

Documentatie Zadeldakcontrole

30-06-2022

Versie 0.1

Concept

Zadeldakmethode

Dit document is gebaseerd op de presentatie van prof.dr.ir George Vosselman van het ITC voor betrokken partijen bij het produceren en controleren van het AHN2. Voor AHN5 is deze bijlage aangepast op de geldende bestekseisen.

1 Aanleiding

Eén van de eindtermen voor het AHN4 luidt:

Het bestand bezit een punt dichtheid van minimaal 10 pt/m² in 99% van de 1x1 meter gridcellen, een stochastische afwijking van minder dan 5cm en een systematische afwijking van minder dan 8 cm in planimetrie.

Deze planimetrische eis aan de data kan het beste gecontroleerd worden door gebruik te maken van de zadeldakmethode.

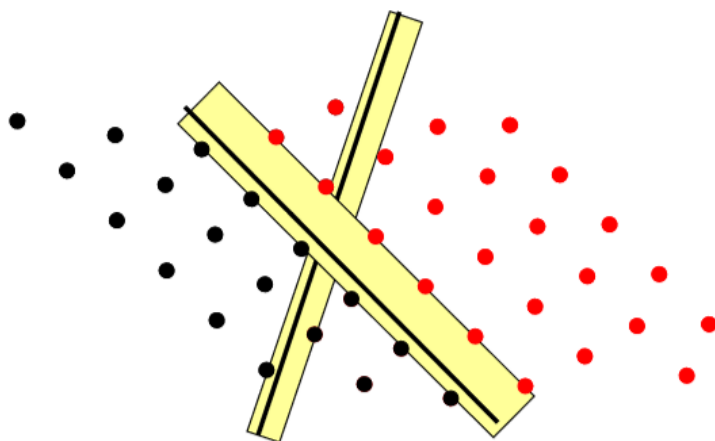
2 Methode

Planimetrische nauwkeurigheid uitgedrukt in de karteeronnauwkeurigheid is afhankelijk van drie componenten:

- Karteeronzekerheid als gevolg van punt dichtheid en puntverdeling
- Systematische planimetrische fouten
- Stochastische planimetrische fouten

Component 1: punt dichtheid en puntverdeling

Bij een homogene puntverdeling in een regelmatig raster kan de karteeronzekerheid uitgedrukt worden als functie van de punt dichtheid. Bij een punt dichtheid van n pt/m² is de afstand tussen twee punten in een scanlijn of de afstand tussen twee scanlijnen $\frac{1}{\sqrt{n}}$. Door het object precies tussen twee punten in te tekenen introduceert men dus een karteeronzekerheid $\Delta pd = \frac{1}{2\sqrt{n}}$



Figuur 1: Een object wordt gekarteerd binnen de gele band. Karteren van de rand van het object halverwege deze band is de beste benadering voor de locatie van de rand van het object. Daarmee is de karteeronzekerheid afhankelijk van de punt dichtheid en puntverdeling.

Voor hoekpunten van objecten is de karteeronzekerheid groter. Deze is namelijk $\Delta pd = \frac{1}{2\sqrt{n}}$ in de ene richting en haaks daarop eveneens $\Delta pd = \frac{1}{2\sqrt{n}}$. Met behulp van de stelling van Pythagoras komen we zo op een karteeronzekerheid van:

$$\text{karteeronzekerheid } \Delta pd = \sqrt{\frac{1}{2n}}$$

Component 2: systematische planimetrische fouten

- Deze methode beschouwt enkel de verschuiving van de gehele strook in X- en Y-richting: Δx en Δy .
- Drift en niet-lineaire strookvervormingen worden niet gemodelleerd en worden door het lineair verschuiven van de strook geminimaliseerd.
- Deze methode kijkt enkel naar de overlap tussen twee stroken en neemt de relatie met andere stroken niet in ogenschouw.

$$\text{Systematische planimetrische fouten: } \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2}$$

Component 3: stochastische planimetrische fouten

De stochastische planimetrische fout σ_x wordt veroorzaakt door:

- Ruis in de platformpositionering
- Ruis in de platformrotatiebepaling
- Ruis in de afstandsmeting
- Alle niet-constante afwijkingen, o.a. drift en niet-lineaire strookdeformaties t.g.v systematische fouten in positionering, rotatiebepalingen en calibraties

$$\text{Stochastische planimetrische fouten: } \sigma_x$$

Totale karteeronnauwkeurigheid

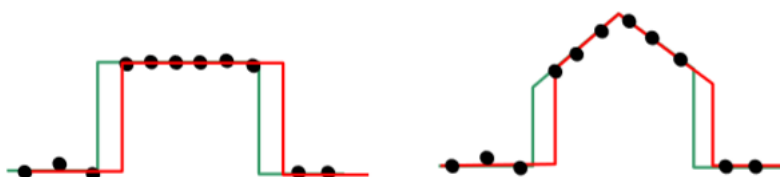
De totale karteeronnauwkeurigheid is een optelsom van deze drie componenten waarbij voor een 99,7% betrouwbaarheidsinterval drie keer de stochastische component wordt meegenomen.

Karteeronnauwkeurigheid, ook wel de toetswaarde:

$$\Delta pd + \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2} + 3\sigma_x \leq 50 \text{ cm}$$

3 Implementatie

Zadeldaken zijn ideale objecten om de planimetrie mee te beschrijven omdat de locatie van de noklijn van zadeldaken een van de weinige elementen uit een puntenwolk is die eenduidig kan worden vastgelegd in positie. In figuur 2 is dat geïllustreerd.

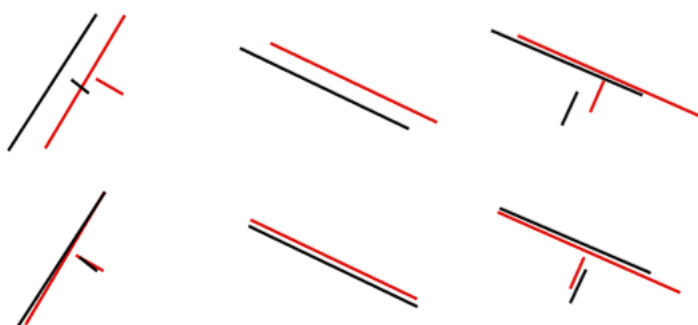


Figuur 2: Als door een set punten een vorm van een huis geschat wordt zijn de muren niet eenduidig vast te leggen qua positie. De noklijn van een zadeldak is dat wel. Daardoor is de noklijn van een zadeldak bij uitstek geschikt om planimetrische kwaliteit van de dataset mee vast te stellen.

Idealiter zou de positie van de noklijnen uit de laserdata gecontroleerd worden aan de hand van bekende referentiedata. Deze is echter niet, of niet in voldoende nauwkeurigheid beschikbaar. De zadeldakmethode is dan ook bij uitstek geschikt voor een relatieve planimetrische controle.

Door het verrichten van landmeetkundige metingen van referentiedaken kan een goede absolute controle worden verricht. Tevens zijn in eerdere versies van het AHN (en beperkt in het DTB) deze noklijnen beschikbaar / afleidbaar. Hierdoor is een absolute planimetrische controle met minder nauwkeurigheid, maar vele malen grotere beschikbaarheid, mogelijk.

Doel van deze analyse is om een verschuiving $(\Delta x_{ij}, \Delta y_{ij})$ van de twee vliegstroken (i en j) ten opzichte van elkaar te bepalen zodat het kwadraat van de residuen geminimaliseerd wordt. De standaardafwijking (stochastische planimetrische fouten: $\sigma_{x_{ij}}$) wordt bepaald uit deze residuen.



Figuur 3: Boven de noklijnen zoals gemeten in twee stroken; Onder de noklijnen na toepassing van de verschuiving $(\Delta x_{ij}, \Delta y_{ij})$. De standaardafwijking $\sigma_{x_{ij}}$ wordt geschat uit de resterende afstanden tussen de noklijnen.

De aanname is dat de fout even groot is in beide vliegstroken. Dit resulteert in:

$$\text{Systematische planimetrische fouten: } \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2} = \frac{1}{2} \sqrt{\Delta x_{ij}^2 + \Delta y_{ij}^2}$$

Stochastische planimetrische fouten: $\sigma_x^2 = \frac{1}{2}\sigma_{x_{ij}}^2 \rightarrow \sigma_x = \frac{1}{2}\sqrt{2}\sigma_{x_{ij}}$

Karteeronnauwkeurigheid, ook wel de toetswaarde:

$$\Delta pd + \frac{1}{2}\sqrt{\Delta x_{ij}^2 + \Delta y_{ij}^2} + \frac{3}{2}\sqrt{2}\sigma_{x_{ij}} \leq 50 \text{ cm}$$

4 Bepalen noklijnen in laserdata

Noklijnen kunnen op verschillende manieren uit de laserdata bepaald worden:

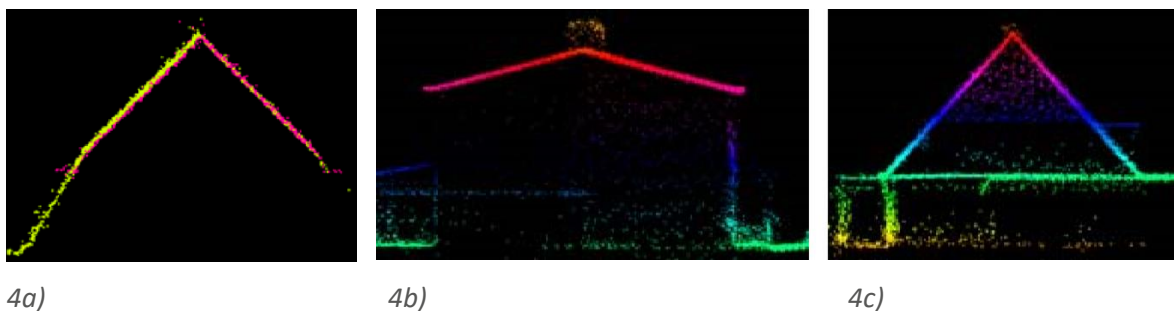
- Handmatig aanmeten
- Automatische meting na handmatige puntselectie
- Automatische segmentatie en meting
- Gebruik makend van beschikbare software

Handmatig inmeten

- Relatief onnauwkeurig door
 - Invloed van nokpannen
 - Minder gebruikte punten
- Hogere standaardafwijking
- Hogere toetswaarden
- Arbeidsintensief

Automatische meting na handmatige puntselectie

- Handmatige selectie van punten, bijvoorbeeld met behulp van polygonen of filteren van de als gebouw geclassificeerde data
- Schatting van twee vlakken door de punten van de dakhelften
- Berekening van de snijlijn
- Aandachtspunt! Selecteer alleen punten op het dakvlak, dus geen:
 - Dakkapellen
 - Schoorstenen
 - Muren
 - Antennes
 - Zoldervloer
- Of verwijder deze punten met een robuuste schatting
- Gebruik in beide vliegstroken dezelfde dakvlakken (Fig. 4a)
- Gebruik daken met een goede hoek tussen de vlakken (60-120 graden)(Fig. 4b en 4c)



Figuur 4: Gebruik dezelfde oppervlakte voor het schatten van de dakvlakken anders ontstaan verschillen zoals te zien is in 4a tussen de gele en roze punten. Schatting van dakvlakken is niet nauwkeurig bij vlakke daken zoals in 4b en wel nauwkeurig in steilere daken zoals 4c.

Automatische segmentatie en meting

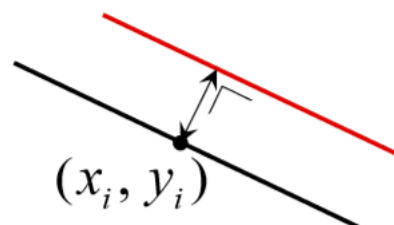
- Segmentatie van de puntenwolk in vlakken
- Selectie van schuine vlakken
- Selectie van naburige schuine vlakken
- Berekening van de snijlijn
- Aandachtspunt!
 - Zelfde als bij handmatige puntselectie
 - Minimale afmetingen van de segmenten
 - Lengte snijlijn
 - Helling snijlijn

Gebruik makend van beschikbare software

Er is ook veel gebruikte software op de markt voor het verwerken van laserdata die gebruik maakt van deze methode om de data geometrisch goed aan te sluiten. In enkele pakketten bestaat ook de mogelijkheid om deze noklijnen te exporteren en te gebruiken voor deze analyse.

5 Bepaling verschuiving tussen de stroken

- Middelpunt noklijn strook i : x_i, y_i
- Noklijn in strook j : $x \cos \alpha_j + y \sin \alpha_j - d_j = 0$
- Afstand van punt tot noklijn:
 $e = x_i \cos \alpha_j + y_i \sin \alpha_j - d_j$
- Afstand van punt tot noklijn na verschuiving:
 $e = (x_i - \Delta x_{ij}) \cos \alpha_j + (y_i - \Delta y_{ij}) \sin \alpha_j - d_j$
- Kleinste kwadratenschatting van Δx_{ij} en Δy_{ij}
- Waarnemingsvergelijking voor noklijn k :
 $E\{d_j^k - x_i^k \cos \alpha_j^k - y_i^k \sin \alpha_j^k\} = \cos \alpha_j^k \Delta x_{ij} + \sin \alpha_j^k \Delta y_{ij}$



Figuur 5: Afstand tussen de noklijnen = Afstand tussen middelpunt noklijn in strook i tot noklijn in strook j .

- Vergelijkingsstelsel voor K noklijnen in een overlap:

$$E \left\{ \begin{pmatrix} d_j^1 - x_i^1 \cos \alpha_j^1 - y_i^1 \sin \alpha_j^1 \\ \vdots \\ d_j^K - x_i^K \cos \alpha_j^K - y_i^K \sin \alpha_j^K \end{pmatrix} \right\} = \begin{pmatrix} \cos \alpha_j^1 & \sin \alpha_j^1 \\ \vdots & \vdots \\ \cos \alpha_j^K & \sin \alpha_j^K \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \Delta x_{ij} \\ \Delta y_{ij} \end{pmatrix}$$

- Stelsel van lineaire waarnemingsvergelijkingen: $E\{y\} = Ax$
- Kleinste kwadratenoplossing: $\hat{x} = (A^T A)^{-1} A^T y$
- Let op! Waarden van $d_j^k - x_i^k \cos \alpha_j^k - y_i^k \sin \alpha_j^k$ kunnen ook negatief zijn. Dus niet de afstand als waarneming invullen.

- De standaardafwijking $\sigma_{x_{ij}}$ wordt geschat uit de residuen na de kleinste kwadratschatting:

$$\varepsilon = y - A\hat{x}$$

$$\varepsilon_{ij}^k = d_j^k - x_i^k \cos \alpha_j^k - y_i^k \sin \alpha_j^k - \cos \alpha_j^k \Delta \hat{x}_{ij} - \sin \alpha_j^k \Delta \hat{y}_{ij}$$

- Met $\Delta \hat{x}_{ij}$ en $\Delta \hat{y}_{ij}$ als de geschatte verschuiving tussen de stroken i en j .

$$\sigma_{x_{ij}} = \sqrt{\frac{\sum (\varepsilon_{ij}^k)^2}{K-2}}$$

6 Rapportage

- U levert minimaal per strookoverlap de volgende gegevens:

- Strook i
- Strook j
- $\Delta \hat{x}_{ij}$
- $\Delta \hat{y}_{ij}$
- $\sqrt{\Delta \hat{x}_{ij}^2 + \Delta \hat{y}_{ij}^2}$
- $\sigma_{x_{ij}}$
- Toets (puntafstand = 54cm)
- Toets (gerealiseerde puntafstand)
- $\Delta \hat{z}_{ij}$
- $\sigma_{z_{ij}}$
- aantal noklijnen

- U levert minimaal per zadeldak de volgende gegevens:

- Strook i
- Strook j
- x_i^{start}
- y_i^{start}
- z_i^{start}
- x_i^{eind}
- y_i^{eind}
- z_i^{eind}
- $azimuth_i$
- x_i^{midden}
- y_i^{midden}
- z_i^{midden}
- x_j^{start}
- y_j^{start}
- z_j^{start}
- x_j^{eind}
- y_j^{eind}
- z_j^{eind}
- $azimuth_j$
- x_j^{midden}
- y_j^{midden}
- z_j^{midden}

- $x_i^{midden} - x_j^{midden}$
- $y_i^{midden} - y_j^{midden}$
- $\sqrt{(x_i^{midden} - x_j^{midden})^2 + (y_i^{midden} - y_j^{midden})^2}$
- $z_i^{midden} - z_j^{midden}$
- Per 5 km strooklengte dient de opdrachtnemer minimaal 1 zadeldakberekening uit te voeren, met een minimum van 10 zadeldakobjecten per strookoverlap. Deze zadeldaken dienen zoveel mogelijk verschillende oriënteringen te bezitten en goed verdeeld te liggen in de lengterichting van de strookoverlap.
- Indien er onvoldoende zadeldaken beschikbaar zijn voert de opdrachtnemer een alternatieve controle uit.

7 Eisen

In de eisen wordt onderscheid gemaakt tussen de hoogte en positie.

Hoogteafwijkingen

- De individuele hoogteafwijkingen voldoen aan de volgende eis:
 - $70\% < 3,5 \text{ cm}$
 - $95\% < 7 \text{ cm}$
 - $99,5\% < 10 \text{ cm}$
- De standaardafwijking van de hoogteverschillen per strookoverlap mag maximaal gelijk zijn aan $\sqrt{2} * \sigma_z = 4,2 \text{ cm}$.

Positieafwijkingen

- De individuele positieafwijkingen voldoen aan de volgende eis:
 - $70\% < 5 \text{ cm}$
 - $95\% < 10 \text{ cm}$
 - $99,5\% < 16 \text{ cm}$
- De standaardafwijking van de planimetrische verschillen per strookoverlap mag maximaal gelijk zijn aan $\sqrt{2} * \sigma_x = 7,1 \text{ cm}$.