

Satellietnavigatie: hoe werkt het nu precies?

Satellieten slagen erin met grote precisie te bepalen waar je je bevindt op aarde als je tenminste over een gps-ontvanger beschikt. In tegenstelling met proeven in een laboratorium lijkt bij plaatsbepaling met satellieten een contra-expertise niet mogelijk, want de satellieten zijn gevlogen. Lijkt, want de realiteit is anders.

Als je dertig jaar geleden geen goede routebeschrijving had om naar het Huppelpad in Wageningen te komen, had je een probleem. Zelfs op de provinciale kaart kon je die straat niet vinden. En het was nog maar de vraag of de naam op een gemeentekaart was terug te vinden. Beschikte je over een gedetailleerde topografische kaart, dan had je veel meer kans om op het juiste adres te komen, als je tenminste beschikte over de juiste coördinaat. Daarmee kon je meestal op 10 mm nauwkeurig een locatie opzoeken.

Tijd is afstand

Satellietnavigatie is gebaseerd op de snelheid van het licht: 300.000 km/sec. Door de tijd te meten weet je ook de afstand. Die tijd wordt gemeten met atoomklokken in de satellieten. Uiterst nauwkeurig, want bij die hoge snelheid wordt een afstand van 30 cm afgelegd in een miljardste seconde (1 nano-seconde: 10^{-9}). Hoe kort dit is wordt duidelijk als je het vergelijkt met een knipoog. Een keer knipogen doe je in 0,2 seconden. Een lichtstraal legt daarin een afstand af van bijna 60.000 km.

Van kringetjes naar satellieten

Je werpt een steentje op een spiegelglad wateroppervlak. Je ziet mooie concentrische cirkels die zich steeds verder naar buiten verplaatsen. Werp je dat steentje op precies dezelfde manier vanaf drie punten, waarvan de onderlinge afstand nauwkeurig bepaald is, en je verankert tussen die drie objecten een object, dan kun je met de drie tijden, waarin de golven het object bereiken, de afstand en daarmee de coördinaten van het object berekenen. Tijd is afstand. In een plat vlak kun je met een signaal uit drie punten een vierde punt lokaliseren.

Vervang je het wateroppervlak door lucht en de steentjes door geluidsbronnen, dan heb je te maken met de snelheid van het geluid: 333 m/sec. Licht het onbekende object in het vlak van de drie geluidsbronnen, dan kun je met de drie tijden tussen verzenden en ontvangen weer het object lokaliseren. Zonder erbij stil te staan doe je heel vaak het omgekeerde. Door bij onweer te tellen hoeveel seconden er verlopen tussen de bliksem en de donderslag weet je waar de bui zich bevindt. Tussen water- en geluidsgolven zit wel een verschil. Geluid verplaatst zich naar alle kanten. Als je het onbekende object uit het vlak van de drie bekende punten plaatst, is er altijd weer een punt te vinden waarbij

dezelfde tijdsverhoudingen gelden. Daarmee is zo'n punt niet exact gedefinieerd, want dat punt heeft ten opzichte van het platte vlak nog een spiegelbeeld. Om de plaatsbepaling eenduidig te maken moeten we een vierde geluidsbron installeren op een bekende plek die niet meer in het platte vlak van de eerste drie ijkpunten ligt. Met die vier tijden die het geluid er over doet om het object te bereiken, kun je de plaats exact berekenen. Om dus een plaats in de ruimte van coördinaten te voorzien, moet je over vier 'zenders' beschikken.

En dan de laatste stap. Vervang de vier geluidsbronnen door even zoveel lichtsignalen op grote afstand en je hebt in principe de plaatsbepaling bij gps. De signalen die de ontvanger op de trekker op een moment binnenkrijgt, zijn op verschillende tijdstippen door de satellieten verzonden. Die verzendtijd wordt in code meegegeven. En omdat tijd weer synoniem is met afstand kan de ontvanger de coördinaat berekenen, waar de trekker zich bevindt.

Satellietnavigatie

Voor de echte satellietnavigatie met gps draaien 24 satellieten in zes banen rondom de aarde op een hoogte van 20.200 km. Elke baan maakt een andere hoek met de evenaar. Elke satelliet vliegt twee keer per dag om de aarde. De baan van elke satelliet wordt met enkele grondstations rond de evenaar gecontroleerd en zo nodig gecorrigeerd. Baan en snelheid van de satelliet zijn dus bekend en daarmee ook de plaats op een bepaald tijd-

stip. In elke satelliet van het gps-systeem zit een atoomklok. Al deze klokken lopen precies gelijk. In elk gecodeerd lichtsignaal dat een satelliet uitzendt, is de geijkte verzendtijd opgenomen. In de ontvanger op de trekker of elders op aarde wordt op hetzelfde moment (tijdstip) een groot aantal signalen opgevangen. Uit de tijdsverschillen tussen verzenden van de satellieten en ontvangen berekent de ontvanger op de trekker de plaats, waar hij zich bevindt.

Grotere precisie door meer signalen

Onze aarde heeft een straal van afgerond 6.400 km. De afstand van de satellieten tot het midden van de aarde is dus 26.600 km. Door die grote afstand raakt het bolvormig signaal de aarde over een hoek van ongeveer 150 graden, iets minder dan de helft. Omdat in elke baan de satellieten op gelijke afstand van elkaar staan, wordt elk punt op aarde door tenminste twee van de vier satellieten gezien. Alleen het gebied rond de draai-as van elke baan moet door de satellieten van een andere baan worden 'aangestraald'. Zo krijgt elk punt op de aarde een signaal van meestal acht satellieten. Door dat grote aantal signalen neemt de precisie toe.

Vertroebeling door de atmosfeer

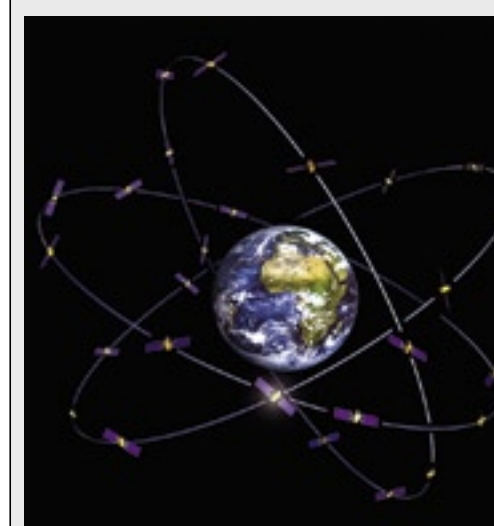
In theorie is een ideale situatie verondersteld. De praktijk is anders. Door afwijkingen in de satellietbaan en door atmosferische storingen verandert het inkomende signaal. Bij de plaatsbepaling kunnen daardoor bij de basis gps-afwijkingen ontstaan oplopend tot 10 meter



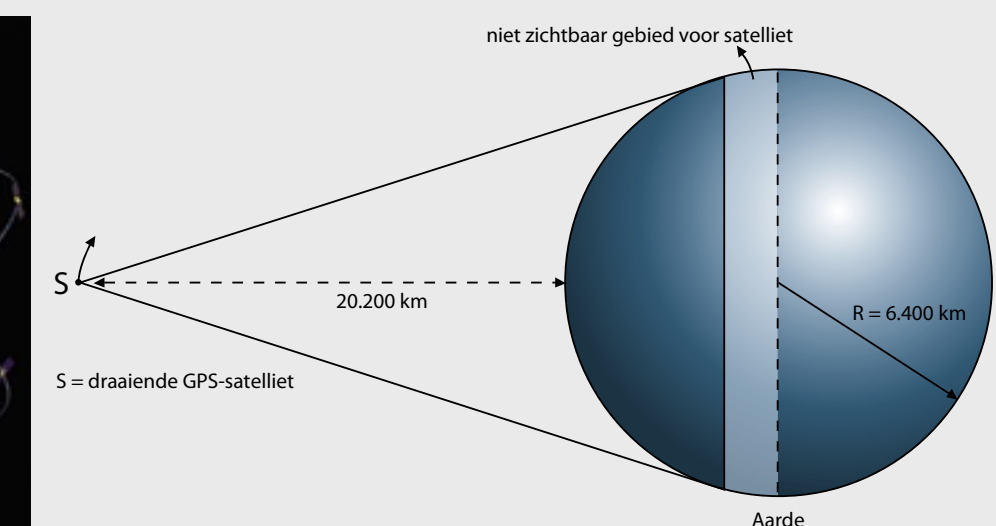
▲ Elk punt op de aarde krijgt een signaal van meestal acht satellieten. Door dat grote aantal signalen neemt de precisie toe.

in twee etmalen. Voor grotere precisie wordt gps uitgebreid met aardse referentiebakens: dgps1 met een afwijking van 100 cm over twee etmalen, dgps2 met 10 cm afwijking per twee etmalen en rtk-gps met een lokaal referentiestation voor nog grotere precisie. Bij dgps2 worden met hulp van 26 referentiestationen de afwijkingen van het satelliet-signaal berekend. De daaruit berekende correctie wordt door een geostationaire radiosatelliet (op een hoogte van 300 km) doorgegeven naar de gps-ontvangers. Meer precisie betekent wel extra kosten. **LM**

Afstand en plaats van satellieten



▲ Door de grote afstand bestrijkt het signaal van een satelliet bijna de helft van de aarde.



▲ Een klein deel van de halve aardbol is onzichtbaar voor een satelliet. Met meer satellieten is wel elk plekje op de aarde zichtbaar.