

Beïnvloedende factoren bij een elektromagnetische afstandsmeting met een totaalstation

Jonas Lens

Hogeschool Gent

Jonas.lens.t2871@student.hogent.be

Cornelis Stal

Hogeschool Gent

Cornelis.Stal@hogent.be

ABSTRACT

De landmeetkunde is gebaseerd op het meten van twee soorten waarden, zijnde hoeken en afstanden. Het bepalen van deze waarden heeft een enorme evolutie doorstaan, voor wat betreft de nauwkeurigheid en meetperformantie. Tegenwoordig worden afstanden veelal gemeten door middel van elektromagnetische afstandsmetingen, waarbij gebruik gemaakt wordt van tijdsmetingen op de looptijd of faseverschil van een lichtstraal. De nauwkeurigheid die een bepaald toestel behaalt, kan worden bepaald door het uitvoeren van de ISO 17123-4 test. Ook maakt deze test het mogelijk om op statistische wijze te bepalen of een toestel voldoet aan vooropgestelde specificaties. In deze paper worden verschillende elementen besproken die een invloed hebben op de nauwkeurigheid van elektromagnetische afstandsmetingen, aangevuld met de uitvoering van een ISO test op enkele recent aangekochte totaalstations van de Hogeschool Gent.

Sleutelwoorden

Elektromagnetische stralen, afstandsmeting, ISO 17123-4, landmeetkunde.

INLEIDING

In het begin van de jaren veertig van de twintigste eeuw is men er voor het eerst in geslaagd om de voortplantingssnelheid van licht door de atmosfeer te meten. Hierdoor werd het dus ook mogelijk om lange afstanden op korte tijd te meten. In de jaren zestig was de opkomst van de LASER (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation) een grote stap voorwaarts voor de afstandsmeters. In 1969 werd de WILD D110 op de markt gebracht. Dit toestel heeft ervoor gezorgd dat de elektromagnetische afstandsmeting is doorgebroken in de landmeetkunde. Naast directe afstandsmetingen (meetlint, plooiometer, ...) en stadimetrische afstandsmetingen (waterpassing) is de elektromagnetische afstandsmeting nog steeds de meest gebruikte techniek is voor het meten van afstanden. De

herhaalbaarheid en nauwkeurigheid van de elektronische afstandsmeting is afhankelijk van verschillende parameters. Voor topografische metingen is het noodzakelijk dat de uiteindelijke fout die de verschillende parameters met zich meebrengt systematisch beschreven worden. ISO 17123-4 voorziet een systematiek om afstandsmetingen op een statistische manier te beoordelen en de toestand van een meettoestel te evalueren ten opzichte van specificaties.

WERKINGSPRINCIPE VAN EEN ELEKTROMAGNETISCHE AFSTANDSMETING

Het voortplanten van elektrische en magnetische golven door de ruimte vormt de elektromagnetische straling. Een zeer belangrijk kenmerk van een elektromagnetische straling is dat het geen medium nodig heeft om zich voort te planten. Dit wil zeggen dat elektromagnetische straling zich dus ook in een vacuüm kan voortplanten aan de snelheid van het licht (c). Deze snelheid is door een conventie vastgelegd op 299 792 458 m/s, maar zal lager liggen in functie van fysische omgevingsfactoren, zoals het voortplantingsmedium, (lucht)druk en temperatuur. In deze paper wordt nader ingegaan op twee technieken die aan de hand van elektromagnetische straling een afstandsmeting kunnen uitvoeren, namelijk de faseverschilmeting en het puls-metprincipe. Volledigheidshalve dienen de afstandsmetingen met behulp van triangulatie en interferometrie te worden vermeld, maar hier wordt verder niet op ingegaan, aangezien deze technieken minder courant zijn binnen de reguliere landmeetkunde.

Het puls meetprincipe

Het puls-metprincipe, ook wel gekend als de Time-Of-Flight-methode, is gebaseerd op het zeer nauwkeurig meten van de looptijd van een signaal. Er worden korte laserpulsen uitgezonden die na weerkaatsing op het object terug worden ontvangen door het toestel. Het toestel is zo ontwikkeld dat het verschil in tijd tussen het uitzenden en het terug ontvangen van de laserpuls kan meten. Door de zeer nauwkeurige tijdsmeting (t) kan aan de hand van de snelheid van het licht (c) de afstand tussen de zender en reflector (D) berekend worden:

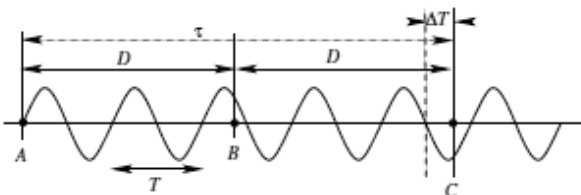
$$D = \frac{1}{2} ct$$

De nauwkeurigheid van de afstandsmeting is afhankelijk van de nauwkeurigheid van de tijdsmeting.

De faseverschilmeting

Naast de met het puls meetprincipe uitgezonden straling kan er ook een continue elektromagnetische variant worden gestuurd vanuit punt A richting reflector B, met als doel de afstand tussen deze punten te bepalen (Figuur 1).

Normaal wordt de elektromagnetische golf weerkaatst in punt B, maar in Figuur 1 is voor de duidelijkheid de golf gewoon doorgetekend tot punt C dat overeen zal komen met punt A. De afstand van A tot C bevat een aantal volledige golflengten (n) met een gegeven looptijd (T) en één onvolledige golflengte, in bovenstaande figuur aangeduid als ΔT .



Figuur 1: Schematische voorstelling van het principe van de faseverschilmeting

De volledige looptijd (τ) van de elektromagnetische golf bedraagt:

$$\tau = nT + \Delta T$$

De faseverschilmeting omvat dus het meten van het aantal volledige golflengten en de fractionele fase. Met:

$$\lambda = c\tau$$

kan men de afstand (d) tussen twee punten bepalen door:

$$d = \frac{1}{2}ct = \frac{1}{2}c \left(\frac{1}{2\pi f} \right) (n\pi + \Delta\phi)$$

FOUTENBRONNEN BIJ EEN ELEKTROMAGNETISCHE AFSTANDSMETING

Fouten met een elektromagnetische afstandsmeter kunnen een groot aantal oorzaken hebben. Hieronder worden enkele van de meest voorkomende fouten kort besproken.

Instrumentale fouten

De instrumentale fouten zijn de fouten die hun oorzaak vinden bij het gebruikte instrument en toebehoren.

Onnauwkeurige afstandsmeting

Bij het puls-meetprincipe kan er een onnauwkeurige afstandsmeting gebeuren doordat het toestel een foute tijdsmeting uitvoert. Dit is een fout die zeer moeilijk te controleren is door de waarnemer.

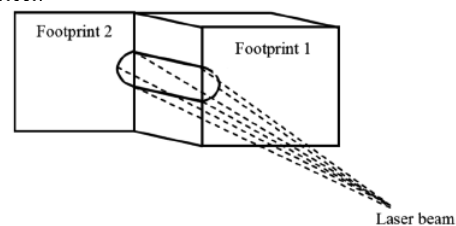
Divergerende laserbundel

Bij het uitsturen van een laserstraal wordt deze breder naarmate de afstand groter wordt. Dit fenomeen wordt divergeren genoemd. Dit zorgt ervoor dat de laserpuls een grotere oppervlakte heeft als het weerkaatst op het object en nog een grotere oppervlakte als de puls terug wordt opgevangen voor het toestel. De oppervlakte die de laserpuls heeft als het op het object weerkaatst, wordt de 'footprint' genoemd. Het grote nadeel van de divergentie van de laserbundel is de onzekerheid op welke positie van het object er gemeten is. Omdat de footprint van de

laserbundel een stuk groter is kan men niet precies zeggen op welk punt de afstand gemeten is. De enige zekerheid is dat het gemeten punt binnen de footprint ligt.

Het randeffect

Een ander gevolg van een divergerende bundel is het randeffect of het 'mixed-edge'-probleem (Figuur 2). Als de rand van een object gemeten moet worden, kan het zijn dat er door de divergentie van de laserbundel slechts een deel van de straal wordt teruggekaatst naar het toestel en een ander deel zich blijft voortplanten tot een ander object de straal terugkaatst. Als deze twee verschillende stralen, welke oorspronkelijk één straal was, terug worden opgevangen door het toestel, zullen ze twee verschillende waarden voor de afstand aangeven. Bij kleine afwijkingen zal de elektromagnetische afstandsmeter dan doorgaans het gemiddelde van deze twee afstanden berekenen en een punt meten waar eigenlijk helemaal geen punt ligt in de realiteit.



Figuur 2: Figuur van het randeffect

Objectafhankelijke fouten

Objectafhankelijke fouten zijn fouten die hun oorzaak vinden bij het te meten object. Er zijn veel verschillende factoren van een object die de afstandsmeting kunnen beïnvloeden. Uiteraard spelen objectafhankelijke fouten hoofdzakelijk mee bij reflectorloze metingen. Als er met een prismareflector gemeten wordt, heeft de ondergrond van het object een zeer geringe invloed op de meting.

Reflectie van het object

Elektromagnetische afstandsmeters ontvangen de laserpuls die weerkaatst is op het te meten object. Als de laserpuls bij reflectorloze metingen het te meten object bereikt, wordt deze niet enkel teruggekaatst in de richting van het totaalstation maar ook in alle andere richtingen. Dit wordt een diffuse reflectie genoemd. De kleur, ruwheid en materiaal van het te meten object bepalen de reflectie-eigenschappen het reflecterende oppervlak. Deze parameters hebben een grote invloed op de intensiteit waarmee de laserpuls terug weerkaatst wordt in de richting van het totaalstation.

Prismareflector

De geometrie van de prismareflector en de verticaliteit van de valstok boven het te meten punt zijn bepalend voor de kwaliteit van de afstandsmeting. De spiegels in de reflector dienen onder een correcte hoek te staan en het (doos)niveau van de valstok correct gekalibreerd.

Omgevingsafhankelijke factoren

Omgevingsafhankelijke factoren zijn alle factoren die zich rond het toestel en het te meten object afspelen. In dit geval wordt uitgegaan van metingen in een atmosfeer. Zoals hierboven vermeld, wordt de snelheid van het licht mede bepaald door de temperatuur en luchtdruk.

Temperatuur

Elk totaalstation en elke afstandsmeter behaalt enkel correcte resultaten binnen een bepaald temperatuursinterval. Voor de meeste totaalstations ligt deze tussen de -20 °C en de + 60 °C. Uiteraard zijn er ook gespecialiseerde toestellen die buiten dit interval nog perfect functioneren, maar dergelijke toestellen worden binnen de conventionele landmeetkunde niet gebruikt. Wanneer er binnen dit interval gemeten wordt, betekent het echter niet dat er geen fouten kunnen optreden door de temperatuur. Het totaalstation kan via stralingswarmte van de zon of door interne opwarming toch vervormingen gaan vertonen en dit kan een invloed hebben op de afstandsmeting. Het continue opvolgen van het temperatuurverloop is daarom vereist.

Atmosfeer en luchtvochtigheid

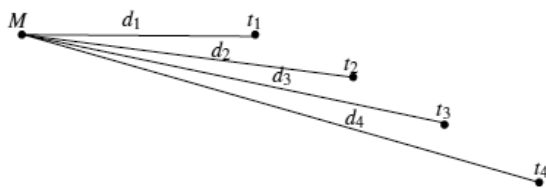
Ook de luchtdruk, luchtvochtigheid, etc. hebben een invloed op de elektromagnetische afstandsmeting. Deze beïnvloeden verschillende factoren zoals de brekingsindex, de golflengte en de voortplantingssnelheid van de laserpuls. Bij metingen waar de nauwkeurigheid niet zeer hoog moet zijn, wordt de invloed van de atmosfeer meestal verwaarloosd. Als het toch om een zeer nauwkeurige meting gaat, bestaat er software die aan de hand van gecompliceerde berekeningen een correctiefactor bepaalt. Een totaalstation dat voldoet aan de ISO norm wordt gekalibreerd op een temperatuur van 15 °C en een luchtdruk van 1013,25 hPa.

ANALYSE VAN DE PRECISIE VAN EEN ELEKTROMAGNETISCHE AFSTANDSMETER

De ISO-norm 17123-4 controleert de precisie van een elektronische afstandsmeter. Deze test bestaat uit drie fases, de vereenvoudigde testprocedure, de uitgebreide testprocedure en statistische uitwerking.

Vereenvoudigde testprocedure

De vereenvoudigde testprocedure is gebaseerd op een beperkt aantal metingen om op een snellere manier te kunnen vaststellen of de experimentele standaardafwijking s voldoet aan de door de fabrikant opgestelde standaardafwijking σ .



Figuur 3: Opstelling van de vereenvoudigde procedure

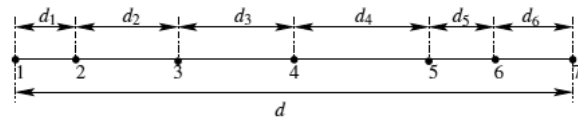
Het testveld bestaat uit een opstelplaats voor het meetinstrument en 4 opgestelde reflectoren die tussen de 20m en 200m voor de afstandsmeter opgesteld zijn. De grondpunten worden op een permanente manier vastgelegd aan de hand van meetnagels (Figuur 3).

Vanuit punt M wordt elk punt minstens 3 keer opgemeten. Voor elke prisma t_i wordt het gemiddelde van de elektromagnetische afstandsmeting bepaald volgens:

$$dt = \frac{\sum_{i=1}^{n=3} dt, i}{n}$$

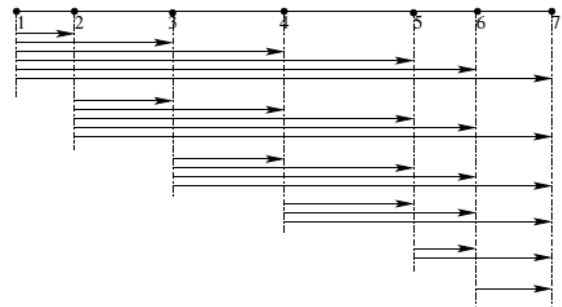
Uitgebreide testprocedure

Voor de uitgebreide testprocedure is er een testveld nodig van ca. 600m in een horizontaal vlak of een constante hellingshoek. Op deze lijn wordt één meettoestel en 6 prisma's opgesteld. De lijn is dus opgedeeld in 6 segmenten van verschillende afstanden (Figuur 4).



Figuur 4: Opstelling van de uitgebreide testprocedure

Alle mogelijke afstanden tussen de 7 verschillende punten worden dan opgemeten op dezelfde dag. Dit resulteert in een meetreeks van 21 afstanden (Figuur 5).



Figuur 5: Alle te meten afstanden voor de uitgebreide testprocedure

Gebruikte toestellen

De test is uitgevoerd met een Topcon ES-serie totaalstation. Dit toestel heeft volgens de specificaties van de fabrikant een standaardafwijking van 3mm + 2ppm. Daarnaast is de test ook uitgevoerd met een Pentax R-200 totaalstation. Dit toestel heeft volgens de fabrikant eveneens een standaardafwijking van 3mm + 2ppm.

Algemene informatie

De metingen zijn uitgevoerd op woensdag 15 april 2015 tussen 9h30 en 16h00. Het was een zeer zonnige dag met temperaturen tussen de 20°C en de 25°C. De ISO 17123-4 test is uitgevoerd aan de Watersportbaan te Gent. Meer specifiek op de parking langs de Zuiderlaan. Deze locatie is ideaal voor het uitvoeren van deze test want er is een vlak recht stuk van ongeveer 600 meter nodig.

Resultaten

Vergelijking tussen experimentele standaardafwijking en standaardafwijking die gegeven wordt door de fabrikant.

Om te onderzoeken of een totaalstation voldoet aan de specificaties van de fabrikant wordt een χ^2 -test uitgevoerd, waarbij de berekende standaardafwijking wordt gecorrigeerd in functie van een aantal vrijheidsgraden en een bepaald significantieniveau. Na het uitvoeren van de berekeningen bekomen we een experimentele standaardafwijking van 5,0mm voor de Topcon ES serie. Dit wil dus zeggen dat de experimentele standaardafwijking groter is dan de theoretische standaardafwijking van de fabrikant.

Bij de Pentax R-200 bekomen we een experimentele standaardafwijking van 4,1mm. Deze is dus ook groter dan de theoretische standaardafwijking van de fabrikant.

Vergelijking van de experimentele standaardafwijking tussen Topcon en Pentax

Door het uitvoeren van een vergelijking van beide experimentele standaardafwijkingen kunnen we stellen dat de twee totaalstations wel aan elkaar gelijk kunnen gesteld worden, ook al heeft de Topcon een experimentele standaardafwijking van 5,0 mm en de Pentax een experimentele standaardafwijking van 4,1 mm. Beide toestellen kunnen met dezelfde precisie een afstand meten.

Mogelijke verklaringen voor het niet behalen van de theoretische afstandsafwijking

Gebruikte materiaal

Volgens ISO 17123-4 moeten bij het uitvoeren van de test alle bijhorende accessoires gebruikt worden zoals statieven, prisma's, etc. die aanbevolen zijn door de fabrikant. Deze aanbeveling kon om praktische redenen niet gerespecteerd worden.

Weersomstandigheden

Op woensdag 15 april 2015, de dag van de uitvoering van de test, was het zeer zonnig. Dit zijn niet de ideale weersomstandigheden voor het uitvoeren van de ISO 17123-4 test, aangezien direct zonlicht het totaalstation kan opwarmen. Als deze test binnen in een labo zou zijn uitgevoerd is de kans veel groter dat de experimentele standaardafwijking veel dichterbij de theoretische standaardafwijking komt omdat de afstandsmeting in een labo veel minder onderhevig is aan externe factoren.

Beperkt aantal metingen

De fabrikant bepaalt de theoretische standaardafwijking aan de hand van een zeer groot aantal metingen. In de praktijk is dit echter onmogelijk en zijn er maar een zeer beperkt aantal metingen uitgevoerd waardoor de experimentele standaardafwijking veel minder nauwkeurig is dan de theoretische standaardafwijking. Uiteraard wordt dit verschil opgevangen door de statistische analyse.

BESLUIT

De ISO 17123-4 test maakt het mogelijk om op een statistische wijze de herhaalbaarheid en nauwkeurigheid van elektromagnetische afstandsmetingen te beoordelen. In dit onderzoek wordt de test en testresultaten besproken aan de hand van enkele nieuwe toestellen. Uit deze test blijkt dat de opgegeven standaardafwijking door de fabrikant niet altijd overeenkomt met de experimentele standaardafwijking van het toestel. Uiteraard is het wel mogelijk om metingen uit te voeren die de vooropgestelde standaardafwijking van de fabrikant behalen maar dan moeten de omstandigheden en het materiaal volledig voldoen aan de vooropgestelde ISO-normen. De uitgevoerde praktische test voldeed niet volledig aan deze normen wat dus een mogelijke oorzaak is dat de theoretische standaardafwijking niet behaald is.

Op deze manier kan elke meting op een zo juist mogelijke manier beoordeeld worden.

ROL VAN DE STUDENT

Jonas Lens is een student professionele bachelor vastgoed landmeten die tijdens het schrijven van zijn bachelorproef onder het toezicht stond van Dr. Cornelis Stal. Het onderwerp is gekozen door de student. Het idee om een ISO-test uit te voeren is van Dr. Stal. De teksten, de conclusies, de literatuurstudie en de praktische uitwerking van de ISO-test zijn uitgevoerd door de student. De berekeningen van de test zijn gebeurd in samenwerking met Dr. Stal.

DANKWOORD

De auteurs wensen hun dank uit te spreken tot de reviewers voor hun aanbevelingen en opmerkingen, met dhr. Koen Van Damme (Hogeschool Gent) in het bijzonder.

BRONNEN

1. Muls A. & Dewulf A. (2007), Methodologie voor de nauwkeurigheidscertificatie van totaalstations met ondersteuning voor satellietplaatsbepaling, Universiteit Gent, Gent
2. Loux L. & Van der Elst N., (2014), Tijd gebaseerde terrestrische 3D laserscanners: onderzoek naar de positionnauwkeurigheid van black-and-white targets en naar de invloed van de reflectiviteit, afstand en invalshoek op de geregistreerde afstand (Masterproef), Universiteit Gent, Gent
3. Laurila, S.H., 1983, Electronic Surveying in Practice, John Wiley & Sons, New York, VSA
4. Saastamoinen, J.J. (e.d.), 1968, Surveyor's Guide to Electromagnetic Distance Measurement, Adam Hilger, London, VK
5. Höglund, R., Large, P., 2002, Direct Reflex EDM technology for the Surveyor and Civil Engineer, Trimble Integrated Surveying Group, Westminster (Colorado) VSA
6. Paiva, J.V.R., s.d., Operational aspects of Reflectorless EDM Total Stations, Trimble Integrated Surveying Group, Westminster (Colorado) VSA, pag. 2
7. Miller S., (2001), Optics and optical instruments - Field procedures for testing geodetic and surveying instruments - part 4: electro-optical distance meters (EDM instruments), Geneve, CH
8. Boehler, W., & Marbs, A. (2002, September). 3D scanning instruments. In Proceedings of the CIPA WG 6 International Workshop on Scanning for Cultural Heritage Recording, Ziti, Thessaloniki (pp. 9-18).
9. Nguyen, T. T., Liu, X. G., & Wang, H. P. (2011). Analysis of error sources in terrestrial laser scanning. In Proc. Joint ISPRS Workshop on 3D City Modelling & Applications and 6th 3D GeoInfo Conference (Wuhan, June 2011).
10. Topcon ES total station (2015), www.topconpositioning.com
11. Pentax R-200 total station (2015), www.pentaxsurveying.com