

GPS

Inleiding

Het is je waarschijnlijk ook al overkomen: je bent ooit op een gezellige plaats geweest, maar je weet helemaal niet meer hoe je er kan geraken. Wel, je bent hierin zeker niet alleen! Al eeuwen lang probeert de mens te bepalen waar hij is en waar hij heen gaat. Denk maar aan verkopers die dagelijks op plaatsen komen waar ze nog nooit zijn geweest, schepen die in volle zee de juiste koers moeten aanhouden of wandelaars die graag de weg naar huis zouden terugvinden. In al deze gevallen zou een GPS het leven heel wat gemakkelijker kunnen maken.

1 GPS: Functie + geschiedenis

1.1 Functie

GPS \Rightarrow "Global Positioning System"

Je zou dit kunnen vertalen als een "wereldwijd plaatsbepalingsstelsel". GPS kan je helpen bij het bepalen van je positie of het vinden van je locatie. Want als een GPS-systeem weet waar je bent en waar je naartoe wilt, dan kan hij ook bepalen of je in de juiste richting beweegt. Naast deze functies kan GPS, dankzij zijn rekenkracht, ook extra informatie geven, zoals (gemiddelde en maximum) snelheid, waarschijnlijke aankomsttijd, afgelegde afstand en nog veel meer, afhankelijk van de eigenschappen van de betreffende GPS. Al deze toepassingen kunnen worden ingedeeld in vijf categorieën: positioning, navigation, tracing, mapping en timing

Positioning: De eerste en meest bekende eigenschap van GPS is de plaatsbepaling: *waar ben ik?* GPS kan precieze tweedimensionale informatie geven over een plaats en over hoogtes, ongeacht het weer. Op deze manier komt men tot de exacte plaatsbepaling van bv. gebouwen. GPS kan zelfs helpen om de exacte locatie van iemand in nood terug te vinden.

Navigation: Weten waar je je bevindt is belangrijk maar weten hoe je ergens anders kan geraken is net zo belangrijk. GPS bepaalt de locatie van de huidige en gewenste positie en zelfs snelheid en richting. Op deze manier kan dit systeem in combinatie met informatie over de omgeving een route bepalen en navigeren.

GPS is oorspronkelijk ontwikkeld voor de navigatie van schepen en vliegtuigen, dit vraagt uiteraard een grote nauwkeurigheid. Het is immers belangrijk om een

schip door stormweer naar de haven te brengen of om de juiste visplaats terug te vinden voor vissersboten. Door de precisie van GPS is het luchtverkeer veiliger geworden en vooral efficiënter. Met point-to-point navigation wordt ervoor gezorgd dat piloten niet van hun koers afwijken en op die manier wordt er ook minder brandstof verbruikt.

Tracking: Met navigatie vind je de weg van de ene plek naar de andere, dan volgt tracking alles op terwijl je je verplaatst. Hiermee bedoelen we het signaleren van een vrachtwagen die in de file staat, berekenen welke bus het snelst op jouw bestemming zal zijn of welke ambulance het snelst hulp kan bieden. Zo kan een taxibedrijf bijvoorbeeld uitzoeken met tracking welke route het efficiëntst is en welke taxi het snelst bij de klant kan zijn om zo tijd en geld te sparen.

Mapping: GPS kan elk detail van een voor ons onbekende wereld bekend maken door het in kaart te brengen. We denken hier aan het in kaart brengen van bergen, rivieren, bossen, gebouwen, straten, ... Zelfs de lokatie van specifieke diersoorten, allerlei planten en gesteenten tot zelfs afval kan in kaart gebracht worden met GPS.

Timing: We gebruiken tijd op drie verschillende manieren: tijd vertelt ons wanneer iets gebeurd, het helpt ons om een schema uit te bouwen en alles mooi volgens dat schema te laten verlopen en met tijd kunnen we meten hoelang alles duurt. Elke GPS-satelliet is uitgerust met meerdere atomische klokken die samen met het GPS-signaal de exacte tijd meesturen. De GPS-ontvangers op aarde ontvangen deze signalen en stellen hun tijd hierop af. Tijd wordt zo tot op één miljardste van een seconde gemeten.

GPS is een systeem dat functioneert dankzij een netwerk van satellieten, die constant in een baan rond de aarde draaien. Deze satellieten sturen gecodeerde informatie door naar ontvangers op de aarde. De GPS-ontvanger ziet alleen de satellieten die op dat moment boven de horizon staan. Van op eender welke positie op aarde zijn er steeds 4 satellieten zichtbaar boven de horizon. Overal ter wereld zijn deze te ontvangen. Het weer speelt hierbij geen rol. Het GPS-systeem vertelt je dus altijd tot op enkele meters nauwkeurig waar je op aarde bent. Omdat het een "globaal" systeem is, kan je dit overal ter wereld gebruiken.

1.2 Geschiedenis

De geschiedenis van de GPS-technologie gaat terug tot 1957, toen de eerste aardsatelliet, de Spoetnik I, werd gelanceerd. Toen werd duidelijk dat je door middel van satellieten, die in een bepaalde baan om de aarde draaien, je positie op aarde exact kunt bepalen. Het Amerikaanse Ministerie van Defensie (U.S. Department of Defense) vond dit een interessante bevinding. Ze zagen er onmiddellijk een aantal (militaire) toepassingen in en wilde het idee verder uitbouwen: het GPS systeem was geboren. De eerste GPS-satelliet werd in 1974 gelanceerd. De jaren daarop ging men gestadig verder met het lanceren van nieuwe satellieten en het vervangen van oudere. In 1993 zag het netwerk van GPS-satellieten eruit zoals we het vandaag kennen. Op 27 april 1995 werd het GPS-systeem volledig operationeel verklaard.

In het begin werd het GPS-systeem enkel gebruikt door het Amerikaanse leger, voor militaire doeleinden. Het Amerikaanse leger stelde het systeem in de jaren '80 ook voor niet-militaire doelen beschikbaar. Hierdoor konden ook de burgers met een navigatiesysteem precies hun plaats op aarde bepalen en navigeren naar hun bestemming. Om te voorkomen dat andere landen nauwkeurig gebruik zouden kunnen maken van dit systeem, werd met elk signaal een stukje foutieve informatie verzonden (SA, of Selective Availability). Op die manier kon het Amerikaanse leger de nauwkeurigheid van de algemeen beschikbare toestellen beperken, en zelf nog steeds met de grote precisie navigeren en plaatsen lokaliseren. In 1998 werd de SA-optie uitgezet, zodat burgers met een GPS-toestel nu ook hun positie tot op 15 meter nauwkeurig kunnen bepalen. De SA-optie werd overigens tijdens de Golfoorlog reeds tijdelijk uitgezet. Het Amerikaanse leger kampte toen met een tekort aan militaire GPS-apparatuur, waardoor de militairen zelf op grote schaal civiele GPS-toestellen moesten gebruiken. Op 4 mei 2000 heeft de Amerikaanse overheid de Selective Availability definitief uitgeschakeld. Hierdoor werd de GPS populairder voor civiele toepassingen met een hoge nauwkeurigheid. In combinatie met verschillende correctietechnieken is het nu zelfs mogelijk om een nauwkeurigheid tot op 1 meter te bekomen. Het GPS-systeem wordt nog steeds door het Amerikaanse leger beheerd. Zij noemen hun systeem NAVSTAR, wat staat voor "**N**avigation **S**atellite **T**iming and **R**anging".

2 Onderdelen van een GPS systeem

Een volledige GPS-uitrusting, zoals NAVSTAR, bestaat uit 3 segmenten: een ruimtesegment (de satellieten), een controlesegment (de grondstations) en een gebruikerssegment (de gebruiker met zijn GPS ontvanger).

Ruimtesegment

Globaal gezien zijn op dit moment ongeveer 600 satellieten in werking die voor verschillende doeleinden worden gebruikt: communicatie, plaatsbepaling, remote sensing (info over het aardoppervlak en de atmosfeer). Satellieten kunnen in twee groepen verdeeld worden: de circumpolaire en de geostationaire satellieten. De geostationaire satellieten hangen in een baan rond de evenaar. Ze hebben precies 24 uur nodig om 1 omwenteling om de aarde te maken. Dat is even lang als de aarde erover doet om rond haar as te draaien. Daardoor lijken deze satellieten altijd op dezelfde plaats te hangen. De circumpolaire satellieten draaien rondom de aarde in een baan die over de polen loopt. Ze hebben ongeveer 12 uur nodig om eenmaal rond de aarde te draaien.

Het ruimtesegment van het GPS-systeem bestaat uit 24 circumpolaire satellieten en de Deltaraketten die deze satellieten vanuit Cape Canaveral (Florida, USA) lanceren. De GPS-satellieten draaien in 6 circulaire banen (4 satellieten per baan) rond de aarde, op een hoogte van ongeveer 20.000 kilometer, boven het aardoppervlak. Omdat de satellieten op zo een grote hoogte hangen, kunnen ze hun signalen over een groot gebied op aarde uitzenden. Hun banen rond de aarde zijn zo bepaald dat een GPS-gebruiker op elk moment signalen van tenminste 4 satellieten kan ontvangen. Van de 24 beschikbare satellieten zijn er steeds 21 actief, de overige 3 zijn reservesatellieten.

Elke satelliet stuurt twee signalen uit. Het eerste signaal is uitsluitend voor militair gebruik, en kan enkel door het Amerikaanse leger worden ontvangen. Het tweede signaal is voor publiek gebruik en kan door alle GPS-gebruikers op de wereld gebruikt worden. De publieke signalen bevatten steeds het satellietnummer, de exacte positie van de satelliet en de exacte tijd van verzending. Om de tijd van verzending te bepalen hebben de satellieten atomische klokken aan boord, die de tijd met uiterste precisie kunnen meten. De signalen die door de satelliet worden uitgezonden reizen met de snelheid van het licht naar de aarde, maar ze zijn zeer zwak, waardoor het niet mogelijk is om door vaste voorwerpen te dringen. Daarom is de ontvangst in steden (vooral tussen hoge gebouwen) minder goed dan in open vlaktes.

Controlesegment

Het controlesegment bestaat uit een "master-control station" op Falcon Air Force Base in Colorado Springs (VS) en een aantal controlestations onder andere op Hawaï en in de Atlantische Oceaan. De GPS satellieten zijn uitgerust met een computer, 4 atomische klokken en een radio. Hiermee kunnen de satellieten voortdurende informatie over hun positie doorsturen naar de controlestations die op hun beurt de informatie doorsturen naar het master-control station. Satellieten kunnen lichtjes afwijken van hun baan, door gravitatiekracht van de maan of de zon en door zonnestraling. Voorspelde tijd-, positie- en

baangegevens worden vergeleken met de daadwerkelijk uitgezonden data. Op basis van de informatie die het "master-control station" van de controlestations ontvangt, worden de baan-, positie- en tijdsgegevens van de satellieten aangepast en naar de satellieten teruggestuurd. Zo zullen de signalen die de satellieten uitzenden altijd de meest recente gegevens bevatten. Het hoofdcontrolestation moet er ook voor zorgen dat er steeds minstens 21 satellieten in een optimale ruimtelijke opstelling beschikbaar zijn, zodat elke gebruiker (op of boven het aardoppervlak) steeds signalen van minimaal 4 satellieten kan ontvangen.

Gebruikerssegment

Het gebruikerssegment bestaat eenvoudigweg uit de gebruiker en zijn GPS ontvanger. Hieronder verstaan we dus alle hardware en software die nodig is om de GPS signalen te ontvangen en in een bruikbaar formaat weer te geven. De hardware omvat een antenne, een ontvanger, een signaalprocessor en een scherm. De vooruitgang in de elektronica maakt dat al de noodzakelijke componenten in een klein toestel passen, wat de gebruiksvriendelijkheid en de mogelijke toepassingen doet toenemen. Heel populair zijn de kleine "hand-held" GPS ontvangers ter grootte van een zaktelefoon. Deze zijn ideaal voor gebruik in de wagen of bij het wandelen. De software, die meestal in het geheugen van de GPS ontvanger is opgeslagen, zorgt voor de nodige berekeningen op basis van de informatie die de satellieten doorsturen. Gegevens zoals huidige positie, bewegingssnelheid, bewegingsrichting en tijd worden berekend en vervolgens op het display aan de gebruiker getoond.

3 Hoe werkt GPS?

3.1 Algemeen

Met een ruimtesegment, een controlesegment en een gebruikerssegment hebben we alles om een GPS systeem te gebruiken. Het controlesegment zorgt ervoor dat de satellieten hun taken naar behoren vervullen en dat ze altijd de juiste informatie over hun baan en positie kennen. Om de positie op aarde te bepalen zullen de satellieten met een ontvanger moeten communiceren. De GPS satellieten sturen radiosignalen naar een GPS ontvanger op aarde. Deze signalen bevatten, naast het tijdstip van de verzending van het signaal (bepaald door de atomische klokken), ook data die nodig zijn om de locatie van de satellieten te bepalen. Door te schatten hoeveel tijd er verstrijkt tussen het verzenden van het signaal van de satelliet en de aankomst bij de GPS ontvanger, kan je bepalen op welke afstand de ontvanger zich van de satelliet bevindt.

Als de GPS ontvanger gegevens van drie satellieten heeft ontvangen, kan hij in principe zijn positie op aarde hieruit afleiden. Maar omdat de klok van de ontvanger veel minder nauwkeurig is dan de atomische klokken van de satellieten, zullen de schattingen van afstand en tijd niet perfect zijn en is dus ook de positiebepaling nog niet exact. Om deze fout te corrigeren zijn gegevens van een vierde satelliet vereist. Deze laatste geeft je dan precies de informatie die je nodig hebt om je positie exact te kennen. Hoe meer satellieten je ontvangt, hoe nauwkeuriger de berekeningen. De meeste GPS ontvangers halen een gemiddelde nauwkeurigheid van 15 meter.

De basis van het GPS principe is “**driehoeksmeting**” van satellieten. Om hiervoor de berekeningen te maken zal de GPS ontvanger **afstanden tot de satellieten** moeten berekenen, gebruik makend van de **reistijd van de signalen** die de satellieten uitzenden. Naast de afstand tot de satellieten hebben we ook hun **exacte positie** nodig. Hier zullen de controlestations hun werk moeten doen. Tenslotte moeten we nog **corrigeren voor vertragingen** die de signalen oplopen omdat ze door de atmosfeer moeten reizen.

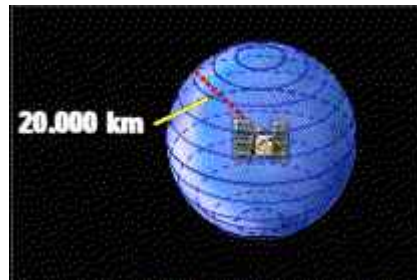
Dit klinkt allemaal wat technisch, maar we zullen de werking nu stap voor stap uit de doeken doen.

3.2 De verschillende stappen

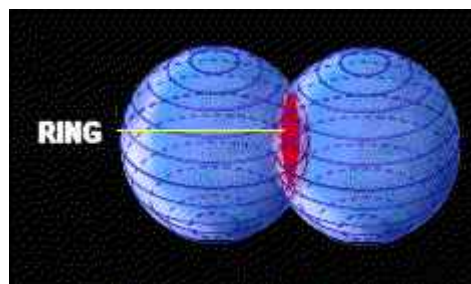
3.2.1 Driehoeksmeting

Het lijkt misschien onwaarschijnlijk, maar de basis van de GPS technologie ligt in het gebruik van satellieten in de ruimte als referentiepunten voor locaties op aarde. Als we onze afstand tot drie satellieten heel nauwkeurig kunnen meten, dan kunnen we ook onze positie, gelijk waar op aarde, afleiden. De GPS-ontvanger moet dus 2 gegevens kennen: de locatie van de satellieten en de afstand van de satellieten tot de ontvanger. We nemen voorlopig aan dat de GPS ontvanger deze afstanden kan bepalen, en kijken eerst hoe we met behulp van deze afstanden onze positie kunnen afleiden.

Veronderstel dat we ongeveer 20.000 km van een satelliet zijn verwijderd. Dan moet onze locatie terug te vinden zijn op een bol met de satelliet in het centrum en een straal van 20.000 km. Alle punten op de bol zullen immers even ver van de satelliet verwijderd zijn.



Stel dat onze afstand tot een tweede satelliet 19.300 km bedraagt. Onze positie ligt dan ook op een bol rond deze tweede satelliet, met een straal van 19.300 km. Als de twee bollen elkaar snijden, dan vormen ze een gemeenschappelijke cirkel. Er is dus een (oneindig grote) groep van posities die 20.000 km van de eerste en 19.300 km van de tweede satelliet verwijderd zijn. Onze positie is één van de punten op deze cirkel. De doorsnede van de twee bollen is te zien op onderstaande figuur.



Omdat de cirkel uit oneindig veel punten bestaat, weten we eigenlijk nog altijd niet waar we ons bevinden. Voegen we nu nog een derde satelliet toe op 20.920 km afstand bijvoorbeeld, dan zullen de drie bollen op exact twee punten snijden. Eén van deze punten is onze locatie.

Met de informatie van drie satellieten kunnen we dus de mogelijke posities beperken tot twee punten in het universum. Om te beslissen welke van de twee punten onze echte locatie is, zouden we een vierde meting kunnen doen. De vier bollen zouden dan één punt gemeen hebben, dat opnieuw overeenkomt met onze positie.

Maar de twee bekomen punten hebben een heel verschillende noorderbreedte, westerlengte en hoogte, en één van de twee punten kan normaal gezien nooit met onze positie overeenkomen (het is bijvoorbeeld te ver van de aarde verwijderd). Deze oplossing kan dan gewoon verworpen worden, en het overblijvende punt is onze positie. De vierde satelliet is dus strikt genomen niet nodig om de plaats te bepalen, maar zal wel gebruikt worden om de verschillen in kloksnelheid tussen de satelliet en de ontvanger op te lossen.



3.2.2 Afstanden tot satellieten meten

We hebben hierboven besproken hoe een positie op aarde kan berekend worden door de afstand van de ontvanger tot minstens drie satellieten te meten. Maar hoe kunnen we nu deze afstanden bepalen, terwijl satellieten voortdurend van plaats veranderen in de ruimte? Dat kunnen we doen door te meten hoelang een signaal, uitgezonden door de satelliet, erover doet om de ontvanger te bereiken.

De satellieten sturen signalen uit die (benaderend) de positie van de satellieten bevatten. Deze informatie wordt continu doorgestuurd en opgeslagen in het geheugen van de GPS ontvanger, zodat deze de banen en de positie van de satellieten kent. Omdat de satellieten bewegen, moet deze informatie regelmatig vernieuwd worden.

Soms kunnen satellieten lichtjes van hun baan afwijken door gravitatiekracht van de maan en de zon of door zonnestraling. Daarom zullen de controlestations permanent de banen van de satellieten volgen, en het hoofdcontrolestation inlichten over de baan, de hoogte, de locatie en de snelheid van de satellieten. Deze gecorrigeerde informatie wordt vervolgens naar de satellieten teruggestuurd, zodat die op hun beurt correcte gegevens over hun locatie naar de GPS ontvanger op aarde kunnen sturen. Zo beschikt de GPS ontvanger steeds over de meest recente gegevens over de locatie van de satellieten.

Nu de ontvanger de exacte locatie van de satellieten kent, kan hij bepalen hoe ver de satellieten van hem verwijderd zijn. De afstand van de ontvanger tot de GPS satelliet is gelijk aan de snelheid van het verzonden signaal vermenigvuldigd met de tijd die het signaal nodig heeft om de ontvanger te bereiken ($\text{afstand} = \text{snelheid} \times \text{tijd}$). Aan de hand van de snelheid en de tijd kunnen we bepalen hoever we verwijderd zijn van deze satelliet. De snelheid van het signaal is gelijk aan de snelheid van radiogolven, namelijk de lichtsnelheid (die is ongeveer 300 000 km/s). Voor de berekening van de tijd hebben we nog wat meer informatie nodig.



3.2.3 Meten van tijd

Met de reistijd van de signalen en de snelheid van het licht kunnen we de afstand tussen de ontvanger en de satellieten bepalen. Vermits we de snelheid van het licht kennen, moeten we nu nog het tijdsprobleem oplossen. Dit ligt niet zo voor de hand. Omdat de tijden tussen verzenden en ontvangen van de signalen zo kort zijn, zullen we heel precieze klokken nodig hebben om de metingen te doen. Een fout van een fractie van een seconde kan al snel een verschil in locatie van enkele honderden kilometers betekenen! Veronderstellen we even dat we over heel precieze klokken beschikken. Hoe kunnen we dan de reistijd van de signalen meten?

Stel dat de zender en de ontvanger op hetzelfde tijdstip een geluidssignaal uitzenden. Als het geluid van de satelliet ons zou kunnen bereiken (wat natuurlijk niet kan), dan zouden we bij de ontvanger twee geluiden horen: dat van de ontvanger zelf en dat van de satelliet. Maar deze twee signalen zullen niet meer samenlopen. Het signaal dat uit de ruimte komt heeft een hele afstand moeten afleggen, en dat kost tijd. Als we nu nagaan hoeveel tijd het signaal van de satelliet werd vertraagd, in vergelijking met het signaal van de ontvanger, dan kennen we de reistijd van het signaal van de satelliet tot bij de ontvanger. Dit is de tijd die nodig is om beide signalen te "synchroniseren" of terug samen te laten lopen. Vermenigvuldiging van deze tijd met de lichtsnelheid levert dan de afgelegde afstand op. De afstand tussen een satelliet en de ontvanger wordt dus bepaald door te meten hoelang een radiosignaal nodig heeft om de ontvanger te bereiken.

In werkelijkheid gaat het natuurlijk niet om een geluidssignaal, maar om een signaal dat informatie bevat en "Pseudo Random Code" wordt genoemd. De Pseudo Random Code is een complex digitaal signaal dat zodanig is samengesteld dat de ontvanger niet per ongeluk met een verkeerde satelliet synchroniseert. Elke satelliet heeft een eigen Pseudo Random Code en het patroon ervan is zo complex dat het onwaarschijnlijk is een ander signaal te vinden met dezelfde vorm. De Pseudo Random Code maakt het ook mogelijk om GPS signalen te versterken, waardoor de ontvanger geen grote satellieten nodig heeft om de signalen op te vangen.

Als het meten van de reistijd van radiosignalen zo belangrijk is bij de werking van GPS, dan gebruiken we maar best zeer nauwkeurige klokken. Satellieten en ontvangers moeten immers constant hun Pseudo Random Codes met elkaar kunnen synchroniseren. De klokken van zender en ontvanger zouden dus ook exact gelijk moeten staan. We hebben eerder al gezegd dat satellieten zeer nauwkeurige atomische klokken aan boord hebben. De klok van de ontvanger is een gewone kwartsklok, te vergelijken met het systeem van een polshorloge, en die is lang niet zo nauwkeurig als de klok van de satelliet. Als de ontvanger ook over een atomische klok zou beschikken zou die ineens veel groter en bovendien ook veel duurder zijn.

De ontwerpers van het GPS-systeem hebben hier gelukkig iets op gevonden. Zij gebruiken een briljant idee dat ervoor zorgt dat we ook met veel minder nauwkeurige klokken in de ontvangers met het GPS-systeem kunnen werken. Dit is één van de belangrijkste elementen in de GPS-technologie. Het geheim van de perfecte tijdsmeting schuilt in het toevoegen van een vierde satelliet. Als we met drie perfecte metingen een punt kunnen lokaliseren in een driedimensionale ruimte, dan kunnen we met vier imperfecte metingen hetzelfde doen. Bovendien

wordt op deze wijze elke ontvanger een klok met atomische accuraatheid. Met behulp van de vierde satelliet en wat wiskundige berekeningen kan een GPS ontvanger elke mogelijke onjuistheid in de klok wegwerken.

3.2.4 Corrigeren van fouten

Tot hiertoe hebben we altijd aangenomen dat het GPS systeem in een vacuüm werkt. In werkelijkheid zijn er natuurlijk nog een aantal invloeden die ervoor kunnen zorgen dat het systeem toch niet zo perfect werkt. Om dit tegen te gaan moet een GPS systeem voortdurend correcties uitvoeren.

Een eerste fout zit al onmiddellijk in de basis van het hele GPS systeem. We hebben gezegd dat de afstand tussen een satelliet en een ontvanger kan bepaald worden als het product van de lichtsnelheid en de reistijd van een verzonden signaal. De lichtsnelheid die we in deze formule gebruiken is enkel constant in een vacuüm. Als een signaal door de atmosfeer reist, zal het een vertraging oplopen, waarvan het effect op de berekeningen te vergelijken is met die van slecht afgestelde klokken.

De problemen voor het GPS-signaal stoppen niet bij de grond. Het signaal wordt immers ook teruggekaatst op allerlei storende voorwerpen onderweg (zoals hoge gebouwen, brugconstructies, ...). Goede ontvangers gebruiken speciale technieken om deze fouten tot een minimum te beperken. Bovendien worden in de GPS-ontvanger soms getallen afgerond of worden minder nauwkeurige berekeningen gemaakt.

Ook bij de satelliet kunnen zich een aantal problemen voordoen. De atomische klokken die de satellieten aan boord hebben zijn heel precies, maar toch niet perfect. Er kunnen zich kleine afwijkingen voordoen, en die vertekenen de metingen van de reistijd van de signalen. Bovendien kan de satelliet soms licht van zijn baan afwijken (ondanks de strenge bewaking vanuit de controlestations). Elke verandering in de baan kan een fout veroorzaken. Dit noemt men dan "efemeris" fouten.

Wanneer een GPS ontvanger satellieten gebruikt uit hetzelfde gedeelte van het luchtruim, dan wordt het moeilijker om de positie te bepalen. Als de gebruikte satellieten beter zijn verspreid, dan wordt de afwijking in de berekening van de positie kleiner.

4 Toepassingen

4.1 Militair

Toen het Amerikaanse Ministerie van Defensie (U.S. Department of Defense) startte met de uitbouw van het GPS netwerk, hadden ze onmiddellijk een aantal (militaire) toepassingen in gedachten. Het systeem moest militairen helpen bij de navigatie, het inzetten van troepen en afvuren van wapens. De eerste toestellen vinden we dan ook terug in straaljagers, bommenwerpers, tankvliegtuigen, helikopters, schepen, onderzeeërs, tanks en jeeps. Maar ook individuele soldaten werden met GPS ontvangers uitgerust. In de beginjaren was GPS dus louter een militair verhaal.

4.2 Burgers

Ondertussen zijn de tijden veranderd en is de technologie ook opengesteld voor burgers, die er nu ook gebruik van kunnen maken. De grote nauwkeurigheid, het grote aanbod softwaretoepassingen, de vele (handige!) formaten waarin GPS ontvangers verkrijgbaar zijn, en de dalende prijzen van de toestellen hebben voor een enorme opmars in het particuliere gebruik gezorgd. Dit blijkt ook uit volgende toepassingen van de GPS:

- 1) Vervoermiddelen: wagens, boten of vliegtuigen
- 2) Buitensporten: wandelen, fietsen, trektochten, orientatietochten,

Tracks: Een track is een log dat het GPS-toestel aanmaakt tijdens een wandeltocht. Op geregelde tijden of afstanden markeert het toestel de locatie met een stipje. De verzameling stipjes geeft vervolgens een goed beeld van de wandeling die is gemaakt. Het track kan vervolgens op de PC over een kaart worden geplaatst waardoor de gelopen route zichtbaar en bewerkbaar wordt. Op die manier kan je je wandeltocht opnieuw bewandelen of opmerkingen aanbrengen. Je kan op deze manier ook je wandeling delen met anderen.

Waypoints: dit zijn soorten van coördinaten. Die coördinaten kan je zelf een naam geven en op die manier kan je een toffe of belangrijke plaats vastleggen en altijd terugvinden. Je kan deze op het moment dat je deze plek ontdekt ingeven of op voorhand om op reis bv. je hotel of een restaurant op te zoeken.

- 3) Spelen: vb. geocaching

Iemand verstopt op een bijzondere plaats, meestal in de natuur, een waterdichte doos, met daarin een aantal min of meer begerenswaardige voorwerpen. Met zijn hand-GPS bepaalt hij de precieze coördinaten van de schuilplaats, die hij vervolgens publiceert op de Geocache-website. Anderen lezen die coördinaten en kunnen op zoek gaan naar de **cache** ('schat'). Vinden ze hem, dan mogen ze er een voorwerp uitpakken, maar ze moeten er ook weer één bij doen. Zo verandert de inhoud van de cache voortdurend. Vervolgens loggen ze hun bezoek in op de speciale cache pagina om hun bezoek kenbaar te maken.

- 4) Industrie: vb. de aanleg van de tunnel van Dover naar Calais.

De tunnel werd van beide kanten naar elkaar toe gegraven. Dankzij GPS toestellen wisten de arbeiders precies waar ze moesten graven om elkaar in het midden van de tunnel te kunnen treffen.

5) Onderzoek: vb. het Instituut voor Mobiliteit,...

Dankzij GPS het verplaatsingsgedrag van personen in kaart brengen om zo op termijn files te voorkomen, het openbaar vervoer beter af te stemmen op het gebruik en de locaties, ...

6) In combinatie met GSM: vb. personen in nood kunnen coördinaten doorsturen of opgespoord worden,

7) ...

5 Toekomst

Ondanks de enorme evolutie van het GPS netwerk in de afgelopen decennia, staat de ontwikkeling en de verdere uitbouw van het systeem niet stil. Ingenieurs werken dagelijks verder aan de uitbouw en de modernisering van het GPS systeem, zowel voor militair als voor burgerlijk gebruik. Zo zorgen zij ervoor dat de plaatsbepalingen nog nauwkeuriger kunnen gemaakt worden. Ook zullen de nieuwe satellieten in een stabielere baan rond de aarde zweven en zijn ze beter te controleren vanaf de aarde.

Tot hiertoe hebben we het ook enkel gehad over het Amerikaanse GPS systeem NAVSTAR. Naast het Amerikaanse continent zijn ook de Russen en de Europeanen volop aan de gang met het uitbouwen van hun GPS netwerk. Momenteel is het Amerikaanse GPS wel veruit het beste positiebepalingsysteem dat we hebben.

Rusland heeft intussen al een groot aantal jaren een eigen GPS systeem, GLONASS. Het Russische systeem is minder nauwkeurig dan het Amerikaanse en bovendien zeer slecht onderhouden.

Ondertussen zijn ook een aantal Europese landen (De Europese Unie zonder Griekenland, Luxemburg, Noorwegen en Zwitserland) gestart met de lancering van een nieuw systeem: GALILEO.

5.1 Galileo

Op 28 december 2005 heeft een Russische Soyoez-raket vanop een basis in Kazachstan de eerste satelliet voor het Europese GPS-systeem Galileo de ruimte ingeschoten. De satelliet is de eerste van 30 die tegen 2010 het Europese antwoord op de Amerikaanse GPS moet vormen. GALILEO wordt nauwkeuriger en zal beter posities kunnen bepalen op heel noordelijke plaatsen op aarde. In landen als Finland, Zweden en Noorwegen werkt NAVSTAR momenteel in het noorden immers een stuk minder nauwkeurig dan op andere plaatsen. Het volledige systeem zal samengesteld zijn uit 30 satellieten (waarvan 27 operationeel en 3 reserve) in drie cirkelvormige banen met een hoogte van ongeveer 24.000 km boven het aardoppervlak. Het netwerk zal ondersteund worden door een wereldwijd netwerk van grondstations.

Er zijn verschillende redenen voor Europa om een eigen positiebepalingsysteem op te zetten. De belangrijkste reden is dat men niet afhankelijk wil zijn van de Verenigde Staten. Zij zouden namelijk op elk moment het systeem kunnen uitschakelen (wat waarschijnlijk alleen in geval van oorlog zou kunnen gebeuren). Daarnaast moet het bepalen van posities nog beter gaan met GALILEO. Verder is het de bedoeling dat GALILEO met zowel het Amerikaanse GPS (NAVSTAR) als het Russische GLONASS combineerbaar zal zijn, om een zo goed mogelijk plaatsbepalingsysteem te krijgen. Tot slot betekent GALILEO ook voor Europa een grote economische meerwaarde.

Anders dan NAVSTAR is dat Galileo zal werken met verschillende lagen:

- Laag 1: algemene (gratis) positiebepaling voor particulieren. Bijvoorbeeld bij het wandelen of varen.

- Laag 2: extra betrouwbaar, voor bedrijven en systemen (treinen, vliegtuigen) die absoluut niet zonder plaatsbepaling mogen komen te zitten;
- Laag 3: beveiligde laag voor Europese veiligheid. Hier bedoelt men de legers en overheden mee.

5.2. Glonass

GLONASS is de Russische variant van GPS en bestaat sinds 1995. De volledige naam is "GLObalnaja Navigatsionnaja Spoetnikovaja Sistema", wat zoveel betekent als wereldwijd navigatiesatellietsysteem. Het systeem werkt met 24 satellieten, waarvan 21 in werking en 3 als reserve, die continu signalen doorsturen in 2 frequentiebanden. Deze signalen kunnen, net als bij GPS, door gebruikers over de hele wereld opgevangen worden. De satellieten worden kunstmanen genoemd.

De nauwkeurigheid van GLONASS is vergelijkbaar met GPS maar het grote nadeel aan het Russische systeem is dat de satellieten maar een levensduur hebben van 3 jaar (GPS-satellieten kunnen tot 10 jaar meegaan). Eind jaren negentig was er een economische crisis in Rusland waardoor de Glonass-satellieten niet vervangen werden en het systeem al snel niet meer bruikbaar was. Tegen 2000 waren er nog maar 8 satellieten in werking terwijl je er 24 nodig hebt om optimaal te kunnen opereren. In 2005 werden er echter weer 11 kunstmanen in gebruik genomen, nadat de economisch crisis ten einde was. Een nieuw type van satelliet werd ontwikkeld met een levensduur van 7 jaar en eind 2004 werden er 3 van deze kunstmanen gelanceerd. Er is ondertussen een samenwerking met India en men hoopt dat het systeem in 2010 operationeel zal zijn.

Elke satelliet draait rond de aarde in 11 uur en 15 minuten tijd en op een hoogte van 19100 km boven het aardoppervlak. Het controlesegment op aarde is volledig gelokaliseerd binnen het grondgebied van de Sovjet Unie met Moskou als hoofdcentrale.

Bronnen

1. GPS: Functie en geschiedenis

1.1. Functie

- Trimble (GPS Tutorial: "Putting GPS to work").
<http://www.trimble.com/gps/gpswork.shtml>
- Wikipedia (Global Positioning System: werking).
http://nl.wikipedia.org/wiki/Global_Positioning_System

1.2. Geschiedenis

- Zowerkt.nl (Geschiedenis van GPS)
http://www.zowerkt.nl/transport/navigatie/gps_geschiedenis.htm
- Pocketinfo.nl (Geschiedenis en toekomst van GPS, GLONASS en GALILEO)
<http://www.pocketinfo.nl/nieuws/hardware/6155/geschiedenis-en-toekomst-van-gps-glonass-en-galileo.html>
- Blinfotec (Geschiedenis van satelliet navigatie: GPS)
http://www.blinfotec.org/loadstone-gps/facts/hist_gps.html
- The Tech-Fac (Gps Geschiedenis)
<http://www.tech-fac.com/ylang/nl/gps.shtml>
- A guide to the Global Positioning System (GPS) (History of Navigation and GPS)
http://support.radioshack.com/support_tutorials/gps/gps_hist.htm

2. Onderdelen van een GPS systeem

- GNSS home (Ruimtesegment, Controlesegment, Gebruikerssegment)
http://www.gps.oma.be/nl/lbesch_nl_ok_css.htm
- Wikipedia (Onderdelen GPS systeem)
http://nl.wikipedia.org/wiki/Global_Positioning_System#Onderdelen_gps-systeem
- The Tech-Fac (Gps Architectuur)
<http://www.tech-fac.com/ylang/nl/gps.shtml>
- GPS Report (Segments)
<http://infohost.nmt.edu/~mreece/gps/whatisgps.html>
- A guide to the Global Positioning System (GPS) (The Parts of GPS)
http://support.radioshack.com/support_tutorials/gps/gps_parts.htm

3. Hoe werkt GPS?

3.1. Algemeen

- TomTom.com (Hoe werkt GPS?)
<http://www.tomtom.com/howdoesitwork/index.php?Language=5>
- Garmin (What is GPS?)
<http://www8.garmin.com/aboutGPS/>

- PocketGPSworld.com (How does the Global Positioning System (GPS) work?)
<http://www.pocketgpsworld.com/howgpsworks.php>
- How does GPS work?
<http://www.nasm.si.edu/gps/work.html>
- Weethet.nl (Wat is GPS en hoe werkt het?)
http://www.weethet.nl/dutch/gps_howitworks.php#whatisgps

3.2. De verschillende stappen

3.2.1. Driehoeksmeting

- Trimble (GPS Tutorial: "Triangulating from Satellites")
<http://www.trimble.com/gps/howgps-triangulating.shtml>
- Telsat – Belspo (GPS)
<http://telsat.belspo.be/BEo/Nl/guiDE/gps.asp?section=2.6.3>
- Go-Gps.nl (De basis van GPS: afstandsmeting tot satellieten)
http://www.go-gps.nl/pages/gps/gps_hoe_1a.php

3.2.2. Afstanden tot satellieten meten

- Trimble (GPS Tutorial: "Measuring distance from a satellite")
<http://www.trimble.com/gps/howgps-measuring.shtml>
- Go-Gps.nl (Afstanden meten tot een satelliet)
http://www.go-gps.nl/pages/gps/gps_hoe_2.php
- Go-Gps.nl (Positie berekenen)
http://www.go-gps.nl/pages/gps/gps_hoe_3.php

3.2.3. Meten van tijd

- Trimble (GPS Tutorial: "Getting perfect timing")
<http://www.trimble.com/gps/howgps-timing.shtml>

3.2.4. Corrigeren van fouten

- Go-Gps.nl (Fouten corrigeren)
http://www.go-gps.nl/pages/gps/gps_hoe_4.php

4. Toepassingen

4.1. Militair

- Wikipedia (Militaire implicaties)
http://nl.wikipedia.org/wiki/Global_Positioning_System#Toepassingen

4.2. Burgers

- Global Positioning System (Applications)
<http://www.gps.gov/>
- Geocaching.be
<http://www.geocaching.be/web/nl/index.php>
- Wandel.nl (toepassingen van GPS)
<http://www.wandel.nl/index.aspx?menu=wandelsport&submenu=GPS-wandelen&subsubmenu=Toepassingen%20GPS>

5. Toekomst

- Pocketinfo.nl (Geschiedenis en toekomst van GPS, GLONASS en GALILEO)
<http://www.pocketinfo.nl/nieuws/hardware/6155/geschiedenis-en-toekomst-van-gps-glonass-en-galileo.html>
- Wikipedia (Galileo navigatie)
[http://nl.wikipedia.org/wiki/Galileo_\(navigatie\)](http://nl.wikipedia.org/wiki/Galileo_(navigatie))

5.1. Galileo

- Wikipedia (Galileo navigatie)
[http://nl.wikipedia.org/wiki/Galileo_\(navigatie\)](http://nl.wikipedia.org/wiki/Galileo_(navigatie))
- NCG – KNAW (Plaatsbepaling met het Europese systeem Galileo)
<http://www.ncg.knaw.nl/Onderzoek/Galileo.html>
- Directorate-General Energy and Transport (Galileo: European satellite navigation system)
http://ec.europa.eu/dgs/energy_transport/galileo/index_en.htm
- ESA (Galileo Navigation)
http://www.esa.int/esaNA/GGGMX650NDC_galileo_0.html

5.2. Glonass

- Wikipedia (GLONASS)
<http://nl.wikipedia.org/wiki/GLONASS>
- Russian Space Agency (Information – Analytical Centre)
<http://www.glonass-ianc.rsa.ru/pls/htmldb/f?p=202:1:14811351095518080374>
- Space and Tech (GLONASS – Summary)
http://www.spaceandtech.com/spacedata/constellations/glonass_consum.shtml
- Glonass.it (GLObal NAVigation Satellite System)
<http://www.glonass.it/eng/glonass-story.aspx>