

DIGIPOL

Interpolatie procedure

In dit document wordt ter illustratie de interpolatie procedure beschreven. De tekst is gekopieerd uit de (oude) handleiding, waar Digipol als losse applicatie werd beschreven. Naderhand is de procedure ingebouwd in diverse softwarepakketten.

Digipol is met name voor het interpoleren van raaigebonden data, in de praktijk doorgaans Single Beam data. De wens is dat deze methode ook gebruikt kan worden in combinatie met de aangeboden software.

Bij het daadwerkelijk implementeren kan de latende leverancier adviseren. Kanttekening is dat er geen ander beheer van de code is, dan dat de leveranciers van de verschillende systemen nodig achten voor het aanroepen of inbouwen van Digipol.

4 Interpolatie procedure

4.1 Inleiding

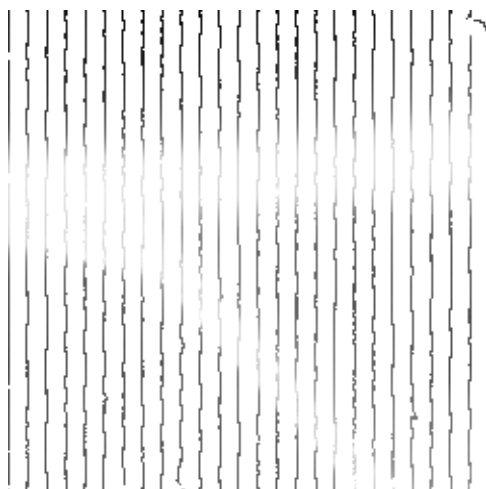
Bij het ontwerpen van het DIGIPOL-interpolatie algoritme zijn de volgende aannames gehanteerd:

- Binnen realistische grenzen wordt de bodem continue verondersteld. Dit houdt in dat abrupte diepte-verschillen onwaarschijnlijk zijn. Of anders geformuleerd, men mag aannemen dat deze verschillen bepaalde grenzen niet zullen overschrijden.
- Bij het loden wordt zo veel mogelijk loodrecht op de overheersende dieptelijnen gevaren. De onderlinge afstand van de meetpunten ligt, afhankelijk van de vaarsnelheid, tussen enkele centimeters tot enige meters (bij RWSLOD). Bij oudere opnamesystemen lag dit op een van tevoren ingestelde afstand (meestal 10 `a 15 meter).
- Bij strikt loodrecht varen op de dieptelijnen geldt dat de vaarrichting, tevens de richting met de grootste gegevens-dichtheid, samenvalt met de richting waarin het bodemprofiel het snelst verandert. Dit is de beste situatie voor "reconstructie" van het volledige bodemprofiel.

De DIGIPOL interpolatie zelf stelt geen eisen aan het lodingspatroon. De meetdienst kan zelf het meest geschikte lodingspatroon vast stellen. Dit is mogelijk doordat de DIGIPOL methode bij interpolatie zelf een schatting maakt van de lokaal overheersende bodemrichting en op grond van die schatting een zo'n optimaal mogelijke interpolatie kiest.

Ontwikkeling DIGIPOL algoritme

Eerdere varianten van het interpolatie-algoritme leunden zwaar op de aanname dat altijd loodrecht op de geul wordt gevaren. De methode maakte bij het berekenen van een dieptewaarde zoveel mogelijk gebruik van gegevens op de twee raaian aan weerszijden van het te berekenen punt. Bij lodingen loodrecht op de overheersende dieptelijnen levert dat een interpolatie op, die recht doet aan de verwachtingen over het bodemgedrag.



Afbeelding 5: Voorbeeld van een gebied met raaian.

In Afbeelding 5 is, in de bovenste helft van het beeld, te zien dat de raaian loodrecht op de dieptelijnen, tevens geulrichting, liggen.

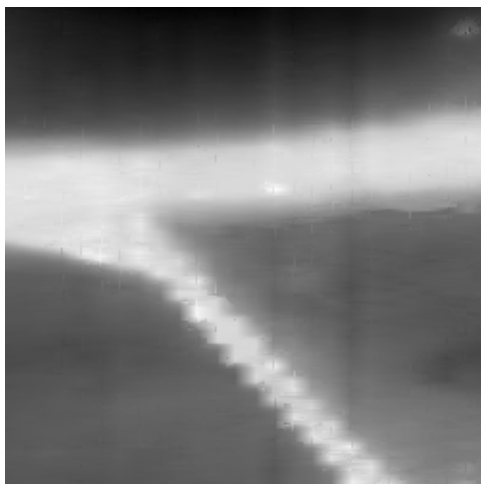
In de praktijk blijkt het soms nodig te zijn af te wijken van de optimale vaarrichting. Deze afwijking heeft meer invloed op het resultaat dan aanvankelijk werd verwacht.

Indien de voorkeursrichting van de interpolatie zonder meer loodrecht op de raai-richting zou worden gekozen, zou deze nu een hoek maken met de overheersende dieptelijnen.

Om de effecten daarvan op te vangen is een variant ontwikkeld die ondanks het optreden van behoorlijke afwijkingen van de gewenste raai-richting, de gegevens optimaal benut.

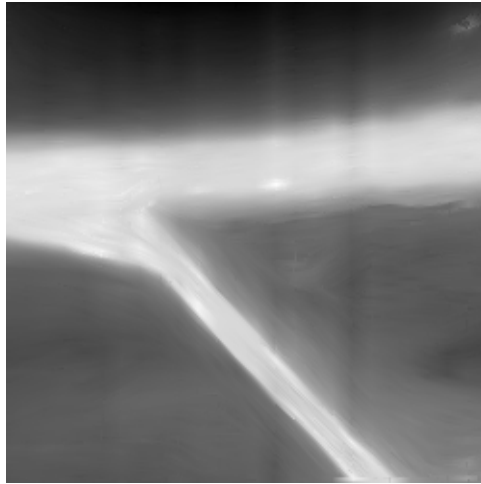
Deze methode maakt een schatting van de dieptelijnen van de bodem op basis van een eerste globale interpolatie. Bij de keuze van de meetpunten die aan de berekening bijdragen, wordt vervolgens een voorkeur gegeven aan punten die onderling "*in de (geschatte) dieptelijnen liggen*".

De onderste helft van Afbeelding 5 laat zien dat de raaien niet loodrecht staan op de door de mens gegraven geul, die een hoek maakt met de natuurlijke, overheersende dieptelijnen.



Afbeelding 6: Resultaat van interpolatie, zonder gebruik van richtingsinformatie.

Afbeelding 6 toont de gevolgen voor de interpolatie zonder gebruik van richtingsinformatie.



Afbeelding 7: Resultaat van intelligent interpoleren met gebruik van richtingsinformatie

Afbeelding 7 laat zien dat intelligente interpolatie ook voor de schuine geul een goed interpolatie-resultaat oplevert.

4.2

Uitgangspunten bij het algoritme

Bij de ontwikkeling van de DIGIPOL interpolatie methode zijn de volgende randvoorwaarden gesteld:

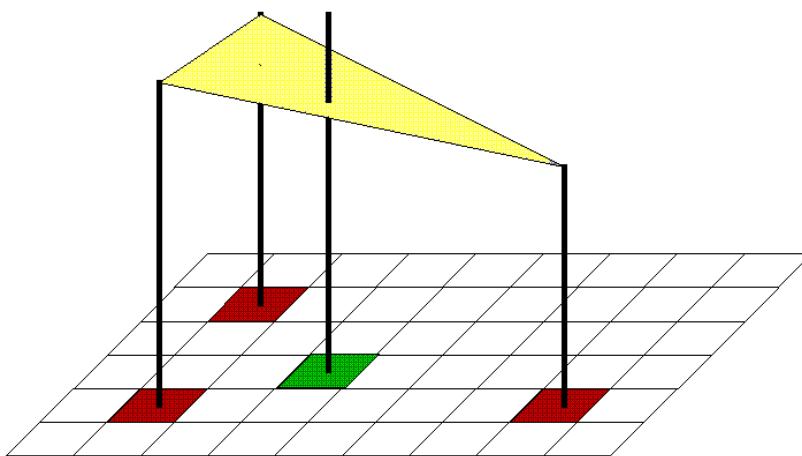
- De methode dient de oorspronkelijke meetwaarden (dus de dieptewaarden op de raaien) intact te laten. Van deze meetwaarden wordt aangenomen dat ze foutloos zijn.
- Het aantal instelparameters moet beperkt zijn. Zij moeten voor de gebruiker doorzichtig zijn. Daardoor kan de interpolatie nagenoeg mens-onafhankelijk (reproduceerbaar) worden uitgevoerd.
- De methode mag geen extrapolerend gedrag vertonen. Een te berekenen punt mag slechts worden berekend uit een verzameling meetwaarden die dat punt omsluiten. Dit houdt automatisch in, dat geen punten worden berekend die buiten de verzameling meetpunten liggen.
- De te berekenen punten liggen op een matrix met een vaste grid-afstand.
- Voorafgaande aan de interpolatie moeten de ruwe meetpunten worden herleid naar de punten van deze matrix. Dit wordt "vergridden" genoemd. Als daarbij één of meer meetpunten op één matrix-punt terecht komt, dienen zij rekenkundig te worden gemiddeld.
- Door de jaren heen kunnen de begin- en eind-punten van de raaien enigszins variëren. Om te voorkomen dat de interpolatie-resultaten hierdoor onnodig van jaar tot jaar zullen veranderen, mag, naar keuze, een harde begrenzing van het berekende gebied kunnen worden aangegeven. Bijvoorbeeld door bestaande dieptelijnen als grenslijn in te voeren.
- De methode moet in staat zijn, naast raai-georiënteerde dieptegegevens, andere soorten diepte-gegevens (al dan niet in combinatie) te verwerken.

4.3

Basismethodiek van de interpolatie

In essentie komt het erop neer dat de interpolatie methode ervoor zorgt dat rondom om ieder te berekenen dieptepunt een driehoek wordt opgespannen met als hoekpunten drie zorgvuldig gekozen nabuurligpunten. Op de keuze van deze drie hoekpunten wordt in de volgende paragrafen ingegaan.

Dichtbij gelegen punten tellen zwaarder mee dan punten die verder weg liggen. De berekening kan worden beschouwd als het plaatsen van een plat vlak door de drie hoekpunten. De hoogte waarop de verticale lijn door het te berekenen punt dit vlak doorsnijdt, is de berekende diepte in dat punt. Afbeelding 8 geeft deze berekening schematisch weer.



Afbeelding 8: Schematische weergave van de wijze waarop uit 3 hoogtewaarden een nieuwe hoogte binnen de driehoek wordt bepaald

Een dergelijke berekening kan worden uitgevoerd voor zowel "random verdeelde" meetpunten als "raai-georiënteerde" meetpunten.

Random (willekeurig verdeelde) meetpunten bezetten het gebied ongeveer gelijkmatig, terwijl "raai-georiënteerde" meetpunten langs lijnvormige structuren liggen.

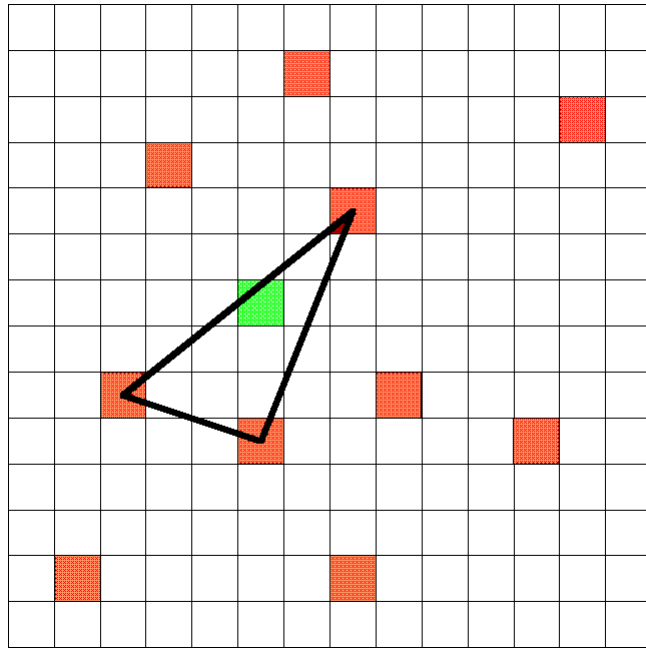
In het algemeen horen bij deze verschillende soorten meetpunten verschillende typen driehoeken: bij de raai-georiënteerde gegevens, waarbij de ruimte ongelijkmatig is gevuld, zal de driehoek meestal een langgerekte vorm hebben, terwijl men mag verwachten dat bij random verdeelde punten geen duidelijke richtingsvoorkeuren optreden. Afbeelding 9 en Afbeelding 10 geven het verschil weer tussen de twee soorten meetpunten en de wijze waarop de driehoeken worden opgespannen.

Overigens gebruikt het interpolatie-algoritme de informatie op welke raai een meetpunt ligt, niet expliciet. Het algoritme kan dan ook beide soorten meetpunten, ook in combinatie binnen het zelfde gebied, zonder problemen verwerken.

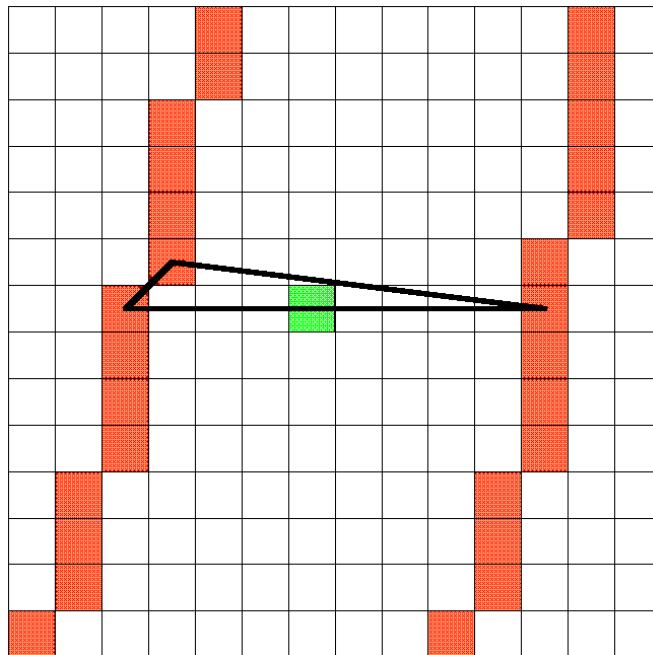
Vooraf bij de raai-georiënteerde meetpunten is de keuze van de driehoek van groot belang. De essentie van het DIGIPOL interpolatie algoritme is

dan ook de intelligente keuze van de meetpunten die voor ieder te berekenen punt de interpolatie-driehoek opspannen.

Zoals gezegd, vindt deze keuze van de hoekpunten plaats op basis van de geschatte dieptelijnen, waarmee een algoritme is gerealiseerd dat ook bij minder optimale lodingsrichting optimale interpolatie resultaten geeft.



Afbeelding 9: Random verdeelde punten

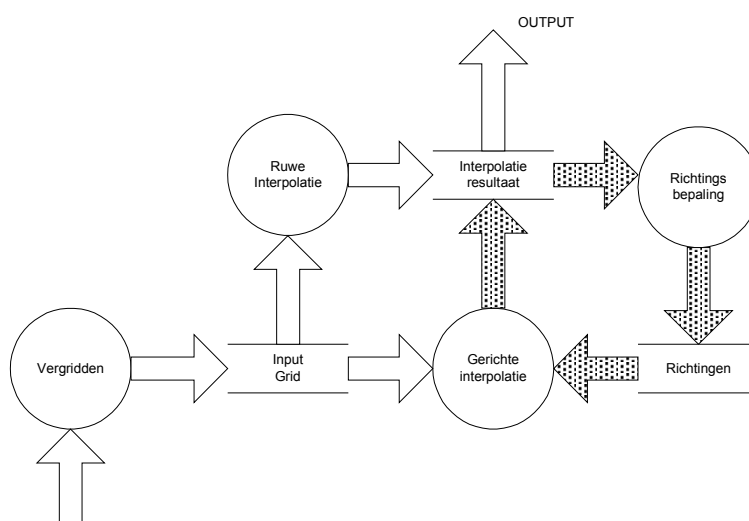


Afbeelding 10: Raai-georiënteerde punten

4.4

Structuur van het totale algoritme

De interpolatie van DIGIPOL bestaat uit een aantal stappen die in Afbeelding 11 schematisch zijn weergegeven.



Afbeelding 11: Opzet van het DIGIPOL algoritme

Achtereenvolgens worden binnen DIGIPOL de volgende bewerkingen (gedeeltelijk iteratief) doorlopen:

1. Het vergridden, het omrekenen van de ruwe, aangeleverde meetwaarden naar beeldpunten in een regelmatig raster, het zgn. grid.
2. De "ruwe" interpolatie, een interpolatie-stap die eenmalig wordt uitgevoerd en geen gebruik maakt van kennis over de richtingen in de bodem.
3. De richtingsbepaling, een functie die, in alle beeldpunten van het geïnterpoleerde beeld, de overheersende richting in de omgeving van dat punt berekent.
4. De "gerichte" interpolatie, een interpolatie-functie die, gebruik makend van de berekende richtingen, een vervolg-interpolatie uitvoert.

De laatste twee stappen worden herhaald ("iteratief") uitgevoerd. Daarbij wordt het resultaat van de gerichte interpolatie aan de richtingsbepaling aangeboden teneinde een betere schatting van de richting te verkrijgen. Daarna wordt opnieuw een "gerichte" interpolatie uitgevoerd, op basis van de meest recente richtingsbepaling. *Daarbij wordt telkens uitgegaan van het oorspronkelijke ingangsbeeld na vergridding.*

Deze iteraties worden uitgevoerd totdat hetzij het algoritme vaststelt dat een voldoende stabiel resultaat is bereikt, hetzij een door u ingesteld, maximaal aantal iteraties is bereikt.

In de volgende paragrafen vindt u een gedetailleerde beschrijving van de 4 stappen.

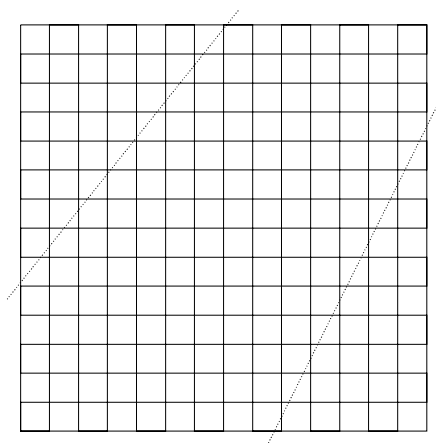
4.4.1 Stap 1, het vergridden

De dieptegegevens worden aangeboden als een verzameling coördinatenparen met bijbehorende dieptewaarde. Om berekeningen op een regelmatig grid mogelijk te maken, dienen deze gegevens voor de eigenlijke interpolatie allereerst te worden herleid naar een grid met de juiste resolutie (*grid-afstand*).

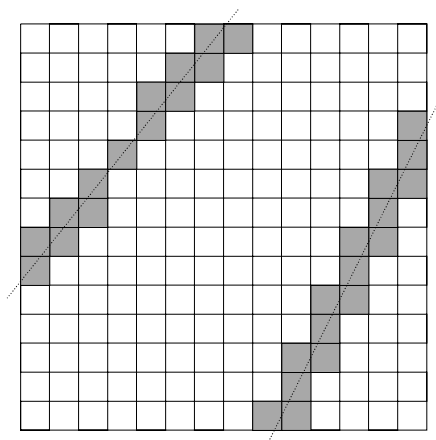
Bij een herleiding die zonder verdere ingrepen plaatsvindt, kunnen meerdere gegevens in één gridcel terecht komen, terwijl een groot aantal gridcellen leeg blijft (zie ook Afbeelding 12).

Uiteraard zal de interpolatie zorgen voor het vullen van de leeg blijvende grid-punten. Voorafgaande aan de eigenlijke interpolatie wordt, wanneer meerdere meetpunten in hetzelfde grid-punt terecht komen, van deze punten de gemiddelde waarde berekend.

In DIGIPOL kan bij deze data-reductie tevens een aantal statistische kentallen per grid-punt worden bepaald. Deze extra informatie kan dan worden toegevoegd aan het interpolatie-resultaat, teneinde een nadere analyse van de nauwkeurigheid van de berekende punten mogelijk te maken.



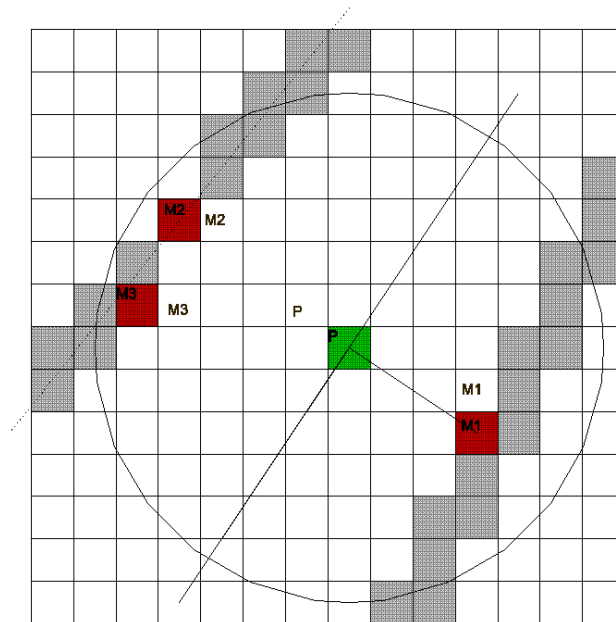
Afbeelding 12: Grid met de "ruwe" dieptepunten, voor het "vergridden"



Afbeelding 13: Grid met de uit de raaipunten afgeleide "gevulde punten"

4.4.2 Stap 2, de eerste "ruwe (niet gerichte) interpolatie

De eerste interpolatie-stap maakt geen gebruik van richtings-informatie, maar neemt aan dat de metingen tot stand zijn gekomen door loodrecht op de dieptelijnen te varen. Indien deze aanname geldig zou zijn, zou deze eerste stap reeds een voldoende nauwkeurig resultaat opleveren.



Afbeelding 14: Punten zitten aan weerszijden van de getrokken lijn

Deze interpolatie-stap gaat als volgt (zie ook Afbeelding 14):

1. Uitgaande van het te berekenen punt (P) wordt het meest dichtbij liggende meetpunt gezocht. Dit noemen wij punt M1.
2. Vervolgens wordt een punt M2 gezocht, eveneens zo dicht mogelijk bij P gelegen, dat "aan de andere kant" van P ligt dan M1. Afbeelding 14 maakt duidelijk wat met dit intuïtieve begrip "aan de andere kant" wordt bedoeld.
3. Nu wordt een derde hoekpunt M3 gezocht, opnieuw zo dicht mogelijk bij P, zodanig dat de gevormde driehoek (M1, M2, M3) het punt P omsluit.

Uiteraard kan de situatie optreden dat het punt P op de verbindinglijn van de punten M1 en M2 ligt. In dat geval is het zoeken naar een derde punt niet nodig.

4.4.3 Stap 3, de richtingsbepaling

Het "richtingen"-beeld wordt als volgt bepaald:

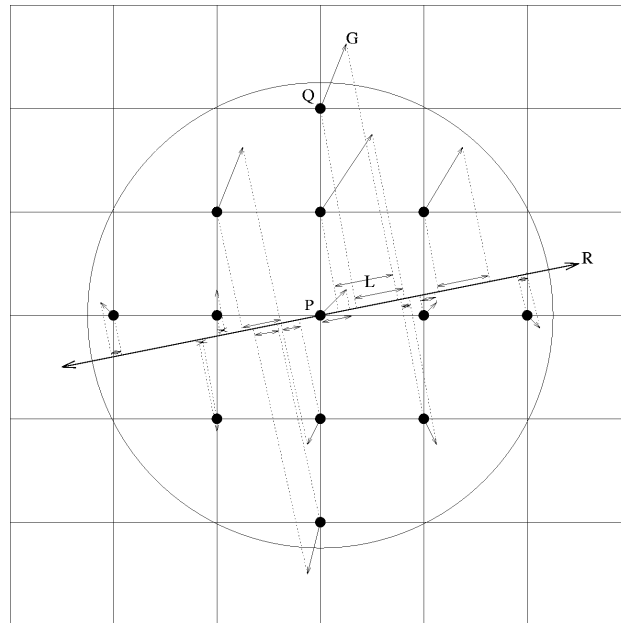
In elk beeldpunt wordt de gradiënt (steilheid) in zowel x- als y-richting bepaald. De x-gradiënt wordt bepaald uit de dieptes van 2 x 3 punten aan beide zijden (langs de x-richting gerekend) van het te berekenen punt. Van de dieptewaarden van deze punten wordt een gewogen som

genomen met als weegfactoren het coëfficiëntenschema $(-3, -4, -3, 0, 3, 4, 3)$. De nul in het midden geeft aan dat het te berekenen punt zelf buiten beschouwing blijft.

Dit coëfficiëntenschema is gekozen om een zo goed mogelijke frequentie-respons te verkrijgen. Hierbij is een compromis gemaakt tussen nauwkeurigheid van de gradiënt berekening en het ontstaan van veel ruis. Op identieke wijze wordt de y-gradiënt berekend. Tezamen vormen zij een gradiënt vector.

Vervolgens wordt voor ieder te berekenen beeldpunt, binnen een cirkel eromheen, de hoofdrichting bepaald.

Hiervoor wordt een "projectie-criterium" gebruikt. Zie Afbeelding 15.



Afbeelding 15: Projectie t.b.v. richtings-schatting.

De berekende gradiënten (G) worden opgevat als vectoren die op een roterende as (R) kunnen worden geprojecteerd. De hoofdrichting is nu die richting waarbij de som van de gekwadeerde projecties (L) minimaal is. Let wel, de gevonden richting is dus een schatting voor de richting van de dieptelijnen, welke loodrecht staat op de overheersende gradiëntrichting.

Daarna wordt berekend hoe overheersend deze richting in elk te berekenen punt is. Ook hiervoor wordt het projectie-criterium gebruikt. Loodrecht op de gevonden (geschatte) hoofdrichting wordt de projectie van de vorige stap uitgevoerd. Van het quotiënt, de projectie op de gevonden dieptelijnen gedeeld door de projectie loodrecht erop, wordt de wortel getrokken. Dit resultaat is een maat voor de sterkte van de geschatte dieptelijnen.

Om de rekentijd niet onnodig te laten toenemen wordt het aantal mogelijke richtingen beperkt tot een (instelbaar) aantal discrete waarden. De per beeldpunt gevonden kentallen, richting en richtings-sterkte, worden in de gerichte interpolatie gebruikt als stuurparameter voor het intelligent zoeken van de meetpunten die aan elk te berekenen punt bijdragen.

4.4.4 Stap 4, "Gerichte" interpolatie

Deze interpolatie-stap maakt gebruik van de geschatte (lokale) richtingen, zoals die berekend zijn in de vorige interpolatie-stap. Bij gerichte interpolatie worden de interpolatie-driehoekjes steeds zo veel mogelijk zodanig opgespannen dat hun lengte-richting met de dieptelijnen overeenkomt.

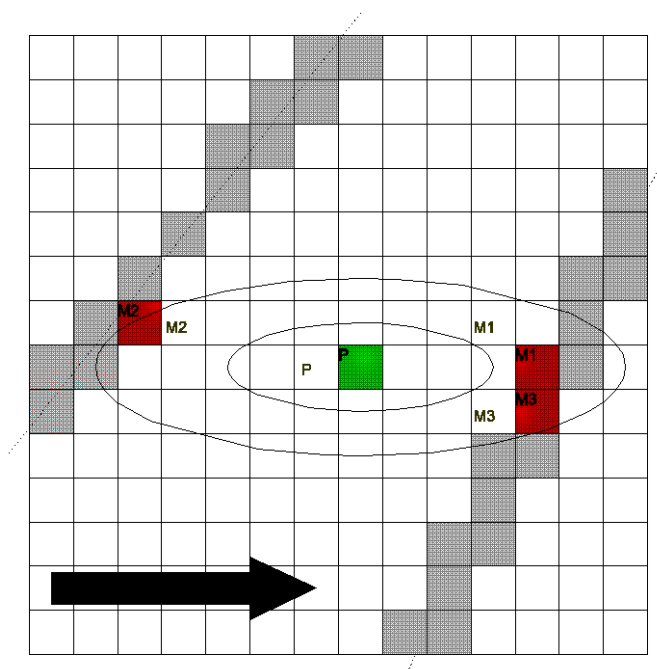
Bij de eerste interpolatie-stap, waarbij nog geen richtingen bekend waren, werd gezocht naar het meest dichtbij gelegen punt M1. Men kan zich voorstellen dat een dergelijke zoek-actie wordt uitgevoerd door vanuit het punt P concentrische cirkels te tekenen met een steeds grotere straal. Het eerste punt dat binnen een expanderende cirkel valt, is dan het meest dichtbij gelegen punt.

Om de gewenste richtingsvoorkeur te kunnen realiseren, is een aangepaste definitie van het begrip afstand gewenst.

Zoals normaal gesproken een cirkel een verzameling punten met gelijke afstand is, voeren we nu een ellips in als een verzameling punten met "gelijke gewogen afstand".

Daarbij valt de lange as van de ellips samen met de gevonden schatting voor de dieptelijnen ter plaatse.

Volgens deze nieuwe definitie wordt nu het punt dat zich het eerst binnen de zich expanderende ellips bevindt, het meest dichtbijgelegen punt.



Afbeelding 16: Het zoeken langs ellipsen

De verhouding tussen de lengten van de langste en de kortste as van de ellips worden bepaald op basis van de mate waarin de hoofdrichting ook

daadwerkelijk overheersend is (zoals beschreven bij de berekening van deze richting, zie paragraaf 4.4.3).

Bij een sterk overheersende hoofdrichting wordt zodoende een ellips gebruikt met een grote "lengte-breedte verhouding".

Dit algoritme levert niet in één keer een optimaal resultaat op. Dit wordt veroorzaakt door het feit dat de dieptelijnen in eerste instantie wordt geschat uit het resultaat van een "ruwe" interpolatie, die geen informatie over de richtingen heeft. Door nu het resultaat van de "gerichte" interpolatie te gebruiken om opnieuw de dieptelijnen te schatten, kan een sterke verbetering worden bereikt. Door deze procedure enige malen te herhalen, wordt een stabiel resultaat behaald.

4.4.5 Samenvatting werking algoritme

In het kort werkt de totale interpolatie dus als volgt:

1. Voer een interpolatie uit zonder gebruik te maken van richtingsinformatie.
2. Schat in elk punt van het nu geïnterpoleerde beeld de dieptelijnen ter plaatse.
3. Voer op basis van de berekende dieptelijnen in elk punt van het beeld een nieuwe, gerichte interpolatie uit, waarbij niet meer door middel van cirkels maar met behulp van concentrische ellipsen wordt gezocht naar het meest dicht bijgelegen punt.
4. Gebruik het resultaat van de gerichte interpolatie als uitgangspunt om opnieuw de dieptelijnen te schatten en voer op basis daarvan opnieuw een gerichte interpolatie uit. Gebruik hiervoor wel steeds de originele (vergride) meetpunten, zodat uitbreiding van fouten wordt vermeden.

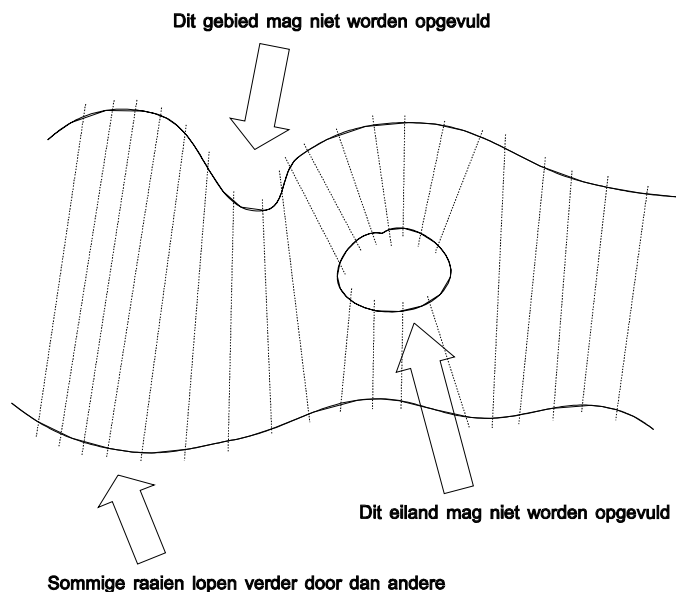
Herhaal dit proces totdat een voldoende stabiel resultaat is bereikt.

4.5 Begrenzing van het te interpoleren gebied

Zonder speciale maatregelen kan de begrenzing van het gebied waarbinnen de dieptewaarden worden berekend, tamelijk willekeurig worden.

Hiervoor is een aantal oorzaken aanwezig (zie ook Afbeelding 17):

1. Het geloodde gebied omsluit geheel of gedeeltelijk een gebiedje waarvan geen metingen beschikbaar zijn. In dat geval kunnen voor dat gebiedje diepte-waarden worden berekend die geen betekenis hebben.



Afbeelding 17: Gebiedsbeperking.

2. De begin- en eindpunten van de raaien kunnen van meting tot meting enigszins variëren. Daardoor kan de begrenzing van het gebied willekeurig worden.

Om eenduidigheid in het interpolatie-resultaat te verkrijgen kan daarom optioneel, een harde begrenzing van het berekende gebied worden aangegeven.

Dit kan gebeuren door een contour als grenslijn in te voeren. Deze contour wordt gedefinieerd door invoer van een reeks X,Y coördinaten. Een verdere verbetering van het interpolatie-resultaat aan de rand kan worden bereikt door de grenslijn uit te breiden met dieptewaarden, bijvoorbeeld door het invoeren van een iso-lijn (lijn van gelijke diepten) als grenslijn. Hierbij mogen de dieptewaarden van een grenslijn variëren, bijvoorbeeld bij het gebruik van het verhang over een riviervak.