

Het LOCOPROL/LOCOLOC Project

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

Deel 3

Een veilige positionering gebaseerd op LEO-satellieten

In de vorige uitgave van FOCUS (nr 50) hebben we het gehad over het project LOCOPROL met als bijzonderheid de problemen die zich voordoen bij het gebruik van satellieten om een trein veilig te positioneren en dit in overeenstemming met de SIL-4 norm.

In dit deel willen we het hebben over de methoden die bij het LOCOPROL-project aange-wend worden om deze problemen op te lossen met in hoofdzaak het gebruik van het 1-D algoritme. Hierbij wordt de nadruk gelegd op het innovatieve van het project, namelijk dat men er in slaagt met het waarnemen van slechts twee satellietsignalen, - normaal zijn minimaal 4 satellietsignalen nodig, - de juiste plaats van de trein te bepalen en vervolgens, dat met het waarnemen van slechts 6 tot zelfs 4 satellietsignalen, men er in slaagt aan de strenge SIL-4 norm te voldoen.

Hierbij mag niet uit het oog verloren worden dat het steeds gaat om een project voor lijnen met "low traffic density" en dat "low-cost" moet zijn. Een onderzoek op wereldniveau heeft geleerd dat ongeveer 75% van de totale spoorlengte wereldwijd "low traffic density" lijnen zijn. Het gebruik van het Locoprol systeem zou dan ook voor deze lijnen een serieuze besparing op de uitgave voor veiligheidsinrichtingen betekenen. Voor landen buiten Europa schat men deze besparing met een LCC (life cycle cost) van 15 jaar voor de apparatuur op 45%. In Europa zelf voorziet men slechts 25% besparing omwille van de compatibiliteit dat het Locoprol-systeem moet hebben met het ERTMS/ETCS systeem.

1. Inleiding: de SIL-4 norm en de on-nauwkeurigheid van een GPS-meting.

Om een systeem van satellietnavigatie voor het regelen van het treinverkeer te kunnen aanwenden moet men een systeem van satellietnavigatie hebben dat aan dezelfde veiligheidseisen als het nu bestaande signalisatiesysteem voldoet. Deze veiligheidseis is bij het personeel van de afdeling signalisatie bekend als de SIL4-norm (safety en integrity level 4). Dit betekent dat het systeem in zijn geheel, - zowel voor wat de componenten als hun werking betreft, -van een zo goede kwaliteit moet zijn dat op ongeveer 10 miljard acties er slechts 1 verkeerde actie mag gebeuren. Als principe voor de veilige regeling van het treinverkeer neemt men aan dat men niet precies op enkele centimeter na, moet weten waar de trein is maar dat men met een zeer

grote zekerheid moet weten dat de trein zich in een bepaalde zone, ook betrouwbaarheidsinterval genoemd, bevindt.

2. Oplossen van enkele problemen bij een GPS-meting.

Theoretisch kan men met de waarneming van 3 satellieten een oplossing voor de plaatsbepaling uitwerken. Men weet echter dat het gebruik van de GPS zonder bijkomende metingen of hulpmiddelen niet zo precies is. Hoe gaat men nu te werk om dit gebrek aan precisie weg te werken en toch aan de veiligheidsnorm te voldoen?

2.1 Een oplossing voor het probleem van het niet synchroon lopen van de horloges van de satellieten met de horloge van de ontvanger

2.1.1 De klassieke oplossing

Dit horlogeprobleem doet zich bij elke GPS-meting voor. De traditionele oplossingsmethode bestaat er dan ook in om de tijd als een onbekende te beschouwen. Aldus verkrijgt men 4 onbekenden en moet men minstens 4 satellieten kunnen waarnemen en hun "pseudorange" meten om het stelsel van 4 vergelijkingen met 4 onbekenden op te lossen.

Het oplossen van een dergelijk stelsel is wiskundig zwaar. Daarbij heeft men omwille van het gering aantal metingen en de fouten op die metingen slechts **weinig zekerheid** omtrent de juistheid van de oplossing.

Kan men meer dan 4 satellieten ontvangen dan zal men over redundante informatie beschikken en deze zal een betere en meer betrouwbare oplossing bieden. Men berekent dan een oplossing aan de hand van de methode van de kleinste kwadraten waarbij men statistisch als oplossing de meest waarschijnlijk te verwachten waarde kiest, namelijk deze die de standaarddeviatie minimaal maakt.

Deze methode van oplossen wordt gebruikt bij het landmeten. Het toestel wordt hierbij onbeweeglijk opgesteld en men laat de meting een zekere tijd duren. Hierdoor kunnen veel berekeningen gebeuren en zal het aantal waargenomen satellieten, dat van ogenblik tot ogenblik verschillend kan zijn, zeker voldoende zijn om een zeer nauwkeurige meting te bekomen.

2.1.2 Het probleem bij de meting vanuit een bewegende ontvanger: een snelle processor is nodig.

Indien men een **meting vanuit een bewegend toestel** moet uitvoeren, komen nog een aantal bijkomende problemen om de hoek kijken.

Zo is het aantal satellieten dat men waarneemt niet alleen verschillend van ogenblik tot ogenblik maar ook van plaats tot plaats. Komt men tussen hoge gebouwen of in een trechter of canyon terecht, dan is het goed mogelijk dat men tijdelijk geen enkel satelliet signaal rechtstreeks of zelfs helemaal niets ontvangt.

Daarbij heeft de relatieve beweging van de ontvangstantenne ook een invloed.

Ook het type ontvanger dat men gebruikt zal een rol spelen: indien men slechts over een

sequentiële ontvanger beschikt die satelliet na satelliet moet detecteren en de berekening uitvoeren, zal de precisie heel wat minder zijn dan wanneer men over een ontvanger beschikt die parallel werkt en meerdere satellieten tegelijk kan detecteren. Dergelijke ontvangers zijn natuurlijk duurder. Voor het bereiken van de SIL-4 norm moet men zeker met deze beperkingen rekening houden en zal een duurdere ontvanger noodzakelijk zijn. De kostprijs van de bij de Locoprol gebruikte ontvangers, de POLARX2 is van de grootteorde van 12500 Euro.

2.2 Zoeken naar een vlugge en juiste meting: gebruik van het 1-D algoritme .

2.2.1 Het 1-D algoritme

Om toch vlug een oplossing te bekomen gaat men trachten de oplossing te vereenvoudigen door het aantal onbekenden te verminderen. Dit kan door het aantal dimensies te verminderen. Zo gaat men gebruik maken van het feit dat men weet dat de trein op een bepaalde spoorbaan rijdt. Aldus bekomt men een 1-dimensioneel probleem.

De tweede grote onbekende blijft het probleem van het niet synchroon lopen van de ontvangerklok met de satellietklokken.

Om deze synchronisatiefout uit te schakelen zal men gebruik maken van het **ééndimensioneel of 1-D algoritme, het "Hyperboloid Surface 1-D Track Intersection Algorithm" of ook het SATHIA-algoritme (Satellite Hyperbolic Intersection Algorithm) genoemd.**

Bij deze rekenmethode vertrekt men van het feit dat men weet dat de trein zich steeds op een spoorbaan bevindt waarvan men de coördinaten van elk punt nauwkeurig kent. In dit geval volstaat het te kunnen bepalen waar de trein zich ten opzichte van een referentiepunt bevindt. Er blijft slechts 1 onbekende over en de oplossing ware eenvoudig indien de hierboven opgesomde onnauwkeurigheid er niet was. Waar de meeste andere onnauwkeurigheden (troposferische en ionosferische fout) via in de ontvanger ingebouwde formules kunnen berekend worden is de fout op de synchronisatie van de klok van de ontvanger

niet in te schatten en kan deze voor ernstige problemen zorgen. Men moet deze fout trachten te elimineren en dit doet men door beroep te doen op een eigenschap van een hyperbool of ruimtelijk gezien een hyperboloïde.

2.2.2 De specifieke eigenschap van een hyperbool

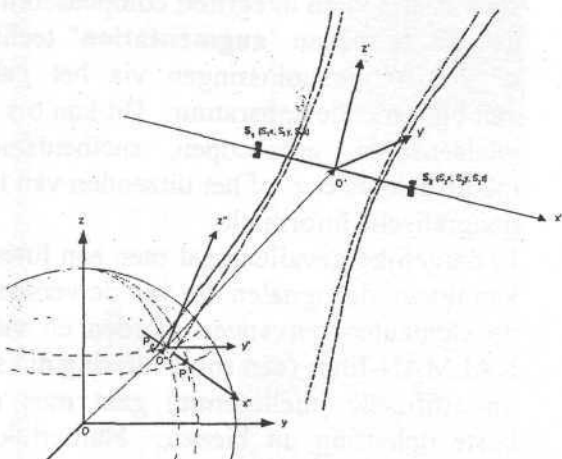
Men weet dat voor elk punt dat zich op het oppervlak van een hyperboloïde bevindt, het verschil van de afstanden tot de brandpunten constant is.

Men gaat zich op deze eigenschap baseren om de fout op de klok van de ontvanger uit te schakelen.

2.2.3 Toepassen van deze eigenschap.

Men doet twee pseudometingen ten opzichte van een paar satellieten waarvan men veronderstelt dat ze zich in de brandpunten van een hyperboloïde bevinden.

Voor de vereenvoudiging nemen we aan dat alles in één vlak gebeurt. Om naar de werkelijkheid over te gaan hoeft men dan enkel de hyperbool rond de as waarop de 2 satellieten en dus de brandpunten liggen, te laten wentelen. (zie figuur 1)



Weze nu S_1 de plaats van satelliet nr 1 met coördinaten (x_1, y_1) en S_2 de plaats van satelliet nr 2 met coördinaten (x_2, y_2) . Gezien ze de brandpunten van de hyperbool vormen zijn hun werkelijke coördinaten voor een symmetrisch assenstelsel met de satellieten op de X-as $S_1 (-f, 0)$ en voor $S_2 (f, 0)$.

Weze nu de synchronisatiefout op de ontvangerklok ϵ .

Men doet nu twee metingen: R_1 is de pseudorange van satelliet 1 tot de plaats van de antenne op de trein (L) en R_2 is de pseudorange van satelliet 2 tot de trein.

$$R_1 = \text{afstand}(S_1, L) = C \times T_1 + \epsilon + \xi_1$$

$$R_2 = \text{afstand}(S_2, L) = C \times T_2 + \epsilon + \xi_2$$

met L de plaats van de trein;

C de voortplantingssnelheid van de radiogolven, 2.9979×10^8 m/s of ongeveer 300.000km/s;

T_1 is de tijd die de signalen nodig hebben om van satelliet 1 de ontvangst antenne te bereiken;

T_2 is de tijd die de signalen nodig hebben om van satelliet 2 de ontvangst antenne te bereiken.

Geen enkele meting is echter perfect en op elke meting zit nog een kleine fout die bij meerderde metingen een Gaussiaanse verdeling heeft: ξ_1 is een kleine additionele fout op de meting van satelliet 1 en ξ_2 is een kleine additionele fout op de meting van satelliet 2.

Trekt men nu de twee afstanden van elkaar af dan verdwijnt ϵ (de horlogefout) uit de berekening en men bekomt:

$$K = R_1 - R_2 = C \times (T_1 - T_2) + \xi_1 - \xi_2 = \text{een constante voor alle punten op de hyperbool.}$$

Met de formules eigen aan de hyperbool, namelijk

$$\frac{x^2}{a^2} - \frac{(y^2 + z^2)}{b^2} = 1 \quad \text{en} \quad a = \frac{K}{2} \quad \text{en}$$

$b^2 = f^2 - a^2$ kan men nu een hyperboloïde volledig beschrijven met de x-as als wentelas; f = brandpuntsafstand van een hyperbool = de halve afstand tussen de satellieten; a = de afstand tussen de top van de hyperbool en het nulpunt van het X,Y assenstelsel; K = de gemeten waarde, namelijk het verschil van de afstand van elk punt van de hyperbool tot zijn brandpunten.

Aldus kan men nu ook de coördinaten van het snijpunt van de spoorlijn met het hyperboloïde vlak berekenen en weet men dus waar de antenne van de trein zich bevindt.

2.2.4 Het betrouwbaarheidsinterval

Men hoeft nu nog enkel het "betrouwbaarheidsinterval" te berekenen namelijk de fout ξ op de metingen met een gaussiaanse spreiding.

De bepaling gebeurt door het vergelijken van de werkelijke afstand die men nu echt kent met de gemeten afstanden (pseudoranges). Aldus kan men na een aantal metingen een spreiding van de fouten opstellen. Gezien deze fout zowel positief als negatief kan zijn zal men langs weerszijden van de gemeten waarde een waarde van 2ξ toevoegen bij de waarde a op de as die de twee satellieten verbindt. Aldus is men zeker dat 95% van de metingen binnen dit interval vallen.

Met dezelfde techniek van het 1-D algoritme als hierboven uitgelegd zal men 2 hyperbolen definiëren waarvan men het snijpunt met de spoorbaan kan berekenen.

De strook tussen deze twee snijpunten wordt dan het **betrouwbaarheidsinterval** van de meting. Berekeningen kunnen aantonen dat men binnen dit interval van $(+2\xi, -2\xi)$ een zekerheid van 10^{-4} bekomt.

Indien men nu deze berekening op **3 onafhankelijke satellietparen** toepast en voor elk paar afzonderlijk een betrouwbaarheidsinterval bepaalt, en als men dan de betrouwbaarheidsintervallen samenvoegt en de uiterste grenzen neemt, dan bekomt men een betrouwbaarheidsinterval met een zekerheid van 10^{-12} wat voldoet aan de SIL4 norm. Dit wil echter zeggen dat men **minimaal steeds gelijktijdig 6 satelliet signalen** moet kunnen ontvangen. Tijdens het proefrijden op lijn 144 is gebleken dat het gelijktijdig ontvangen van het rechtstreeks signaal van 6 satellieten slechts in 60% van de tijd mogelijk is.

Bij de praktische metingen heeft men vastgesteld dat een dergelijke interval kan variëren van een 70-tal meter tot uitzonderlijk soms 600 meter op plaatsen waar weinig satellieten tegelijk zichtbaar zijn.

2.3 Wat indien er geen 6 satellieten tegelijk ontvangen worden?

Omdat men vastgesteld had dat het niet steeds mogelijk was om 6 satellieten te ontvangen,

heeft men het algoritme aangepast en zich beperkt tot het ontvangen van 4 satelliet signalen. Dit was in 95% van de tijd mogelijk.

Dit heeft echter tot gevolg dat men **geen 3 onafhankelijke paren** van satellieten meer kan vormen maar dat men alle combinaties van de signalen van de 4 satellieten moet in rekening brengen om toch ook tot de SIL-4 norm te komen. Het vereist dan ook heel wat meer rekenwerk en dit vormt een zwaardere belasting voor de processor. Het bewijs van het halen van een dergelijke waarschijnlijkheid is dan ook heel wat moeilijker dan in het geval van 6 satellieten.

Het nagaan van deze bewijsvoering is de taak van het INRETS instituut. Zij moeten als controleorgaan nagaan dat het ganse systeem aan de gestelde eisen voldoet.

2.4 Het verhogen van de integriteit van een satelliet meting.

Het feit dat men slechts is 95% van de tijd een voldoende nauwkeurige positionering kent blijft bestaan. Dit vermindert de efficiëntie van het systeem of maakt dat men langere veiligheidsafstanden moet inbouwen. Heden ten dagen kan men het gebrek aan beschikbaarheid en integriteit compenseren door gebruik te maken "augmentation" technieken of verbeteringsoplossingen via het gebruik van bijkomende apparatuur. Dit kan o.a. zijn: wielsensoren, gyroscopen, snelheidsmeters, lokale bakens enz. of het uitzenden van lokale geografische informatie.

In dergelijke gevallen gaat men een fusie maken tussen de signalen die van de verschillende elementen ontvangen worden en via een KALMAN-filter (een soort filtering die steunt op artificiële intelligentie) gaat men er de beste oplossing uit kiezen. Natuurlijk gaat het gebruik van bijkomende apparatuur de kostprijs van het systeem verhogen.

Bij het aanwenden van deze verbeterde integriteit kan men twee werkwijzen volgen:

- de "passieve integrity" methode: deze methode neemt alle metingen in aanmerking en de minder exacte metingen zullen alleen maar het betrouwbaarheidsinterval wat langer maken. Hierdoor wordt alhoewel het minder precies is de veiligheid niet in het gedrang

gebracht door corrupte pseudometingen wegen weerkaatsingen en multiple paths - de "actieve integrity" methode : of de monitoring van de integriteit; dit behelst het uitsluiten van een valse of onwaarschijnlijke positionering. Dit kan optreden indien de hoek tussen twee satellieten zeer klein is en men aldus een minder scherp snijpunt met het spoor bekomt. Zo kan door de "failure detection/exclusion" (FDE) methode de juistheid van de GNSS- positionering vergroot worden bij een constant integriteitsniveau.

Verdere verbeteringen

Het gebruik van hulpmiddelen zoals de signalen van de EGNOS of WAAS satellieten kan de nauwkeurigheid van de plaatsbepaling nog verbeteren. Simulaties hebben aangetoond dat men dan gedurende 95% van de tijd ± 50 meter bekomt of dat gedurende 99.9% van de tijd het betrouwbaarheidsinterval ± 95 m draagt.

Het gebruik van het signaal van de EGNOS satelliet is echter betalend en niet strikt noodzakelijk om aan de SIL-4 norm te voldoen. Het maakt wel de "low-cost" oplossing wel duurder.

2.5 Het oplossen van het probleem van de reflectie en maskering.

2.5.1 Inleiding

Om de integriteit van de berekening en dus de veiligheid te waarborgen wil men enkel rechtstreekse signalen ontvangen. Aldus legt men zich zelf een grote beperking op die tot gevolg kan hebben dat men dan onvoldoende satellieten ontvangt om een berekening te maken die aan de SIL-4 norm voldoet.

2.5.2 Weren van weerkaatste en gemaskeerde signalen

Hoe gaat men nu weerkaatste of gemaskeerde satelliet signalen, die in feite de berekening lichtjes vervalsen, weren?

Het INRETS-LEOST laboratorium - (Institut National de Recherche sur les Transports et leur Sécurité - Laboratoire électronique, Ondes et Signaux pour les Transports) - een afdeling van het INRETS-instituut, gevestigd te Rijsel-Villeneuve d'Ascq, doet heel wat on-

derzoek op het gebruik van GPS-metingen om de plaats van bewegende voertuigen te bepalen. Aldus zijn zij geconfronteerd geworden met de problematiek van de weerkaatsing en maskering van de ontvangen GPS-signalen, vooral bij metingen in de stad. Zij hebben een speciale rekenmethode ontwikkeld die toelaat een graad van kans op weerkaatsing te bepalen. Het programma heet PREDISAT.

2.5.3 De PREDISAT-methode.

Deze methode bestaat er in dat men de zijkanten van de weg waarop men beweegt gaat filmen. Hiertoe gebruikt men twee zijdelings elektronische camera's, die onder een hoek van 45° op een bewegend voertuig geplaatst zijn. Aldus wordt een beeld van de zijdelingse belemmering door gebouwen, bomen enz. opgenomen.

Men zal ongeveer om de 10 m een elektronische foto opslaan. De foto's worden dan achteraf met een speciaal door hen ontworpen programma geanalyseerd en men kan aldus een openingshoek bepalen waarbij men zeker is dat 95% van de ontvangen satelliet signalen een rechtstreekse ontvangst waarborgen en dus als "goed" kunnen bevonden worden.

Aldus worden de signalen van laag boven de horizon staande satellieten die enkel via weerkaatsing kunnen ontvangen worden, uitgesloten.

Deze hoek is variabel naar gelang de plaats waar men zich bevindt. Bevindt men zich in een vlakke of een "open sky", dan zal deze openingshoek groot zijn en kan hij tot 170° bedragen. Er zullen dan veel satellieten zichtbaar zijn waarvan men het signaal kan gebruiken. Zo kon men tijdens de proefritten op lijn 144 op sommige plaatsen tot 11 satellieten waarnemen.

Opmerking: zelfs in een volkomen vlakke kan men niet tot 180° gaan omwille van de grote invloed van de ionosferische fout bij deze lage zenith standen.

Bevindt men zich in een canyon of tussen hoge gebouwen dan zal de openingshoek klein zijn en kunnen slechts weinig "goede" satellieten ontvangen worden. Enkel deze die hoog aan de hemel staan komen in aanmerking. Tijdens de proefritten in de Provence

op het lijntje tussen Nice en Digne had men in een canyon tussen hoge rotsmassa's zelfs plaatsen waar men af en toe geen "goede" satellieten kon ontvangen. Een dergelijk fenomeen blijft natuurlijk niet duren omwille van het feit dat de satellieten zelf niet geostationair zijn maar ook bewegen.

Dit feit is verder ook een argument om de plaatsbepaling op zo'n wijze uit te voeren dat men zo weinig mogelijk satellieten nodig heeft. Vandaar het voordeel van het 1-D algoritme waarbij men met 2 satellieten reeds een juiste bepaling kan doen. Wij moeten wel blijven opmerken dat de bepaling met 2 satellieten niet voldoende is om aan de SIL-4 norm te voldoen.

Opmerking: voor de vliegtuigwereld is men tevreden met een integriteit van 10^{-7} . Men moet wel opmerken dat in de vliegtuigwereld het probleem van weerkaatsing of multipath praktisch onbestaande is. De antenne bevindt zich boven op het vliegtuig en de ontvangst van de signalen wordt door niets afgeschermd of gehinderd.

3. Een benadering van het virtual block systeem.

Eenmaal de treinantenne gepositioneerd is en men het betrouwbaarheidsinterval kent, - dat echter voortdurend in grootte varieert, - komt men tot het principe van de klassieke signalisatie.

Men moet nu het betrouwbaarheidsinterval aanvullen met de passende afstanden zodat een volgende trein kan afremmen en de trein zelf niet een voorgaande trein kan aanrijden. Gezien echter het betrouwbaarheidsinterval voortdurend varieert is dit geen sinecure en moet men hierbij een voldoende grote veiligheidszone nemen. Aldus benadert men het virtual block systeem waar bij de treinen elkaar op kortere afstand naargelang hun snelheid kunnen opvolgen. Dit systeem werd in samenwerking met het ETCS/ERTMS systeem in de praktijk uitgetest bij de "Chemin de Fer de Provence" op de lijn Nice -Digne. Twee autorails volgden elkaar op veilige afstand op een lijn zonder sectioneringen en tussenseinen.

4. Nog te onderzoeken en op te lossen problemen.

a) **EMC invloeden:** hoe dan ook er blijven bij het gebruik van satellieten voor veiligheidsdoeleinden nog steeds enkele bijkomende aspecten te onderzoeken. Dit kan de invloed van stoorzenders zijn of bijvoorbeeld ook de invloed van de electro-magnetische velden bij een grote stroomafname door locomotieven die de trein met het LOCOPROL-systeem voorafgaan of volgen. Ook de vonkvorming aan de bovenleiding en andere EMC invloeden dienen te worden onderzocht.

b) Het probleem van de treinvolledigheid.

De klassieke signalisatie laat toe te bevestigen dat een trein volledig de bloksectie verlaten heeft. Immers via spoorstroomkringen of assentellers kan men vaststellen dat alle assen die een bloksectie binnengereden zijn er ook weer uitgereden zijn. Dit is bij satelliet navigatie niet zo. Men weet enkel iets over de antenne en om te weten in hoever de trein nog volledig is dient men zich te beroepen op andere technieken. Dit kan via het gebruik van een kleine GPS-antenne op het laatste voertuig. Deze moet dan communiceren met het stuurrijtuig. Ofwel maakt men gebruik van een wijziging van de druk in de algemene remleiding. Wij wensen hierop niet verder in te gaan gezien dit ons te ver zou leiden. In ieder geval moet steeds voor ogen genomen worden dat men een "low-cost" oplossing op het oog heeft.

5. Wat bij een onvoldoende aantal of minder dan 4 satellieten?

Indien er nu werkelijk onvoldoende satellieten zichtbaar zijn, dan moet men voor de plaatsbepaling ofwel met extrapolatie werken ofwel andere middelen aanwenden zoals **passieve bakens**, een **gespecialiseerde lasergestuurde gyroscoop INU** (inertial navigation unit) genaamd of "**pseudolites**".

De passieve bakens: dit is een baken die niet van energie moet voorzien worden en waarbij er dus geen bekabeling nodig is. De trein moet wel uitgerust zijn met een antenne die zelf een eerste signaal uitzendt. Wanneer de trein over het baken rijdt, wordt dit geactiveerd met energie en daarop wordt als antwoord de bakeninformatie naar de trein ver-

stuurd. Het ontvangen signaal laat toe de trein juist te localiseren. Als baken zal men nu natuurlijk het gestandaardiseerde Eurobaken gebruiken.

De INU is een zeer precies en zeer duur toestel waarin lasergyroscopen zitten. Deze volgen zeer precies alle bewegingen van de trein. Het wordt ook gebruikt bij de vliegtuigen om de koers te volgen.

Pseudolites zijn eigenlijk zenders die precies het signaal van een satelliet uitzenden maar die op een vaste plaats opgesteld worden. Zij vervangen zagezegd de satelliet en vandaar hun naam die een constractie is van pseudo en satellite: pseudolites. Deze toestellen worden vooral gebruikt op plaatsen waar geen satelliet ontvangst mogelijk is zoals in tunnels enz.

Deze middelen verhogen echter de kostprijs van de uitrusting en het was juist de bedoeling van deze laag mogelijk te houden.

6. Voorbereidende werkzaamheden.

Om nu het 1-D algoritme te kunnen gebruiken moet de spoorlijn volledig in kaart gebracht worden. Om dit op een vlugge wijze te doen werd een speciale methode ontwikkeld. Deze methode bestaat uit het opmeten van de coördinaten van de spoorbaan al rijdend en met een voldoende precisie. Het innovatieve van dit systeem zal in een volgende Focus besproken worden.

7. Het GALILEO-project.

Ten slotte dient nog iets geschreven te worden over het Galileo project zelf want tenslotte is het ganse LOCOPROL project ook gesteund op de verwachting van een nieuw satellietstelsel met een zeer hoge integriteitswaarde en met een verhoogd aantal beschikbare satellieten. Dit zal ook in een volgende uitgave van Focus besproken worden.

tekst: ir Hubert Ryckebosch