

Samenvatting (Summary in Dutch)

GPS (Global Positioning System) heeft nauwkeurige, betaalbare en vrijwel altijd beschikbare bepaling van plaats en tijd mogelijk gemaakt. Dit heeft geleid tot het wijd verspreid gebruik van het systeem, tot toegenomen populariteit en tot talloze nieuwe applicaties. Het heeft echter eveneens geresulteerd in een toegenomen afhankelijkheid van de Global Navigation Satellite Systems.

De steeds verder verbeterende kwaliteit van GPS heeft lange tijd voeding gegeven aan de gedachte dat GPS – en GPS alleen – de toekomst zou zijn van radioplaats- en tijdsbepaling. De in 2001 uitgebrachte Volpe-studie, en later het in 2004 voorgestelde ERNP (European Radio Navigation Plan), bevatten een ander toekomstbeeld. Hoewel GPS en andere plaatsbepalingssystemen op basis van satellieten heel nauwkeurig zijn, worden ze onvoldoende betrouwbaar geacht om gebruikt te kunnen worden als enige systeem voor die applicaties waarbij veiligheid, economie en/of het milieu in het geding zijn. Voor die applicaties is een backupsysteem nodig waarvan de foutkarakteristieken verschillen van die van GNSS.

De door het Volpe-rapport en ERNP-voorstel gesuggereerde oplossing is – wellicht verrassend – een oud en vrijwel vergeten radioplaatsbepalingssysteem: Loran-C. Dit systeem verschilt in grote mate van GPS door het gebruik van laagfrequente pulsen met hoge energie. De combinatie van Loran-C en GPS heeft daarom de potentie om veel robuuster te zijn dan ieder van de systemen afzonderlijk. Echter, de “officiële” specificaties van het uit 1958 stammende Loran-C systeem zijn niet toereikend om te voldoen aan de zware eisen van de meeste moderne applicaties.

Gelukkig zijn de officiële specificaties van het systeem gebaseerd op de beperkte mogelijkheden van inmiddels achterhaalde technologie en niet op wat fundamenteel mogelijk is met laagfrequente radioplaatsbepaling. Dit leidt tot de volgende vraag:

Wat zijn de fundamentele limieten van laagfrequente radioplaatsbepaling en hoe hebben die invloed op mogelijke toepassingen?

Loran-C is momenteel het enige beschikbare, operationele en publiek toegankelijke laagfrequente radioplaatsbepaling systeem. Daarom richt deze dissertatie zich primair op Loran-C. De meeste resultaten zijn echter ook toepasbaar op andere laagfrequente plaatsbepalingssystemen. Hoofdstuk 2 introduceert de systeemeigenschappen van Loran-C.

De zoektocht naar de fundamentele limieten begint bij het identificeren van de mogelijke foutbronnen. Hoofdstuk 3 bevat een grondige systeemanalyse die achtereenvolgens de zender, de signaalpropagatie, de antenne, de ontvangeralgoritmen en de uiteindelijk berekenende plaats en tijd behandelt.

Laagfrequente grondgolven ondergaan een vertraging als functie van de grondgeleidbaarheid, de topografie, de seizoenen en het weer. Indien er niet voor deze vertragingen gecompenseerd wordt, kunnen significante positiefouten ontstaan. Hoofdstuk 4 bespreekt het gebruik van een differentieel referentiestation om de tijdafhankelijke vertragingen te compenseren. Door het gebruik van een plaatsafhankelijke correctietabel worden de propagatiegerelateerde positiefouten nog verder gereduceerd. De resulterende positienauwkeurigheid is potentieel voldoende voor bijvoorbeeld de stringente nauwkeurigheidseis van 20 meter met een betrouwbaarheid van 95% van de maritieme Harbor Entrance and Approach (havennadering) procedure.

Hoofdstuk 5 besteedt uitvoerig aandacht aan de H-veld antenne. Het hoofdstuk behandelt naast foutbronnen zoals ruis, E-veld gevoeligheid, afstemming en overspraak ook nieuwe compensatietechnieken en hun succesvolle implementatie.

Hoofdstuk 6 behandelt diverse meetcampagnes die de gepresenteerde theorie in de praktijk brengen. Gedurende het promotieonderzoek heeft de promovendus een bijzonder nauwkeurig meetsysteem ontwikkeld. De Reeuwijk-metingen laten hiervan de eerste stap zien. Met nauwkeurige “dubbel-verschil”-metingen worden zowel in het temporele als in het spatiële domein de lokale propagatieverschijnselen aanschouwelijk gemaakt. Voor het doen van de landmobiele meetcampagne in Boston is het meetsysteem verder uitgebreid. Er zijn simultane metingen in zowel het E-veld als het H-veld gedaan, hetgeen naast een niet eerder geëvenaarde analyse van re-radiation ook een beoordeling van de toepasbaarheid van laagfrequente radioplaatsbepaling in een landmobiele omgeving mogelijk maakte. De introductie van differentieële correcties en H-veld antenne calibratie voor de Tampa Bay campagne resulteerde in meetnauwkeurigheden die nog nooit eerder zijn gehaald. Hoofdstuk 6 laat ook het kwantitatieve effect van bruggen op de positiebepaling zien en presenteert de succesvolle resultaten van een uniek re-radiation detectie-algoritme. Dit algoritme maakt het mogelijk om lokale verstoringen te detecteren wat een tijdige waarschuwing voor potentieel foutieve positie-informatie mogelijk maakt. Tenslotte toont Hoofdstuk 6 een behaalde positienauwkeurigheid van beter dan 10 meter met 95% betrouwbaarheid gedurende een realistisch havennaderingsscenario.

Deze dissertatie sluit af met een beoordeling van het potentieel van laagfrequente plaatsbepaling, gebaseerd op de resultaten van het promotieonderzoek gecombineerd met de persoonlijke visie van de promovendus.

Wouter J. Pelgrum
Delft, november 2006