenstaande paragraaf.

V. Vermindering van de kwaliteit van een meting

V.1 Verminderde kwaliteit van de metingen door een verschillende invalshoek.

Door dat niet alle signalen onder een zelfde invalshoek ontvangen worden, is er ook een probleem met de kwaliteit van de meting van de "pseudorange". Men kan ook hier een distributie van de kwaliteit van de metingen opstellen en dan via de standaarddeviatie kan men bepalen of de meting van aanvaardbare kwaliteit is of dat ze moet verworpen worden omdat ze te ver van de te verwachten waarde afwijkt.

V.2 De invloed van de kwaliteit van de ontvanger en het ruisniveau.

De ruis en de niet perfecte resolutie van de ontvanger veroorzaken ook zeer kleine fouten die kunnen variëren van 10 tot 50 cm.

V.3. Reflectie problemen.

Ook de plaats van de ontvangstantenne speelt een rol. Zeker in een stedelijke omgeving maar ook bij een golvend terrein is er steeds de vraag of het ontvangen antennesignaal een rechtstreekse ontvangen of een weerkaatst signaal is. De afgelegde weg van een weerkaatst signaal is immers groter en dit vervalst dus de meting. In een open vlakte stelt dit weinig problemen, maar in een stadsstructuur met hoge gebouwen of in een berglandschap met canyons is dat zeker een probleem.

Dit probleem kent men niet in de luchtvaart en de zeevaart omdat éénmaal in volle vlucht of op zee er geen buildings nog bomen aanwezig zijn. Enkel langs de kust of bij het landen kan men dergelijke problemen hebben maar dan komen andere systemen zoals o.a. de radar tussen om de positie veilig te bepalen.

V.4. Maskering.

Onder maskering verstaan men het feit dat de antenne van de ontvanger zowel een rechtstreeks signaal als een reflectiesignaal ontvangt. Dit is het geval indien er langs de weg bomen of bossen aanwezig zijn. Een deel van de stralen gaat rechtstreeks tussen de bomen door en een deel van de straling weerkaatst op bomen en bereikt aldus ook de antenne.

Dit kan ook het geval zijn indien men niet een gepaste antenne als ontvanger gebruikt. Zo moest onder de antenne die gebruikt werd voor een precisie opmeting van de spoorbaankarakteristieken, en die op de raket van de pantograaf op het dak van het motorrijtuig AM106 gemonteerd was, een ijzeren plaat van ongeveer 1 meter doormeter aangebracht worden om te beletten dat de antenne ook de signalen die op het dak van het motorrijtuig weerkaatsten, zou registreren. Het gebruik van een schotelantenne kan dit opvangen maar dan heeft men het probleem van de aërodynamica en de windkrachten waaraan een dergelijke antenne bij hoge snelheden bloot gesteld is.

Dit probleem heeft men niet in de vliegwereld omdat daar de romp van het vliegtuig als afschermplaat dienst doet terwijl een schotelantenne bij de boten omwille van hun lage snelheid perfect bruikbaar is.

V.5. Het probleem van de beschikbaarheid van de satellieten.

Door dat de satellieten tweemaal per dag rond de wereld draaien zijn niet alle satellieten altijd zichtbaar. Daarbij komt ook nog dat zij niet op een perfecte cirkel of orbit rondraaien. Anderzijds kunnen hun "orbits" of banen ten opzichte van elkaar ook wat verplaatst worden. De beschikbaarheid of "availability" van het systeem wordt bepaald door het tijdspercentage te meten dat de diensten van het systeem beschikbaar zijn. Voor een positioneringssysteem per satelliet hangt dit af van het aantal zichtbare satellieten dat men kan ontvangen en van hun plaats in de ruimte (laag boven de horizon of hoog). Zo zal in een open vlakte het systeem een veel groter beschikbaarheid hebben dan in een stads- of bergachtige omgeving. Ook de sterkte van het signaal en de kracht van de ontvanger (nauwkeurigheid en reken capaciteit om de gecodeerde signalen te herkennen) spelen een rol. De PolarX2 ontvanger van Septentrio (kostprijs boven de 5000 Euro) kon merkkelijk meer satellieten ontvangen dan een gewone GPS-handterminal, vooral voor satellieten die slechts even boven de horizon komen speelde dit een rol.

V.6. Het probleem van de integriteit van de satellieten.

Hoe zit het met de integriteit van de uitgezonden gegevens? De zenders van de satellieten kunnen ook fouten vertonen en zenden ze wel steeds de juiste gegevens uit? Het is immers

geweten dat ze twee zendfrequenties, L1 en L2 hebben en dat de gegevens van één zendfrequentie, de militaire frequentie slechts via een geheime code kunnen ontcijferd worden. Gezien het systeem eigendom is van het Amerikaans leger kunnen zij de gegevens van de satellieten op de burgerlijke frequentie voor militaire doeleinden verstoren.

Ook worden de gezondheidsstoestand van de satellieten - zijn ze nog allen werkzaam? - en de fouten op de uitgezonden gegevens niet altijd onmiddellijk medegedeeld.

Dit laatste legt natuurlijk een hypotheek op het gebruik van een dergelijk systeem voor veiligheidsfuncties.

Daarom wil Europa het Galileo systeem operationeel maken. Dit systeem zal 40 satellieten bevatten en de **integriteit van dit systeem wordt gewaarborgd** door een onmiddellijke mededeling van alle storingen aan de uitgezonden gegevens of defecten aan de satellieten.

VI. Oplossing van deze foutproblemen.

Om nu toch het GPS-systeem voor een veiligheidsfunctie te kunnen gebruiken moet er voor al de hierboven vermelde problemen en fouten een oplossing gevonden worden.

Hiertoe beroept het LOCOPROL project zich op een combinatie van het gebruik van het 1-D algoritme en de bijhorende "confidence intervals". Deze werkwijze wordt in een volgende Focus uit de doeken gedaan. ■

tekst: ir Hubert Ryckebosch