

Bildqualität und Bildrestaurierung bei digitalen Luftbildkamern

Otto Kölbl

Institut für Photogrammetrie, Ecole polytechnique fédérale de Lausanne (ETH-Lausanne), Schweiz

<mailto:otto.koelbl@epfl.ch>

Ausgehend von der Verwaschungsfunktion wird, ein Ansatz zur exakten Bildrestaurierung entwickelt. Dazu wird die Verwaschungsfunktion eines Bildprofils als Bandmatrix eingeführt und für die Rückrechnung der Objektfunktion aus der Bildfunktion deren Inverse verwendet. Damit lässt sich die Bildqualität um einen Faktor 2 und mehr steigern, anwendbar für praktisch alle digitalen Kamern.

1 Die Verwaschungsfunktion und ihre Invers

Die Bildqualität kann mittels der Modulationsübertragungsfunktion oder der Verwaschungsfunktion charakterisiert werden. Arbeitet man mit der Verwaschungsfunktion, so lässt sich die Bildfunktion längs eines Profils durch Faltung mit der Objektfunktion berechnen. Bezeichnet man die idealisierten Pixelwerte im Objektraum längs des Profils mit Obj_i , die entsprechenden Pixelwerte im Bildraum mit Img_i und schreibt man die Verwaschung als numerisches Filter ($F_i = \dots B, A, Z, A, B, \dots$) dann gilt folgender Zusammenhang in Matrizenform:

$$Img_i = Fb_{i,j} * Obj_j \quad (1)$$

Hierbei wird das numerische Filter einer einzigen Zeile F_i als Bandmatrix $Fb_{i,j}$ eingeführt:

$$Fb_{i,j} = \begin{matrix} \dots & B, & A, & Z, & A, & B, & \dots \\ \dots & \dots & B, & A, & Z, & A, & B, & \dots \\ \dots & \dots & \dots & B, & A, & Z, & A, & B, & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & B, & A, & Z, & A, & B, & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & B, & A, & Z, & A, & B, & \dots \end{matrix} \quad (2)$$

Das Filter selbst wurde hier mit 5 Elementen beschrieben, kann aber beliebig ausgedehnt werden; Z ist der Zentralwert, A und B sind die Nachbarwerte. So lässt sich die Verwaschungsfunktion bei der Luftbildkamern ADS40 mit den Werten $Z=0.66$, $A=0.15$ und $B=0.02$ beschreiben (vgl. Abb. 1, linke Figur). Die Summe der Filterwerte einer Zeile oder Spalte der Matrix Fb : $Z+2A+2B$ muss natürlich eins sein, um die Lichtenergie konstant zu halten.

Aus Gleichung (1) lässt sich nun auch streng die Inverse der Filterfunktion berechnen und somit die Objekthelligkeit aus den Pixelwerten im Bild; man erhält damit ein pixelscharfes Bild.

$$Obj_i = Fb_{i,j}^{-1} * Img_j \quad (3)$$

Dies setzt voraus, dass die Bandmatrix Fb invertierbar ist, also die Determinante nicht null wird. Eine Bedingung hierfür ist, dass A kleiner ist als $Z/2$; das heisst die Verwaschungsfunktion muss relativ schmal sein. Dies ist verständlich, denn bei größerem A verschmelzen bereits 2 Objekte im

Abstand von nur zwei Pixel und können folglich nicht mehr getrennt werden; eine korrekte Bildrestaurierung ist dann nicht mehr möglich.

2 Bildrestaurierung bei der ADS40 von Leica Geosystems

Die ADS40 ist eine Zeilenkamern mit drei panchromatischen Liniensensoren (vorwärts, senkrecht und rückwärts gerichtet) und 4 Farbkanälen von je 12000 Pixel (vgl. u.a. [1]).

Bei der Analyse eines Luftbildes wurde die in Abb. 1 wiedergegebene Verwaschungsfunktion erhalten; zudem wird deren Inverse und die Modulationsübertragungsfunktion ausgewiesen.

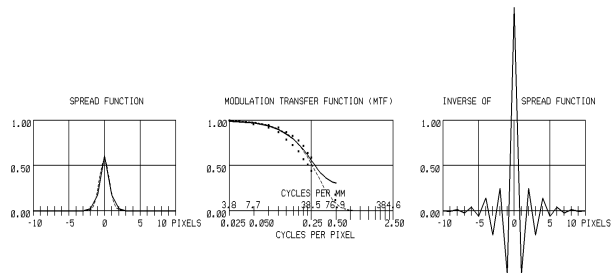


Abb. 1 Links die Verwaschungsfunktion mit überlagerter Gaußfunktion (punktiert) mit einer Spreizung (Full Width at Half Maximum: FWHM) von 2.0 Pixel. Im Diagramm der Modulationsübertragungsfunktion werden auch die Ergebnisse von Labormessungen (Quadrate, vgl. [2]) ausgewiesen, sowie die MTF, welche der Gaußfunktion mit der Spreizung von 2 Pixel entspricht (gestrichelt), rechts findet sich die Inverse der Verwaschungsfunktion.

Aus der Inversen der Verwaschungsfunktion wurde ein zweidimensionales Filter abgeleitet (vgl. Tab.1), mit dem eine beträchtliche Bildverbesserung erreicht wird (vgl. Abb. 2). Man beachte, dass der Zentralwert des Filters 3.011 beträgt; dementsprechend wird bei der Restaurierung des Bildes das zentrale Pixel jeweils mit 3 multipliziert und damit auch das Rauschen des Bildes um einen Faktor 3 verstärkt. Dies ist bei digitalen Bildern mit ihrem geringen Rauschen durchaus zulässig nicht aber bei photographischen Bildern.



Abb. 2 Links Originalbild, rechts restauriertes Bild, die Pixelgröße entspricht in etwa der Breite des Mauersims links oben, Bildausschnitt 240x300 Pixel.

	1	2	3	4	5	6
1	0.000	0.000	-0.001	-0.004	-0.006	-0.006
2	0.000	-0.002	-0.006	-0.019	-0.027	-0.030
3	-0.001	-0.006	-0.024	-0.007	0.020	0.030
4	-0.004	-0.019	-0.007	0.028	0.020	0.017
5	-0.006	-0.027	0.020	0.020	-0.169	-0.298
6	-0.006	-0.030	0.030	0.017	-0.298	3.011
7-11
Summe	-0.027	-0.138	-0.005	0.055	-0.620	2.437

Tab. 1 Wiedergabe des Filters, das für die Restauration des Bildausschnittes von Abb. 2 verwendet wurde. Ausgewiesen wird nur der linke obere Teil des symmetrischen Filters und die Summe der Kolonnenwerte, welche den Filterwerten ..B,A,Z.... in (2) entsprechen

3 Bildrestaurierung bei der DMC, Z/I Imaging

Die digitale Luftbildkamera DMC von Z/I Imaging ist ein Mehrkopfsystem von Rahmenkammern. Die Standardversion benutzt 4 panchromatische Divergenzkammern mit einer Brennweite von 120mm (Öffnung 1:4) und Flächensensoren von 4096 x 7168 Pixel. Die Aufnahmen aus den 4 panchromatischen Kammern werden zu einem virtuellen Bild von 7680 x 13824 Pixel zusammengesetzt. (vgl. u.a. [3])

Zur Ermittlung der Verwaschungsfunktion wurden die zusammengesetzten Bilder verwendet. Dabei ergaben sich die in Abb. 3 wiedergegebene Verwaschungsfunktion und die entsprechende Inverse.

Gleichfalls wurde das Restaurationsfilter berechnet und ein Bildausschnitt restauriert (Abb. 4). Es handelt sich hierbei um eine Hausfassade, die sich ganz am Bildrand befindet. Als Zentralwert für die Filterfunktion zur Bildrestaurierung wurde der Wert 5.105 erhalten.

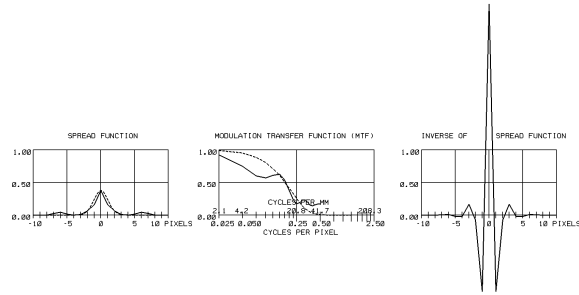


Abb. 3 Verwaschungsfunktion, Modulationsübertragungsfunktion und Inverse der Verwaschungsfunktion, ermittelt an einem Bild der DMC. Die Spreizung der Gaußfunktion (strichliert) beträgt 3 Pixel.

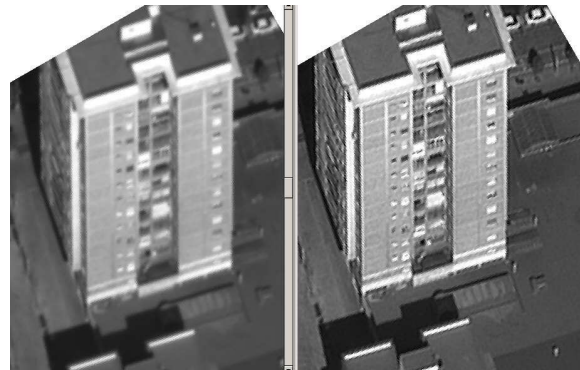


Abb. 4 Beispiel für die Restaurierung eines Bildausschnittes der DMC. Die Hausfassade befindet sich ganz am Rande des Bildes in diagonaler Richtung. Die abgeschnittene linke Kante des Bildausschnittes entspricht dem effektiven Bildrand des Luftbilds. Man erkennt rechts leicht die Pixelstruktur; diese starke Vergrößerung lässt den Effekt der Bildverbesserung deutlicher werden; Größe des Bildausschnittes 217x250 Pixel.

Die Möglichkeit auch streng geometrische Formen, die diagonal verlaufen, erfolgreich zu restaurieren, demonstriert die Effizienz des Verfahrens. Ein fehlerhaftes Restaurationsfilter würde sehr schnell zu Artefakten führen.

4 Schlussbemerkung

Das Verfahren ist effizient und exakt und ergibt keine künstliche Kantenverstärkung, es kann auch für beliebige andere hochqualitative Kamern verwendet werden; die Hasselblad H1 und Rollei AIC modular LS wurden getestet.

Literatur

- [1] R. Sandau, „Digitale Luftbildkamera“ Wichmann Verlag, (2005)
- [2] R. Schuster, B. Braunecker, „Calibration of the LH Systems ADS40 airborne digital sensor“ in IAPRS, Vol. XXXIII, Part B1, Amsterdam, S. 288-294 (2000)
- [3] A. Hinz, Ch. Dörstel, H. Heier, „DMC-The digital sensor technology of Z/I-Imaging“ in Photogrammetric Week 01, Wichmann Verlag, (2001)