

Toepassingsmogelijkheden van vliegtuig-laseraltimetrie

H.-G. Maas, G. Vosselman

Faculteit Civiele Techniek en Geowetenschappen, Afdeling Geodesie

Technische Universiteit Delft

Thijsseweg 11, 2629 JA Delft

Tel 015-278 2556, Fax 015-278 2745, e-mail h.-g.maas@geo.tudelft.nl

Samenvatting

Naast het oorspronkelijke gebruik van vliegtuig-laseraltimetrie voor de bepaling van digitale hoogtemodellen zijn in de laatste jaren een aantal nieuwe toepassingen verkend. Voor een deel wordt laseraltimetrie hierbij gebruikt om de conventionele fotogrammetrie in deze toepassingen te vervangen of aan te vullen, maar daarnaast opent laseraltimetrie ook geheel nieuwe mogelijkheden voor de inwinning van drie-dimensionale geo-informatie. Voorbeelden hiervan zijn de automatische inwinning en modellering van stadsmodellen, metingen in bosgebieden en monitoring van hoogspanningsleidingen. Dit artikel geeft een kort overzicht over de principes, mogelijkheden en beperkingen van vliegtuig-laseraltimetrie en gaat in op een aantal typische en vernieuwende toepassingen. Tenslotte wordt een overzicht gegeven over de toekomstige ontwikkeling van sensorsystemen en verwerkingstechnieken.

1. Inleiding

Vliegtuig-laseraltimetrie is een relatief nieuwe techniek voor de inwinning van drie-dimensionale terreingegevens, die in korte tijd de belangstelling van veel geodeten getrokken heeft. Gebaseerd op laserafstandsmetingen vanuit een vliegtuig, positiebepaling met GPS en oriëntatiebepaling met een INS systeem, levert vliegtuig-laserscanning nauwkeurige en betrouwbare 3-D puntenwolken op. Zelfs in gebieden met weinig textuur of dichte vegetatie kan met laseraltimetrie de hoogte bepaald worden. Dit is met de conventionele fotogrammetrie en digitale fotogrammetrische technieken vaak niet mogelijk.

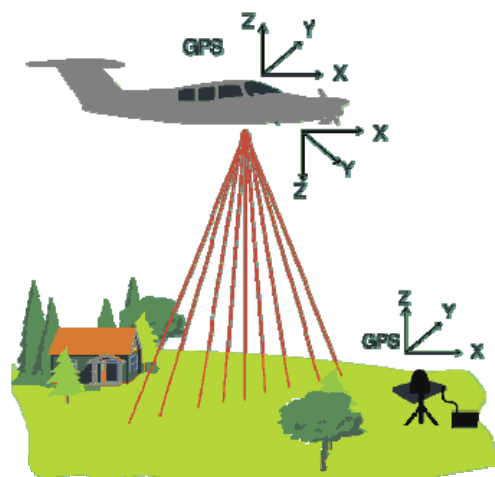


Fig. 1: Principe vliegtuig-laserscanning

Laserscanningssystemen leveren tegenwoordig 2'000 tot 80'000 punten per seconde. Ze meten de looptijd van het eerste of laatste gedeelte van het terug gekaatste

echo van een laserpuls. Bij vegetatie corresponderen in het ideale geval het eerste en laatste gedeelte met respectievelijk de bovenkant van de vegetatie en de grond. Enige systemen zijn in staat, beide echo's simultaan of zelfs tot vijf echo's van een uitgezonden puls te ontvangen. Sommige systemen leveren naast de puntafstand ook nog de sterkte van de reflectie, anderen hebben een geïntegreerde videocamera. De hoogteprecisie van door laserscanning bepaalde punten is ongeveer twee decimeter, inclusief de door het positiebepalingssysteem veroorzaakte systematische fouten; de lokale, relatieve precisie kan beter dan één decimeter zijn. Afhankelijk van de puls frequentie, de openingshoek en de snelheid van de platform (vliegtuig/helikopter) wordt een ruimtelijke resolutie van 0.1 tot 5 punten per vierkante meter bereikt. Een resolutie van één punt per tien vierkante meter vormt een goede basis voor het genereren van digitale hoogtemodellen. Hogere resoluties van meerdere punten per vierkante meter openen een reeks van nieuwe toepassingen.

Voor het genereren van nauwkeurige digitale hoogtemodellen kan vliegtuig-laseraltimetrie inmiddels als een standaard methode worden beschouwd. Het gedeeltelijk doordringen door vegetatie en de registratie van het eerste en/of laatste echo van een uitgezonden puls maakt laserscanning een interessante techniek voor vegetatieonderzoek, bijvoorbeeld in bosgebieden. Laserscanning lijkt ook een goede methode te zijn voor het genereren van 3-D stadsmodellen, omdat het, anders dan matching methoden uit de digitale fotogrammetrie, betrouwbare en dichte 3-D puntenwolken levert, zelfs over stedelijk gebied met grote discontinuïteiten. Het feit dat zelfs hoogspanningskabels laserpulsen terugkaatsen heeft een verder toepassingsgebied geopend.

2. Digitale hoogtemodellen

Het genereren van hoogtemodellen van strandgebieden - een opgave, waar matching-technieken basierend op gescande stereobeelden vaak falen - hoorde bij de eerste toepassingen van vliegtuig-laseraltimetrie. Ondertussen is vliegtuig-laseraltimetrie ook voor grotere gebieden erkend als techniek voor het genereren van digitale hoogtemodellen. De bekendste toepassing in Nederland is uiteraard de meting van het Actueel Hoogtebestand Nederland (AHN) [5],[13]. Ook meerdere Duitse deelstaten zijn van plan, hun digitaal terreinmodellen compleet door laserscanning te genereren. Verder bestaan er plannen, terreinmodellen van alle overstromingsgebieden in de Verenigde Staten door laserscanning te genereren.

De belangrijkste onderzoeksthema's op dit gebied zijn tegenwoordig de geometrische kwaliteit van uit laserscanner gegevens afgeleide hoogtemodellen en het automatisch filteren van hoogtemodellen. De kwaliteit van hoogtemodellen wordt niet alleen bepaald door de nauwkeurigheid van de laserafstandsmeting (ca. 5-10 cm), maar vooral ook door systematische fouten in de positie- en oriëntatiegegevens van het vliegtuig, die verschuivingen, rotaties of torsies tussen aangrenzende stroken veroorzaken [7]. Filteren van objecten boven de aardoppervlak (zoals begroeiing, gebouwen, voertuigen, enz.) is belangrijk voor het afleiden van een digitaal hoogtemodel van het terrein op maaiveldhoogte uit de oorspronkelijke metingen. Behalve handmatig filteren wordt hier vaak gebruik gemaakt van bestaande 2-D GIS informatie (b.v. Top10Vector of GBKN

gegevens). Volledig automatische filterroutines, die alleen met de hoogtegegevens werken, zijn ontwikkeld voor het genereren van digitale terreinmodellen in bosgebieden [8]. Deze zijn echter nog niet algemeen toepasbaar.

3. Modelleren van gebouwen

Door moderne vliegtuig-laserscannersystemen worden resoluties van duidelijk meer dan één punt per vierkante meter bereikt. Dergelijke resoluties kunnen in principe met de meeste systemen worden bereikt, wanneer een helikopter als platform wordt gebruikt. In hoge resolutie laserscannergegevens zijn bijvoorbeeld gebouwen zeer goed zichtbaar. Fig. 2 toont een hoogtebeeld van een groep van gebouwen in Wijhe (Overijssel), afgeleid uit een dataset met meer dan vijf punten per vierkante meter, die opgenomen werd met het helikopter-gebaseerde FLI-MAP systeem [11].

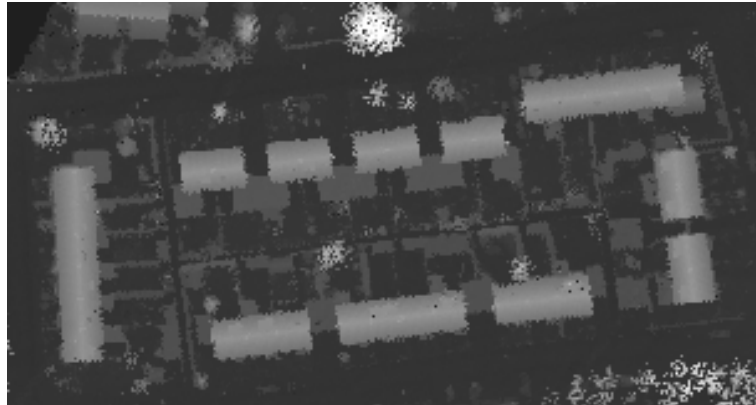


Fig. 2: Hoogtebeeld uit hoge resolutie laserscanner gegevens

Vanwege de hoge mate van structuur en de hoge betrouwbaarheid van 3-D laserscanning puntewolken is het segmenteren van de gegevens en het automatisch extraheren van gebouwen makkelijker dan met stereoscopische fotografische beelden. In [4], [6], [9] en [12] worden methoden voor het automatisch detecteren en modelleren van gebouwen uit laserscanninggegevens getoond. Terwijl [4] en [6] op geïnterpoleerde rastergegevens gebaseerd zijn, werken [9] en [12] op de oorspronkelijke 3-D puntenwolken. Gebouwen kunnen uit de in Fig. 2 getoonde gegevens met een nauwkeurigheid van 1-2 decimeters worden geëxtraheerd (Fig. 3). In eenvoudig gestructureerde gebieden zoals woonwijken werken deze technieken al redelijk. In de vaak complexere binnenstadsgebieden is het momenteel nog niet mogelijk automatisch 3D-modellen te genereren.

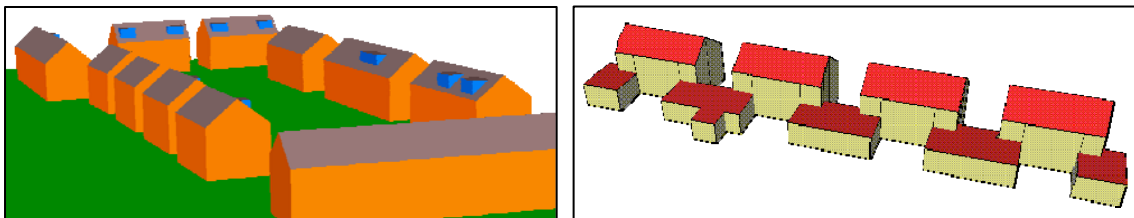


Fig. 3: Uit de in Fig. 2 getoonde gegevens afgeleide gebouwmodellen [9], [12]

4. Toepassingen over bosgebieden

De mogelijkheid om reflecties van de toppen van vegetatie te ontvangen en gelijktijdig ook punten op de grond te meten, maakt laserscanning ook geschikt voor toepassingen in bosgebieden. Regelmatig herhaalde metingen kunnen worden gebruikt om de groei van bosgebieden te bepalen [10]. Gecombineerd met rekenmodellen uit de bosbouw kunnen daardoor zelfs volumeveranderingen worden bepaald. In gebieden met zeer dichte vegetatie, waar bijna geen pulsen de grond bereiken, is dit echter maar beperkt mogelijk.

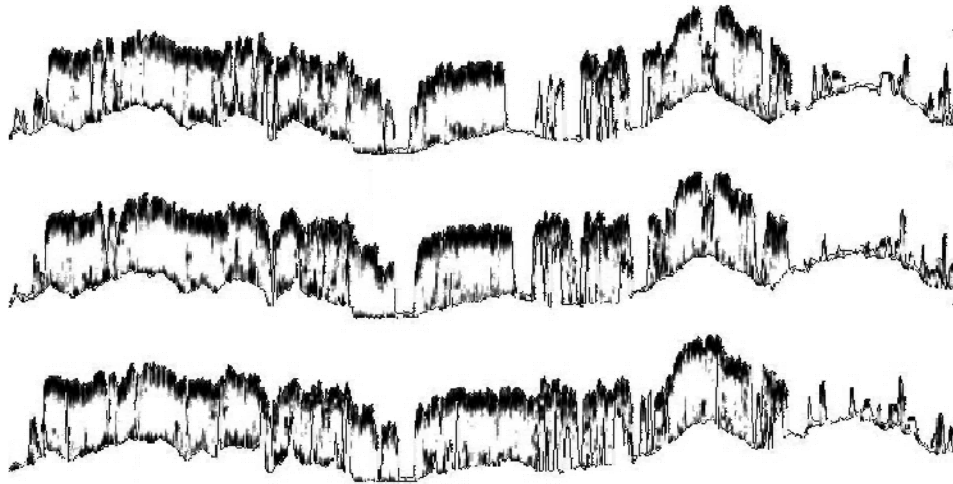


Fig. 4: Profielen door bosgebied [2]

Nieuwe systemen gaan nog veel verder dan de registratie van alleen het eerste en/of laatste echo van een puls. Hiermee wordt het mogelijk de gehele vorm van de teruggekaatste puls te registreren. Dit levert een soort tomografisch beeld van een bos op. NASA's laser profiler (SLICER) [2] digitaliseert het teruggekaatste echo van een op 10-15 meter verbrede puls in intervallen van 11 cm en kan op die manier een profiel van het echo maken (Fig. 5). Hieruit kan bijvoorbeeld een verticaal dichtheidsprofiel van de vegetatie worden afgeleid. NASA's LVIS (laser vegetation imaging sensor, [3]) combineert een 500MHz golfvorm-analyse met een met 500 Hz scannende spiegel en is in staat, hoogte en vegetatie-structuur in stroken van 1km breedte te bepalen.

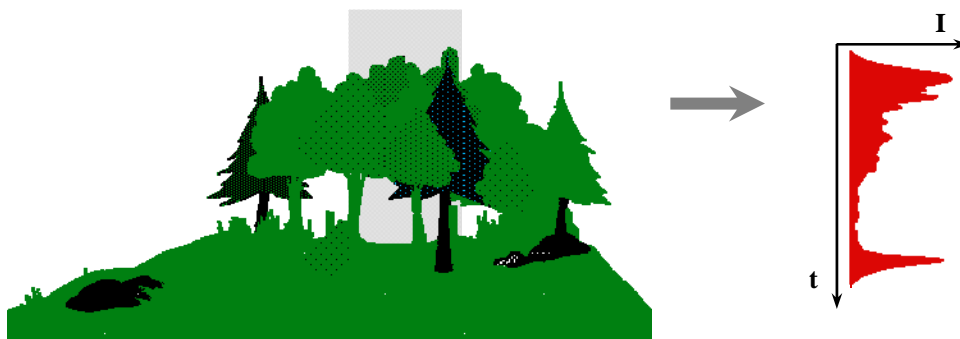


Fig. 5: SLICER puls, profiel over echo [2]

5. Monitoren van hoogspanningsleidingen

Een nieuwe toepassing is het monitoren van elektrische leidingen [1]. Bij een lage vlieghoogte en voldoende signaalsterkte kaatst de doorsnede van een elektrische leiding genoeg echo terug naar het laserscanning systeem om een afstandsmeting te kunnen verrichten. Dit geldt in ieder geval voor hoogspanningskabels; sommige systemen hebben zelfs voldoende signaalsterkte en gevoelige pulsdetector om ook naar gewone, dunnere leidingen te kunnen meten. Op deze manier worden toevallig verdeelde 3-D punten op de kabels bepaald. Tegelijkertijd worden punten op de grond en op vegetatie in de buurt van de leidingen gemeten. Systemen, die meerdere echo's simultaan kunnen meten, zijn hiervoor bijzonder geschikt, maar vanwege de statistische verdeling van de punten geen noodzaak. Met algoritmen voor het volgen van drie-dimensionale lijnen, kunnen leidingen worden geëxtraheerd en gemodelleerd. Hiermee is het – gebruikmakend van kennis over de temperatuur van de leidingen - mogelijk om kritische afstanden van leidingen naar de grond of naar de vegetatie te bepalen of te voorspellen.

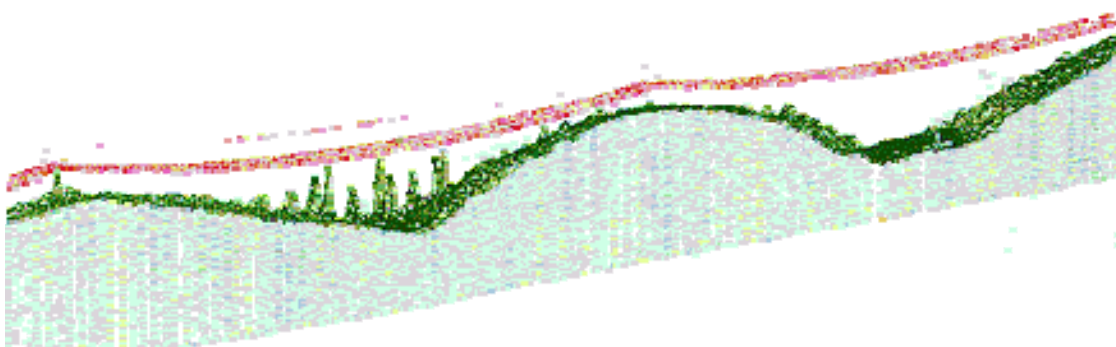


Fig. 6: Hoogspanningsleidingen over bebost gebied

Deze toepassing is een typisch voorbeeld voor een geheel nieuw toepassingsgebied van hoogtemetingen, dat door laserscanning wordt geopend. Het is bovendien een opgave waar een behoefte aan regelmatige herhalingsmetingen bestaat.

6. Verwachtingen voor de toekomst

Vliegtuig-laseraltimetrie is een relatief nieuwe methode voor de geodesie, die pas enkele jaren operationeel is. In deze tijd heeft het al een vaste plaats gevonden in de markt van digitale hoogtemodellen. Daarnaast werd door universiteiten, overheidsinstanties en bedrijven een reeks van nieuwe toepassingsmogelijkheden getoond. Ten dele zijn dit toepassingen, waar laserscanning conventionele fotogrammetrie vervangt, ten dele heeft deze nieuwe techniek ook nieuwe gebieden geopend.

Toch staat vliegtuig-laseraltimetrie pas aan het begin van zijn ontwikkeling. De huidige lijst van toepassingen zal zeker nog groeien. Ook de sensor-technologie verandert sterk: Naast een gestage groei van de puls frequentie zullen in toekomst meerdere systemen simultane registratie van het eerste en het laatste gedeelte van het echo of zelfs een

volledige echoanalyse leveren, en de meeste systemen zullen ook een registratie van een intensiteitsbeeld bieden. Verder zullen er systemen met een geïntegreerde multispectrale digitale camera komen, die in staat zullen zijn automatisch orthofoto's van hoge geometrische en radiometrische kwaliteit te genereren.

Vanwege de gestructureerdheid en betrouwbaarheid van door vliegtuig-laseraltimetrie gegenereerde 3-D puntenwolken zijn de mogelijkheden om de verwerking te automatiseren in het algemeen beter dan bij conventionele fotogrammetrische stereobeelden. Automatische verwerkingstechnieken voor een groeiende aantal opgaven zullen dus een extra impuls geven voor de vooruitgang van de techniek.

Dankwoord

De auteurs bedanken de Meetkundige Dienst van Rijkswaterstaat voor het ter beschikking stellen van verschillende datasets.

Literatuur:

- [1] Axelsson, P., Sterner, H., 1999: Mapping Electrical Power Lines with Laser Scanning. *Geodetic Info Magazine* 3/99, pp. 70-72
- [2] Blair, B., Harding, D., 1997: Scanning Lidar Imager of Canopies by Echo Recovery (SLICER). <http://ltpwww.gsfc.nasa.gov/eib/slicer.html>
- [3] Blair, B., Rabine, D., Hofton, M., 1999: The Laser Vegetation Imaging Sensor: a medium-altitude, digitisation-only, airborne laser altimeter for mapping vegetation and topography. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, Vol. 54, pp. 115-122
- [4] Brunn, A., Weidner, U., 1997: Extracting buildings from digital surface models. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, Vol. 32, Part 3-4W2
- [5] Feron, R., 1999: Is vliegtuig-laseraltimetrie wel zo eenvoudig als het lijkt? Ervaringen met de opbouw van het Actueel Hoogtebestand Nederland. *Geodesia-congres 1999*
- [6] Haala, N., Brenner, K., 1997: Generation of 3D city models from airborne laser scanning data. *Proceedings EARSEL Workshop on LIDAR remote sensing on land and sea, Tallinn/Estonia*
- [7] Huising, J., Gomes Pereira, L., 1998: Errors and accuracy estimates of laser data acquired by various laser scanning systems for topographic applications. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, Vol. 53, No. 5, pp. 245-261
- [8] Kraus, K., Pfeifer, N., 1998: Determination of terrain models in wooded areas with airborne laser scanner data. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, Vol. 53, No. 4, pp. 193-203

- [9] Maas, H.-G., 1999: Closed solutions for the determination of parametric building models from invariant moments of airborne laserscanner data. ISPRS Conference on Automatic Extraction of GIS Objects from Digital Imagery, München, September 8-10
- [10] Næsset, E., 1997: Determination of tree height of forest stands using airborne laser scanner data. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing Vol. 52, pp. 49-56
- [11] Pottle, D., 1998: Helicopter-based observations replace traditional surveying. Geodetic Info Magazine 2/98, pp. 62-65
- [12] Vosselman, G., 1999: Building reconstruction using planar faces in very high density height data. ISPRS Conference on Automatic Extraction of GIS Objects from Digital Imagery, München, September 8-10
- [13] Wouters, W., Bollweg, A., 1998: A detailed elevation model using airborne laser altimetry. Geodetic Info Magazine 9/98

Summary:

Beyond its original field of application in the generation of digital terrain models, airborne laserscanning has found many new application fields in the past few years. Those are partly applications, where laserscanning replaces or complements conventional stereo-image based photogrammetry; in several cases, however, airborne laserscanning has opened completely new applications to photogrammetry. Examples are the automatic reconstruction of buildings for 3-D city models, measurements in forestry applications and monitoring of electrical powerlines. The presentation gives a short overview over principles, potential and limitations of laserscanning, shows some typical applications and gives a perspective on the future development of the technique.