



Overgangswaterpassingen op een nieuw niveau

N. de Hilster, Starmountain Survey & Consultancy BV

Het met hoge kwaliteit overbrengen van hoogtes over brede watergangen bij geodetische netwerken is een van de grootste uitdagingen in het waterpassen. Deze zogenaamde overgangswaterpassingen worden, dankzij speciale procedures met total stations of waterpasinstrumenten, weliswaar succesvol uitgevoerd, maar zelden met een eerste-orde kwaliteit bij afstanden van een kilometer of meer. Een nieuwe methode, bestaande uit een combinatie van conventionele waterpasinstrumenten, digitale camera's en beeldverwerkingssoftware, maakt het nu mogelijk ook bij deze afstanden eerste-orde nauwkeurigheden te behalen.

De aanzet voor de nieuwe methode werd afgelopen juni gegeven door Henk ten Damme, voormalig medewerker van de afdeling NAP van de Meetkundige Dienst (nu DID) van Rijkswaterstaat, en Ad van Vliet, adviseur bij dezelfde dienst. Zij kwamen met de vraag of het mogelijk was overgangswaterpassingen te innoveren. Ten Damme's idee was om een waterpasinstrument van een digitale camera te voorzien en de beelden door software te laten analyseren. Het doel was data van een tweetal instrumenten tegelijkertijd te verzamelen met een hogere objectiviteit dan mogelijk is door menselijke waarneming. Daarnaast was de wens het proces dusdanig te automatiseren dat de resultaten bekend zijn voordat de meetploeg de meetlocatie zou verlaten.

Instrumentkeuze

Ten einde een hoge nauwkeurigheid te kunnen realiseren was het duidelijk dat alleen de beste instrumenten hiervoor in aanmerking kwamen. Daarbij is overwogen om gebruik te maken van moderne digitale waterpasinstrumenten, maar proeven uit het verleden hebben aangetoond dat, zelfs bij gebruik van uitvergroete barcodebaken, eerste-orde nauwkeurigheid bij deze instrumenten beperkt was tot circa een halve kilometer [Takalo en Rouhiainen, 2006]. Om deze reden is besloten terug te grijpen op conventionele niet-elektronische instru-

menten met een hoge inspeelnauwkeurigheid van de vizierlijn. Gedacht werd aan het gecompenseerde Zeiss Nioo2 waterpasinstrument (inspeelnauwkeurigheid 0.05"), de ongecompenseerde Wild T4 theodoliet (0.10") en het ongecompenseerde Wild N3 waterpasinstrument (0.20", zie figuur 1).



Fig. 1. Een van de gebruikte Wild N3's uit 1960.

Hieruit werd uiteindelijk de Wild N3 gekozen, aangezien de beschikbaarheid van Wild T4 theodolieten en Zeiss Nioo2 waterpasinstrumenten beperkt was, terwijl met een gewicht van 60 kilogram de T4 niet erg praktisch is. Uit tests met gecompenseerde waterpasinstrumenten is verder gebleken dat deze vrij gevoelig zijn voor temperatuurveranderingen [Damme en Lentjes, 1986].

Camerakeuze

De camera die Ten Damme voorstelde is een USB camera die speciaal gebouwd is

voor gebruik bij microscopen en daarbij op het oculair geklemd wordt. Het bestaat uit een 1.3 megapixel CMOS chip en een lens met een vergrotingsfactor van 7.2x. Dit, in combinatie met de vergrotingsfactor van 42x van de Wild N3, resulteert in een totale vergrotingsfactor van circa 300x. Aangezien de standaard adapter niet geschikt was voor waterpasinstrumenten, is in eigen werkplaats voor de N3 een adapter vervaardigd voor het koppelen en uitlijnen van de USB camera (zie figuur 2).



Fig. 2. Wild N3 voorzien van camera.

Waarnemingsprincipe

Voor de meting werden tevens nieuwe richtmerken ontworpen, die bestaan uit twee evenwijdige balken, waartussen de kruisdraad gemikt dient te worden (zie figuur 3). Dit idee op zich was niet nieuw en is voor het eerst beschreven in 1594 door de Engelse wiskundige Thomas Harriot [Hilster, 2010].



Fig. 3. Richtmerken voor respectievelijk 300, 600, 900 en 1200 meter.

De methode is sindsdien succesvol toegepast op navigatie-instrumenten, micrometers en kruisdraden voor theodolieten en richtmerken in gebruik bij optical tooling [Hilster, 2010; Deumlich en Staiger, 2002; McGrae, 1966]. Door middel van beeldverwerking, in een speciaal hiervoor ontwikkelde applicatie, wordt vervolgens de relatieve positie van de kruisdraad ten opzichte van het richtmerk bepaald.

De camera levert afbeeldingen op die bestaan uit een regelmatig grid van beeldpunten of pixels. Het detecteren van de kruisdraad en richtmerk gebeurt door het combineren van intensiteiten van naast elkaar liggende pixels. De horizontale lijnen van de kruisdraad en richtmerk steken daarbij tegen de achtergrond af door een constante intensiteit (zie figuur 4), waarbij de piek bepaald wordt door middel van een tweede-orde polynoom kleinste kwadraten algoritme.



Fig. 4. Kruisdraad- (in rode rechthoeken) en richtmerkdetectie (gele rechthoeken). De Wild N3 heeft een omgekeerd beeld.

Tests hebben aangetoond dat op deze manier, afhankelijk van de waarnemings- of integratietijd (zie verderop), een betrouwbare detectie met een verhou-

ding van 1:2.000 – 1:20.000 tot de hart-op-hart afstand van het richtmerk haalbaar is. Deze hart-op-hart afstand is afhankelijk van de vergrotingsfactor van de camera-instrument combinatie en is voor de Wild N3 circa 350mm bij een afstand tussen instrument en richtmerk van één kilometer. Het detectieniveau in verticale richting komt dan op 0.18mm of beter.

Software

De applicatie is ontwikkeld in Java en verzamelt en verwerkt de ruwe beelden van de camera continu (zie figuur 4). De combinatie van ondulatie en lineaire beeldopbouw van de camera zorgt echter voor vervormingen, waardoor het niet mogelijk zou zijn ieder beeld apart betrouwbaar te analyseren. Dit is opgelost

door de ruwe beelden van de camera door middel van een voortschrijdend gemiddelde algoritme (RMA-algorithm) bij

elkaar op te tellen (image stacking). Deze methode is analoog aan de werkwijze van digitale waterpasinstrumenten zoals de Leica NA3003, waarbij dit over tijd middelen bekend staat als integreren. De integratietijd bij de NA3003 is tot 10 seconden instelbaar. Hoe hoger de integratietijd, hoe lager de standaardafwijkingen, maar hoe langer het duurt om een waarneming te doen. De nu ontwikkelde applicatie maakt gebruik van een soortgelijke algoritme, waarbij de integratietijd naar wens ingesteld kan worden tot maximaal 120 seconden. De beelden worden daarbij met een frequentie van 5Hz opgenomen, zodat dit gelijk staat aan 600 beelden. Aangezien het een voortschrijdend algoritme betreft, is het mogelijk met dezelfde frequentie als de opname de berekeningen te doen en de resultaten ervan te tonen. Een client-server verbinding via mobiel internet garandeert synchrone opname, ongeacht de afstand tussen de instrumenten. Een web-based applicatie verwerkt de ingewonnen gegevens, zodat de resultaten binnen enkele minuten na afloop van de meting bekend zijn en eventueel met de klant of andere waarnemers gedeeld kunnen worden.

INVAR baak

Voor het bepalen van de vizierlijnhoogtes wordt gebruik gemaakt van INVAR bakken. Doordat het beeldveld omgekeerd evenredig is met de vergrotingsfactor is deze gereduceerd tot circa 5cm op 10 meter afstand. Hedendaagse digitale instrumenten hebben ten minste 30 centimeter van een barcode-baak nodig om een vizierlijnhoogte te kunnen bepalen. Voor de huidige ontwikkeling zou dit betekenen dat de afstand tussen instrument en baak ten minste 50 meter zou moeten zijn. Ondulatie zou dan een te grote rol kunnen gaan spelen en dus is er voor gekozen een nieuw type barcode-baak te ontwikkelen op basis van een analoge INVAR baak. Deze baak werd voorzien van individuele barcodes bij elke deelstreep, die de waarden van die deelstrepen in hele centimeters vertegenwoordigen (zie figuur 5). Bovendien werden, ter verificatie van de barcodes, numerieke waarden in een klein font aan de baak toegevoegd. De software ziet de centimeterverdelingen als richtmerken met een hart-op-hart afstand van één centimeter en detecteert ze met een nauwkeurigheid van circa 0.005 millimeter op afstanden van 6 tot 20 meter.



Fig. 5. De voor deze toepassing ontwikkelde INVAR barcode baak.

Veldtest

Op 16 september 2011 is in het bijzijn van bovengenoemde personen en Jan van der Sluijs (senior landmeter van de NAM, aldaar o.a. verantwoordelijk voor de overgangswaterpassingen) een veldtest uitgevoerd in IJmuiden (zie figuur 6). De opzet bestond uit een waterpassing vanuit het midden, bestaande uit twee zijden van ieder 900 meter die tezamen een overgang van 1,8 kilometer vormden. In plaats van de zijden in elkaars verlengde te nemen, is besloten ze evenwijdig en over hetzelfde traject te kiezen. Hierdoor stonden de



Fig. 6. De twee instrumenten, barcode baken en computers met draadloos netwerk tijdens de veldtest.

richtmerken op slechts 10 meter van elkaar en was het mogelijk het hoogteverschil ook direct door middel van conventionele waterpassing vast te stellen. Vervolgens zijn gedurende twee uur in een tweetal runs - ieder bestaande uit vier sets waarnemingen van ieder circa 7 minuten - een totaal van ongeveer 12.000 waarnemingen gemaakt. Het automatisch verwerken van de data door de on-line applicatie duurde, inclusief het versturen en laden van de data, circa 10 minuten, waarbij een derde deel van de waarnemingen werd verworpen. De sluitfout tussen de twee runs was 0.69 millimeter, terwijl het verschil met het uit de directe waterpassing verkregen hoogteverschil slechts 0.15 millimeter was. De resultaten werden bereikt onder marginale weersomstandigheden; er stond een stevige, vrijwel frontaal op de instrumenten gerichte, wind van circa 5Bft. Het was gedeeltelijk bewolkt, waardoor zonnige perioden op het traject werden afgewisseld door schaduw en gedurende een van de runs regende het zelfs kortstondig, terwijl bij een andere run de zichtlijn kortstondig door een vaartuig geblokkeerd werd. Desondanks werd bovenstaand eerste-orde resultaat behaald. ♥

Samenvatting Overgangswaterpassingen op een nieuw niveau

Door conventionele waterpasinstrumenten te combineren met camera's en beeldver-

werkingssoftware zijn de objectiviteit en kwaliteit van overgangswaterpassingen over afstanden van meer dan een kilometer aanzienlijk verbeterd. Waarnemingen worden nu automatisch synchroon en volledig objectief gedaan, terwijl de nauwkeurigheid aanzienlijk is verbeterd. Met de nieuwe methode is het voortaan mogelijk ook bij overgangen van meer dan een kilometer eerste-orde resultaten te behalen. Daarbij is de methode dusdanig geautomatiseerd dat het resultaat van de meting binnen enkele minuten na afloop ervan bekend is.

Summary Levelling gains new heights

Combining conventional levelling instruments with cameras and digital image processing, the objectivity and quality of levelling across distances over one kilometre have been significantly improved. Measurements are performed automatically in a synchronous manner and fully objectively, whilst the accuracy has been improved as well. The new approach facilitates obtaining first order results even across distances over one kilometer. The approach has been automated to such an extent that the results of the measurements are available within minutes.

Literatuur

J.H. ten Damme, J.P.H. Lentjes, 'Invloed van temperatuur op precisie-waterpasinstrumenten met compensator', in: Rijkswater-

staat Meetkundige Dienst MDTN-R-8613, (Delft, 1986).

F. Deumlich, R. Staiger, *Instrumentenkunde der Vermessungstechnik*, (Heidelberg, 2002)

N. de Hilster, 'The Demi-cross: a reconstruction', in: *Bulletin of the Scientific Instrument Society* No. 105, (2010), pp.30-41.

J.D. McGrae, *Optical Tooling in Industry*, (London, 1966)

M. Takalo, P. Rouhiainen, 'On Digital Levelling Technique Applied in Water Crossing', in: *XXIII FIG Congress 'Shaping the Change'*, Munich, Germany, October 8-13, 2006, (Munich, 2006), zie http://fig.net/pub/fig2006/papers/ts53/ts53_03_takalo_rouhiainen_0507.pdf, laatst benaderd 30/10/2011.

¹ Een engelstalige versie van dit artikel zal verschijnen in *Hydro International* en *GIM International*.

Starmountain Survey & Consultancy BV, een bedrijf dat zich bezig houdt met specialistische metingen op hydrografisch en geodetisch gebied, is in 2000 door Nicolàs de Hilster opgericht. Daarvoor was hij werkzaam als hydrograaf bij Osiris en als projectleider bij afdeling GAM van de Meetkundige Dienst van Rijkswaterstaat.