

Een nieuw all-sky reductie programma

Hans Betlem¹ en Jiri Borovicka²

1. Lederkarper 4, 2318 NB Leiden

2. Astronomical Institute, 251 65 Ondrejov, Czech Republic

Inleiding

All-sky opnamen zoals die veel in de meteorenastronomie gebruikt worden beelden de gehele sterrenhemel af op slechts één opname. Dit heeft als voordeel, dat een heldere meteor altijd op de foto staat en dat een lange meteor niet van negatief naar negatief loopt, zodat de sektoronderbrekingen en dus het snelheidsprofiel, gewoon doorlopend gemeten kunnen worden.

Binnen het Nederlandse all-sky netwerk is een verscheidenheid aan fish-eye objectieven in gebruik, zowel voor 6x6 film als voor kleinbeeld. De brandpuntsafstanden variëren van 7 mm tot 35 mm. De camera's worden, in tegenstelling tot een aantal toestellen van het Tsjechische EN netwerk, niet gevolgd.

De diameters van de cirkelvormige hemelafbeeldingen bedragen 24 mm voor het 7 mm objectief (deze afbeelding past dan volledig binnen een kleinbeeldnegatief), 44 mm voor een 16 mm fish-eye objectief (een deel valt buiten het kleinbeeldnegatief, maar over de diagonaal wordt 180° gehaald) en 84 mm voor de 35 mm fish-eye. Ook deze haalt 180° over de diagonaal van een 6x6 negatief.

De afbeeldingen op all-sky opnamen wijken behoorlijk af van die van gewone opnamen, zodat de gebruikelijke reductiemethoden niet gebruikt kunnen worden.

Ongeveer 20 jaar geleden werden de eerste Zeiss Distagon f/3.5-30 mm in het Tsjechische EN net geïntroduceerd ter vervanging van de oude spiegelcamera's (een kleinbeeldcamera, opgesteld boven een verzilverde halve bol). Voor de reductie van de Distagon op-

namen werd een speciaal programma REDCON geschreven, dat geïmplementeerd werd in het FIRBAL pakket, waarmee sinds de jaren 50 EN opnamen werden berekend. REDCON draait sinds het begin van de jaren tachtig ook bij DMS en alle fish-eye opnamen tot nu toe zijn er mee berekend.

REDCON

Het oude reductieprogramma gaat uit van de cirkelsymmetrie van het fish-eye beeld. Elk object met eenzelfde afstand r tot het centrum van de opname heeft eenzelfde hoogte boven de horizon. Eis is, dat het objectief perfect waterpas gesteld wordt.

De eenvoudigste reductie [1] heeft dan plaats door het berekenen van zes constanten.

$$u = Vr + S(e^{Dr} - 1) \quad (1)$$

$$b = a_0 + \arctan \{(y - y_0)/(x - x_0)\} \quad (2)$$

$$r = \sqrt{(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2} \quad (3)$$

De waarden x_0 en y_0 zijn de coördinaten van het plaatcentrum in het x, y stelsel en a_0 is de hoek tussen de x -as het de zuidrichting.

u is de zenitsafstand van een object en b het azimuth: De twee parameters die we van meteoren graag willen weten.

Het gegeven stelsel van twee vergelijkingen heeft 6 onbekende constanten: a_0 , x_0 en y_0 zijn drie *plaatconstanten*. Zij definiëren de rotatie en de translatie van het rechthoekige coördinatenstelsel op de opname.

V , S en D zijn *lensconstanten*. Zij leggen de projectie van de lens vast en

wel de afstand tot het plaatmidden als functie van de hoekafstand tot het zenit. Ook de astronomische refractie wordt hierin meegenomen. De waarde van de refractie zelf is onbekend maar de meteoren hebben dezelfde refractie als de gemeten referentiesternen zodat dit ook niet nodig is.

Van een aantal veel gebruikte objectieven in ons land zijn medio jaren 80 de waarden voor V , S en D uit gereduceerde all-sky opnamen bepaald. Zij dienen als startwaarden voor een iteratieproces binnen REDCON waarmee uiteindelijk voor elke opname opnieuw de beste reductieconstanten bepaald kunnen worden.

8 constanten methode

In werkelijkheid staat de all-sky camera natuurlijk nooit exact waterpas, hoewel onze DMS camerabediener zich altijd erg nauwkeurig van hun taak gekwetend hebben.

Wanneer de camera-as niet precies naar het zenit gericht is, ligt het plaatmidden op een kleine zenitsafstand e en een azimuth E van het plaatmidden.

$$\cos z = \cos u \cos e - \sin u \sin e \cos b \quad (4)$$

$$\sin(a - E) = \sin b \sin u / \sin z \quad (5)$$

Er zijn nu 2 nieuwe constanten E en e toegevoegd, de *cameraconstanten*.

Zij definiëren de afwijking van de camera van het zenit, een afwijking die overigens ook veroorzaakt kan zijn door fouten in de opgegeven belichtingstijden. De 8 parameter reductieroutines kunnen kleine afwijkingen uit het zenit (tot enkele graden) wegwer-

ken, maar all-sky objectieven op een willekeurige positie aan de hemel gericht (waarom zou je dat overigens doen met 180° gezichtsveld ?) blijven ook met deze methode problematisch omdat het iteratieproces niet convergeert.

REDSKY : Naar 10 constanten...

Formule (3) is empirisch bepaald. Er bestaat geen theoretische of fabrieksformule voor de verschillende objectieven. Om de lensconstanten goed vast te leggen moeten opnamen met een flink aantal sterren met alle mogelijke zenitsafstanden uitgemeten worden. Het meest geschikt hiervoor zijn volgopnamen, omdat die sterren tot zeer laag op de horizon laten zien. Met volgopnamen kunnen zelfs sterren gemeten worden met zenitsafstanden groter dan 90° omdat tijdens de langdurige belichting nieuwe sterren in beeld komen. Voor meteoren zeer laag aan de horizon (< 10 graden) moet vaak ge-extrapolerd worden, omdat er zo laag geen sterren te zien zijn. Omdat het de vraag is of formule (3) bij zenitsafstanden > 80 graden geldig blijft, zijn testmetingen gedaan aan vier Zeiss Distagon platen uit gevolgde camera's van het EN. Er werden meer dan 100 sterren gemeten met de astrorecord meetmachine met vele tientallen laag aan de horizon maar ook sterren over de rest van de hemel werden meege-nomen.

Figuur 1 laat het resultaat van deze calibratie zien. De 8 reductieconstanten zijn berekend met sterren tot $Z=75^\circ$ en de coördinaten van de sterren bij lagere zenitsafstanden zijn berekend door extrapolatie, zoals ook gebeurt met meteoren die laag aan de hemel in een sterloos gebied verschijnen. De afwijking loopt op tot een forse graad ! De stippellijn in de grafiek voor $Z > 75^\circ$ geeft een exponentiele functie aan. De afwijkingen gaan kennelijk met een macht van r^2 .

Het ligt voor de hand om een correctieterm met een kwadratische macht in te voeren, waarmee (1) overgaat in :

Twee nieuwe reductieconstanten moeten nu bepaald worden : P en Q .

De systematische afwijkingen in de zenitsafstanden zijn hiermee volledig verdwenen.

P en Q kunnen alleen bepaald worden door ijking aan opnamen met veel sterren laag aan de horizon.

Naar 12 constanten...

Met het toevoegen van de constanten P en Q , het eigenlijke doel bij de ontwikkeling van REDSKY, bleek zich een nieuw probleem voor te doen. In de azimuthberekeningen bleven kleine systematische residuen over, die een functie waren van het azimuth. De schalen zijn in de verschillende richtingen dus verschillend hetgeen impliceert, dat de afbeelding geen cirkel is, maar een ellips. De afwijking wordt veroorzaakt door het niet loodrecht staan van de optische as op de film. Het kan veroorzaakt worden door een niet nauwkeurige constructie van het camerahuis of de objectiefvatting of door een onvoldoende vlakligging van de fotografische film.

Het effect kan ge-elimineerd worden door twee nieuwe reductieconstanten in te voeren. In formulevorm :

$$r = r' [1 + A \sin(\mathbf{a} - F)] \quad (7)$$

met r' berekend met formule (3) en

$$\mathbf{a} = a_0 + \arctan \{(y - y_0) / (x - x_0)\} \quad (8)$$

A en F zijn de twee nieuwe reductieconstanten : De amplitude en de fase van de schaalverdraaiing.

De waarde van A is voor fabriekscamera's en objectieven bijzonder klein maar voor zelfbouwtoestellen met dito achterwanden, zoals er enkele in ons land in gebruik zijn, zijn zij beslist groter.

REDSKY op DMS optiek

De programmatuur is ontwikkeld op de Zeiss Distagon f/3.5-30 mm. Echter, de mathematiek achter de methode is universeel en gemakkelijk op te schalen naar onze situatie.

De REDSKY subroutine werd zodanig aangepast, dat de invoer van gegevens, zoals we die voor REDCON gebruikten, gehandhaafd kon blijven. Dat heeft als voordeel, dat oude opnamen direct met het nieuwe programma doorgerekend konden worden.

De berekening van de constanten P en Q is voor onze situatie zelden relevant, maar E en \mathbf{e} des te meer, omdat niet waterpassing in het verleden nog wel eens voorkwam.

Het programma is getest op een aantal all-sky opnamen van Oostkapelle (zowel TAX f/4.5-35 mm als de Canon f/5.6-7 mm), Elsloo (Canon f/5.6-7 mm), Benningbroek (Sigma f/2.8-16 mm), Harderwijk (Canon f/2.8-15 mm) en Leiden (Canon f/2.8-15 mm en Zodiac f/3.5-35 mm). De reductieconstanten zijn bepaald uit een flink aantal opnamen per objectief en de aldus bepaalde waarden dienen als startwaarden voor het iteratieproces.

Tot onze grote verbazing leverde één opname met TAX (DMS 90020) een volledige set reductieconstanten met 12 parameters waarbij voor P een aanzienlijk kleinere waarde genomen moet worden dan voor de Zeiss Distagon. Het lijkt zinvol om met dit objectief eens een volgopname en een calibratie op een groot aantal sterren laag aan de horizon te maken.

Tabel 1 geeft de resultaten voor alle geteste objectieven.

Conclusies

In vergelijking met het oude REDCON programma zijn de meeste opnamen nu een stuk nauwkeuriger geworden. Vooral is dit terug te voeren op de nieuwe reductieconstanten E en \mathbf{e} die de nauwkeurigheid van een aantal opnamen met een factor 3 (!) verbeterden.

Station	Objective	mean st. dev.	V	S	D	Z max.	N
Elsloo	Canon 5.6/7.5	0.048	0.1274 ± 0.0038	0.0426 ± 0.0069	0.09	78	11
Oostkapelle	Canon 5.6/7.5	0.047	0.1285 ± 0.0023	0.0279 ± 0.0303	0.15 ± 0.07	81	9
Leiden	Canon 2.8/15	0.028	0.0655 ± 0.0002	0.0084 ± 0.0046	0.10	67	2
Harderwijk	Canon 2.8/15	0.067	0.0625 ± 0.0009	0.0106 ± 0.0031	0.10	59	8
Leiden / Benningbroek	Sigma 2.8/16	0.044	0.0587 ± 0.0145	0.0116 ± 0.0022	0.104 ± 0.008		19
Leiden	Zodiac 3.5/30	0.019	0.0314 ± 0.0003	0.0143 ± 0.0142	0.092 ± 0.015	53	4
Oostkapelle	Pentax 4.5/35	0.035	0.0281 ± 0.0004	0.0030 ± 0.0035	0.101 ± 0.023	73	4
Ondrejov / Churanov	Distagon 3.5/30	0.014	0.0316 ± 0.0001	0.0069 ± 0.0002	0.095 ± 0.0007	90	4

De gemiddelde nauwkeurigheid van een 7 mm fish-eye opname bedraagt, mits voldoende referentiesternen, 0.047°. Dat komt overeen met ongeveer 6 µm op het negatief ; in de orde van grootte van de meetnauwkeurigheid (ca. 4 µm met Astrorecord).

Bij de 15 en 16 mm fish-eye objectieven zijn de resultaten vanzelfsprekend iets beter met uitzondering van enkele Harderwijkse opnamen die het gemiddelde flink optrekken. Weinig referentiesternen waren hiervan de oorzaak. De standaarddeviatie voor de 15 mm Canon van post Leiden geeft ook waarden tegen de theoretische meet limiet.

Zoals verwacht presteren de 6x6 fish-eye objectieven het best. Met name de waarden voor *D* kunnen voor deze objectieven goed worden bepaald omdat de 10 parameter fits bij deze objectieven steeds snel convergeren.

De in tabel 1 gegeven waarden zullen verder als startwaarden worden gebruikt in het iteratieproces waarmee voor elk opname de individuele reductieconstanten worden bepaald.

De waarvan voor *A* en *E* (scheefstand optische as) laten nog iets interessants zien. *A* is steeds zeer klein (als verwacht) maar de "ellips oriëntatie" *E* is per opname zeer variabel.

Omdat de oriëntatie en centrering van het objectief tijdens een opnamecyclus niet verandert, kan slechts de vlakligging van de film de waarden van *A* en *E* bepalen. Het veranderen hiervan is van opname tot opname zichtbaar en het is interessant om eens een reeks opeenvolgend gemaakte opnamen met een van de fish-eye toestellen uit te meten.

Herberekenen ?

Uit het voorgaande zou wellicht blijken, dat een groot aantal simultaanopnamen waarin fish-eye componenten betrokken zijn, overgerekend zou moeten worden.

Echter, de reductieprocedure zelf is nauwelijks gewijzigd. De nieuwe toegevoegde constanten zijn vooral van belang bij meteoren zeer laag aan de horizon en bij slecht gewaterpaste opnamen. Een aantal tests op verschillende simultaanopnamen leidde tot verschillen in de radiantpositie die nooit de 0.1° te boven gingen. Daarbij hebben all-sky opnamen in de simultaanberekeningen toch al een lager gewicht dan de standaardopnamen.

Wel beschikken we met het uitgebreidere REDSKY pakket over mogelijkheden om meteoren zeer laag aan de horizon te berekenen. Er zullen dan ook opnamen geselecteerd worden om van een aantal Nederlandse objectieven de *P* en *Q* waarden te bepalen.

De grootste winst zit echter in het wegerekenen van miswijzing van het zenit. Opnamen die in het verleden vanwege hun scheefstand werden verworpen, kunnen met de nieuwe methode alsnog berekend worden.

De nieuwe methode maakt het mogelijk om berekeningen over de gehele hemel uit te voeren aan één enkele opname met op elke willekeurige plaats aan de hemel een meetnauwkeurigheid die overeenkomt met de theoretische limiet van de optiek.

Een 15-tal referentiesternen is voldoende waarbij de methode opvallend snel convergeert.

Table 1 : Lens constants for several fish-eye lenses in use in the Dutch all-sky network, compared with the Zeiss Distagon f/3.5-30 mm.

References :

- 1] Cepelcha, Z.: (1987) Bull. Astron. Inst. Czech **38**, 222.
- 2] Borovicka, J., Spurny, P., Keclikova, J.: (1995) Astron. Astrophys. Suppl. Ser. **112**, 173-178.
- 3] Borovicka, J.: (1992) Publ. of the Czechoslovak Ac. of Sci. **79**, 19-22