

Meerpunts-georeferentie

de implementatie van een Open-Source Quality-Assessment-systeem

Thomas Vermaut¹

¹GIS-specialist bij HisGIS, Fryske Akademy

20 oktober 2016

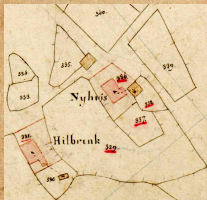
Wat is georeferentie?

locatie-gegevens toevoegen aan ruimtelijke data

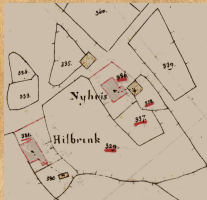
relatie tussen afbeeldings-coördinaat (in pixels) en een kaart-coördinaat via referentiepunten (Ground Control Points of GCP's)

vector of raster

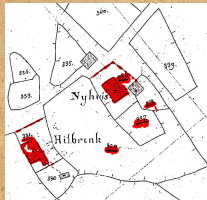
focus op gescand historisch kaartmateriaal, maar ook toepasbaar op vectordata



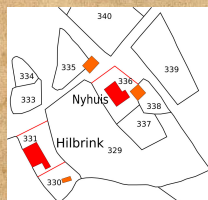
origineel



indexed (4-bit)



indexed (2-bit)



vector

Georeferentie met wiskundige transformatie: parameters

translatie en rotatie als basis

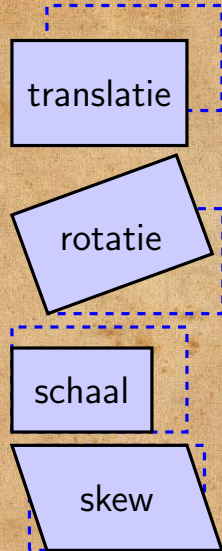
verschuiven en draaien als compensatie van scheef scannen / noorden niet boven en het "op zijn plek schuiven" van het kaartblad

schaalfactor: niet enkel kaartschaal complex; wat met x/y -verhouding? Hoe precies is scan-resolutie? Krimp van 'oud papier'?

skew / scheefheid

potentieel gevolg van ongelijkmatige krimp bij papier met vezelrichting

implementatie: 6-parameters



welke transformatie

polynomiale functies en rubbersheeting

- ▶ als een eenvoudige transformatie niet voldoet (onnauwkeurige kaart)
- ▶ hoe ouder de kaart, hoe meer figuratief; keerpunt ca. 1800
- ▶ sterke (al dan niet lokale) vervorming van het materiaal
- ▶ lastige identificatie van fouten (introductie false-positive match)



Kaart Coucheron, 1630 - Rubbersheeted
Groninger Archieven, toegang 1 Staten van Stad
en Lande 1594 – 1798, inventarisnummer 124.



Kaart Coucheron, 1630 - vector
Groninger Archieven, toegang 1 Staten van Stad
en Lande 1594 – 1798, inventarisnummer 124.



Kaart Coucheron, 1630 - vector
Groninger Archieven, toegang 1 Staten van Stad
en Lande 1594 – 1798, inventarisnummer 124.

Implementatie van affine transformaties

6 parameters voor georeferentie (vb world file)

los tekstbestand (vb .tfw, tfwx, jgw) of embedded in .tif als GeoTIFF

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A & B & C \\ D & E & F \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix} \quad \text{of} \quad \begin{cases} x' = Ax + By + C \\ y' = Dx + Ey + F \end{cases}$$

Parameters in volgorde world-file (enter-separated)

- A** x-scale
- D** y-skew
- B** x-skew
- E** y-scale
- C** x-coörd. linksboven
- F** y-coörd. linksboven

Goniometrisch

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \end{bmatrix} = \frac{\lambda}{\mu \cos(\omega)} \begin{bmatrix} \cos(\alpha) & \sin(\alpha) \\ -\mu \sin(\alpha + \omega) & \mu \cos(\alpha + \omega) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} C \\ F \end{bmatrix}$$

rotatie	α	=	$\arctan(B/A)$
scheefheidshoek	ω	=	$\arctan\left(\frac{-AD - BE}{AE - BD}\right)$
schaal	λ	=	$AE - BD / \sqrt{A^2 + B^2}$
x/y-verhouding	μ	=	$\sqrt{D^2 + E^2} / \sqrt{A^2 + B^2}$

Complexere warp (vb rubbersheeting)

eerst warp van oorspronkelijk bestand, daarna georeferentie via 6-parameters

Varianten op affine transformaties

Gelijkvormigheids-transformatie als bijzonder geval

Voorwaarden: enkel translatie, rotatie en schaal; geen skew

$$\begin{cases} x' = Ax + By + C \\ y' = Dx + Ey + F \end{cases} \quad \text{met} \quad \begin{cases} \text{rotatie}_x = \text{rotatie}_y \\ \text{schaal}_x = \text{schaal}_y \end{cases} \quad \Rightarrow \quad \begin{cases} E = A \\ D = -B \end{cases}$$

Parameters in volgorde
world-file (enter-separated)

- A** x-scale = $\lambda \cos(\alpha)$
- D** y-skew = $-\lambda \sin(\alpha)$
- B** x-skew = $\lambda \sin(\alpha)$
- E** y-scale = $\lambda \cos(\alpha)$
- C** x-coörd. linksboven
- F** y-coörd. linksboven

Goniometrisch

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \end{bmatrix} = \lambda \begin{bmatrix} \cos(\alpha) & \sin(\alpha) \\ -\sin(\alpha) & \cos(\alpha) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} C \\ F \end{bmatrix}$$

$$\begin{aligned} \text{rotatie } \alpha &= \arctan(B/A) \\ \text{schaal } \lambda &= \sqrt{A^2 + B^2} \end{aligned}$$

Tussenvarianten: vb 'orthotroop' (?)

geen skew maar wel afzonderlijke schaal_x en schaal_y; geen lineair stelsel
kleinste-kwadraten oplossing via Newton-Raphson iteraties over Jacobi-matrix

Fouten identificeren en kwaliteit beoordelen

Uitgangspunt: overdefinitie van transformatie

- ▶ elke transformatie kan berekend worden uit een minimaal aantal punten
vb: gelijkvormigheids-transf. uit 2 GCP's, affiene transformatie uit 3
- ▶ daarbij ligt elk bronpunt exact op zijn doel
- ▶ bij overdefinitie van transformatie (meer GCP's): best-fit transf. zoeken
klassiek via kleinste-kwadraten
- ▶ elk GCP krijgt dan een **residu**: getransformeerd bronpunt \Leftrightarrow doelpunt
- ▶ zo objectief mogelijk 'vervormen' vanuit analytisch doel
 \Leftrightarrow rubbersheeting met grafisch doel

Statistische methoden

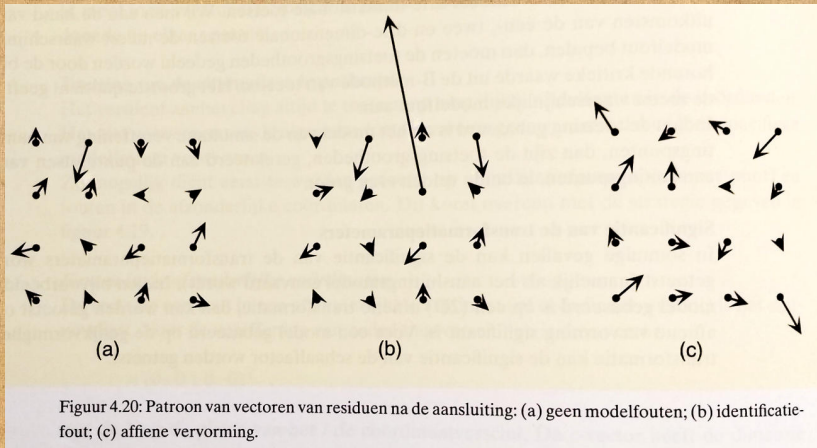
principe: steekproef GCP's doet niet mee aan (kleinste-kwadraten) transf.

tweede stap: analyse van residu's voor GCP's in steekproef

probleem: soms erg lastig om ook maar een paar goede GCP's te vinden

Grafische Analyse residu

Identificatie-fouten vs model-fouten



Handleiding Technische Werkzaamheden Kadaster (HTW), 1996, p. 228

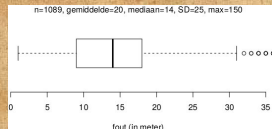
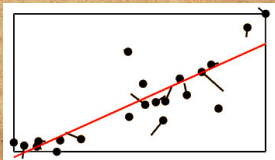
Kwaliteit van gehele transformatie

Statistiek residu

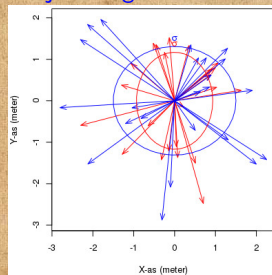
standaardafwijking, gemiddelde, modus, RMS, etc.
nuttig voor algemene kwaliteit en identificatie outliers

Collineariteit GCP's

- ▶ onwenselijk: onzekerheid over dimensie loodrecht op lineariteit
- ▶ onderzoeken via lineaire regressie
- ▶ numeriek beoordelen in correlatiecoëfficiënt
- ▶ grafisch beoordelen met regressie-lijn



Gelijkvormigheid \Leftrightarrow Affien



Kwaliteit van individuele referentiepunten

Grafisch: dynamische-iteratief

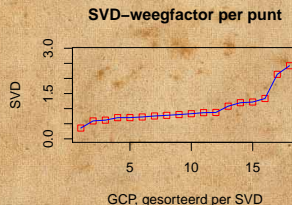
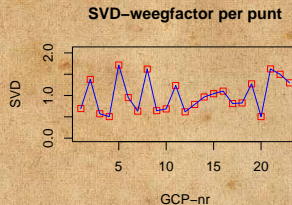
vb via weergave residu als lijn

Statistische methoden

vb grenswaarden als 'fout-detectie drempel'
lastig toepasbaar op historisch kaartmateriaal;
beperkt aantal GCP's en inconsistente kwaliteit

Singuliere Waarden Decompositie (SVD)

- ▶ relatie tussen elk GCP en de coëfficiënten van de transformatie (de 6 parameters)
- ▶ "doorweegfactor" van elk punt op coëff.
⇔ effect op eindresultaat: residu^2
- ▶ indicatie van foutgevoeligheid en risico op fout-propagatie
- ▶ grote weegfactor is onwenselijk: indicatie dat meer GCP's in die kaartregio nodig zijn



MapServer, R, PostgreSQL met Postgis en Pl/R

<http://mapserver.fa.knaw.nl/bl/georef/>

Vragen?

Thomas Vermaut
p.a. Doelestrjitte 8
8911 DX, Ljouwert

email: tvermaut@fryske-akademy.nl

Gelijkvormigheids-transformatie

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A & B \\ -B & A \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} C \\ F \end{bmatrix}$$

goniometrisch:

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \end{bmatrix} = \lambda \begin{bmatrix} \cos(\alpha) & \sin(\alpha) \\ -\sin(\alpha) & \cos(\alpha) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} C \\ F \end{bmatrix}$$

$$\text{met } \begin{cases} \text{rotatie } \alpha = \arctan(B/A) \\ \text{schaal } \lambda = \sqrt{A^2 + B^2} \end{cases}$$

Affiene-transformatie

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A & B \\ D & E \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} C \\ F \end{bmatrix}$$

goniometrisch:

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \end{bmatrix} = \frac{\lambda}{\mu \cos(\omega)} \begin{bmatrix} \cos(\alpha) & \sin(\alpha) \\ -\mu \sin(\alpha + \omega) & \mu \cos(\alpha + \omega) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} C \\ F \end{bmatrix}$$

$$\text{met } \begin{cases} \text{rotatie} & \alpha = \arctan(B/A) \\ \text{scheefheidshoek} & \omega = \arctan\left(\frac{-AD-BE}{AE-BD}\right) \\ \text{schaal} & \lambda = AE - BD / \sqrt{A^2 + B^2} \\ x/y\text{-verhouding} & \mu = \sqrt{D^2 + E^2} / \sqrt{A^2 + B^2} \end{cases}$$