

Vorschläge zur instrumentellen Entzerrung von Abbildungen mit Seitwärts-Radar (SLAR) und Infrarot-Linienabtastsystemen (IRLS)

Von F. LEBERL, Delft

1. Einleitung

In diesem Bericht werden Möglichkeiten beschrieben, photographische Aufzeichnungen, die mit dem Seitwärts-Radar (SLAR) und dem Infrarot-Linienabtastsystem (IRLS) erzeugt werden, instrumentell zu entzerren oder das Zustandekommen von Verzerrungen zu verhindern. Unter Entzerrung wird die in der Photogrammetrie üblicherweise so bezeichnete Umbildung verstanden, die die geometrischen Eigenschaften einer photographischen Abbildung so verändert, daß sie einer Orthogonalprojektion möglichst nahe kommen. Mit „Verzerrung“ werden somit die Abweichungen der Bildgeometrie von einer Orthogonalprojektion bezeichnet.

Die neuen Abbildungen werden gegenwärtig hauptsächlich für die Gewinnung von qualitativer Information verwendet. Metrische Probleme treten auf, wenn

- Information aus Bildern in Karten zu übertragen ist,
- Bilder zur Bestimmung zeitabhängiger Vorgänge korreliert (sog. „Subtraktionsverfahren“) und
- neue Karten für besondere Zwecke hergestellt werden müssen.

Die Verarbeitung der Daten, die unter anderem mit dem SLAR- und IRLS-System gewonnen werden, geschieht nun derzeit mit den auf Interpretationszwecke ausgerichteten Beobachtungsgeräten für unkonventionelle Bilder, z. B. mit dem Bausch & Lomb Radar Image Correlator, weiters mit Geräten, die direkt eine mittels Komputer gesteuerte Linienzeichnung erzeugen (LR-1 von Bendix) und schließlich numerisch.

Die Projektionsparameter von SLAR und IRLS ändern sich von Punkt zu Punkt sowohl systematisch wie auch stochastisch. Wird daher eine Entzerrung erwogen, so folgt, daß dies nur mit einer differentiellen Lösung mittels „Einstelldaten“ streng möglich ist. Die zwei grundlegenden Probleme sind, einerseits die Einstelldaten zu beschaffen, andererseits ein instrumentelles Prinzip zur Entzerrung zu wählen. Letzteres Problem wird hier behandelt.

Wie aus einer vorhergehenden Arbeit [3] folgt, hat das zu verwendende Instrument vor allem systematische wie auch unregelmäßige Bildverschiebungen in der Quer- oder y-Richtung der SLAR- und IRLS-Filmstreifen zu ermöglichen. Darüber hinaus muß der Maßstab in Längs- oder x-Richtung korrigiert wie auch eine y-Bildlinie um einen festen Punkt gedreht werden können. Im folgenden wird erst eine zusammenfassende Beschreibung der technischen Grundlagen und Definitionen des SLAR- und IRLS-Systemes gegeben. Daran schließt die Beschreibung und ein Vergleich einiger Prinzipien an, die es erlauben, diese Bildverschiebungen unabhängig von der Aufnahme (off-line) und während der Aufnahme (on-line) zu bewirken. Die Unterscheidung in optisch-mechanische und elektro-optische Verfahren geschieht nach Art der Bildübertragung zum korrigierten Film.

2. Kurze Beschreibung der Systeme

2.1 Seitwärts gerichtetes Radar-System („SLAR“ von Side Looking Airborne Radar)

Als Methode zur Abbildung der Erdoberfläche bei jedem Wetter und auch nachts ist SLAR eine Weiterführung des bekannten PPI-Radars mit verbessertem Auflösungsvermögen. SLAR ist ein Echo-Zeit messendes, aktives Linienabtastsystem (aktiv bedeutet, daß das aufzunehmende Objekt aus einer mitgeführten Energiequelle „beleuchtet“ wird).

Bild 1 zeigt das Prinzip der SLAR-Aufnahme, Bild 2 das der Bildformung.

Eine längliche Antenne ist am Flugzeugkörper befestigt und sendet senkrecht zur Flugzeuglängsachse elektromagnetische Impulse im Mikrowellenbereich aus, die sich in einem näherungsweise ebenen, fächerförmigen Büschel fortpflanzen und an der Erdoberfläche reflektiert werden.

Eine feste Zeitspanne nach Absenden des Impulses (der „Aufnahmeverzögerung“) beginnt der Lichtpunkt einer Kathodenstrahlröhre (Bild 2) sich geradlinig über den Röhrenschirm zu bewegen. Die Lichtintensität wird mittels der von der Antenne empfangenen, reflektierten Radarstrahlen

moduliert. Nach Erreichen des Schirmandes wird der Lichtpunkt abgeschaltet. Der nächste Mikrowellenimpuls wird ausgesendet.

Dieser Prozeß wiederholt sich einige tausend Mal per Sekunde.

Der Lichtpunkt auf dem Röhrenschirm wird kontinuierlich gefilmt. Durch einen mit der Flugzeug-Grundgeschwindigkeit synchronen Filmtransport wird auf dem Film ein Analog der Reflexionseigenschaften eines streifenförmigen Gebietes seitlich vom Flugzeug erzeugt. Dieses Analog ähnelt einem Luftbild.

Die Lage jedes Bildpunktes ist auf dem Film durch eine y-Koordinate in Richtung der Bewegung des Lichtpunktes auf dem Röhrenschirm und eine x-Koordinate senkrecht dazu (analog der Flugrichtung) definiert. Streicht der Kathodenstrahl mit konstanter Geschwindigkeit über den Schirm, so ist die y-Koordinate eines Bildpunktes proportional dem Abstand zwischen Flugzeug und konjugiertem Objektpunkt. Das resultierende SLAR-Bild wird daher als „schiefe-Distanz-Darstellung“

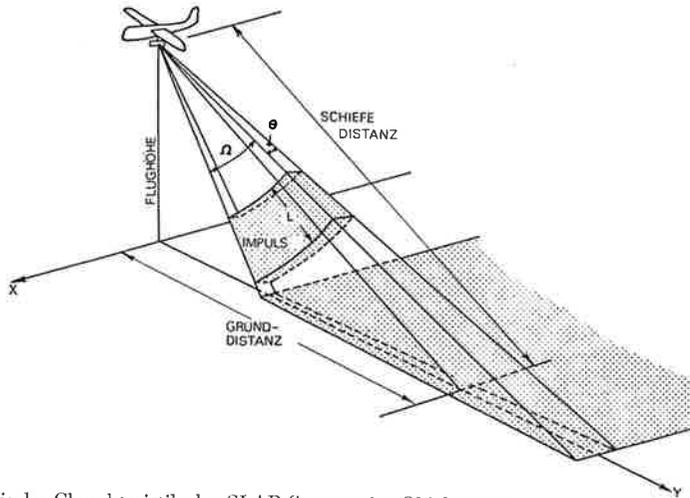


Bild 1 Geometrische Charakteristik des SLAR-Systems im Objektraum. Ω = Winkel, der den Bereich der Radarstrahlung definiert; θ = Winkel zur Definition des Auflösungsvermögens in X; L = Impulslänge, definiert Auflösung in Y.

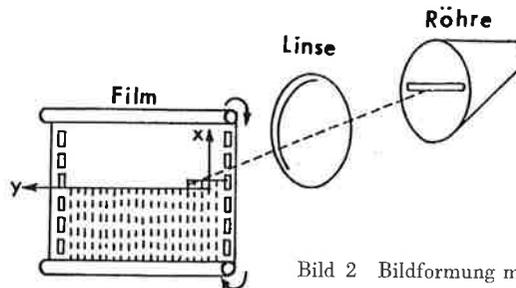


Bild 2 Bildformung mittels Kathodenstrahlröhre

bezeichnet. „Grunddistanz-Darstellung“ ist in Systemen möglich, wo die Geschwindigkeit des Lichtpunktes auf dem Röhrenschirm nichtlinear variiert werden kann.

2.2 Infrarot-Linienabtastsystem („IRLS“ von Infra Red Line Scan)

Das IRLS-System ist passiv (keine Beleuchtungsquelle wird mitgeführt). Ein rotierender Spiegel projiziert ein Bündel elektromagnetischer Strahlung auf einen Detektor, der die Strahlungsinten-

sität in einer spezifischen Wellenlänge zwischen 1 und $14 \mu\text{m}$ (Wärmestrahlung) in ein elektrisches Analogsignal umwandelt (Bilder 3 und 4). Da in diesen Wellenlängen ($> 4 \mu\text{m}$) die von den Objekten emittierte Strahlung über die reflektierte Sonnenstrahlung dominiert, mißt das IRLS-System also die Emissionseigenschaften des Objektraumes.

Die Aufzeichnung des Analogsignals auf Film kann wie im SLAR mit einer Kathodenstrahlröhre oder mit einem rotierenden Spiegel (Bild 4) geschehen, wobei eine Glimmlampe intensitätsmoduliert wird. Die Spiegel rotieren in gegenwärtigen Systemen etwa 100 mal per Sekunde.

Die y-Koordinate im IRLS-Bild ist proportional dem Winkel α zwischen der Flugzeughochachse und der Linie Flugzeug-Objekt. Daher verringert sich der Maßstab gegen die Ränder eines Bildstreifens zu beträchtlich. Dies verursacht die typische „line-scan“-Verzerrung. Die geometrischen IRLS-Bildverschiebungen sind auch dem aktiven Linienabtastsystem und dem Multispektralen Abtaster (MSS) eigen, die sich vom IRLS nur durch die Art oder Anzahl der aufgezeichneten Spektralbänder unterscheiden.

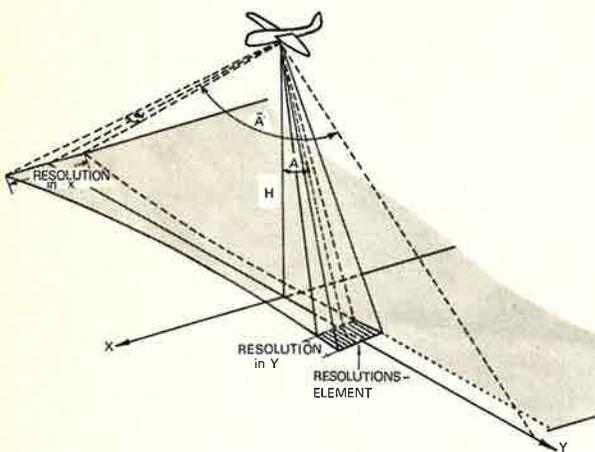


Bild 3 Geometrische Charakteristik des IRLS-Systemes im Objektraum.

H = Flughöhe, A = totaler Gesichtswinkel, α definiert die y-Bildkoordinate, α = augenblicklicher Gesichtswinkel.

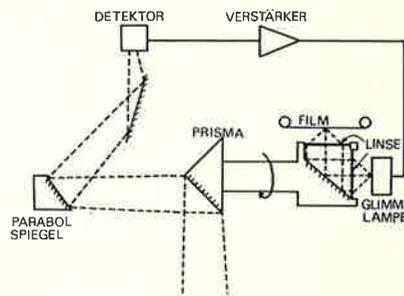


Bild 4 Bildformung im IRLS-System

3. Entzerrung unabhängig vom Aufnahmevorgang (off-line)

3.1 Optisch-mechanische Entzerrung

Hier können Bildverschiebungen durch Bewegungen der Negativ-, der Projektionsebene und des Objektivs sowohl quer wie auch längs der optischen Achse erreicht werden.

Ersteres Prinzip, die Bewegung quer zur optischen Achse, lag dem wohl ersten SLAR-Entzerrer zugrunde, der in den USA entwickelt worden war [2]. Bild 5 zeigt die Prinzipskizze der ursprünglichen Version. Ein Aperturschlitz und synchroner Filmtransport bildeten den zu entzerrenden auf den neuen Film differentiell ab.

Bildverschiebungen in y-Richtung wurden durch Objektivbewegungen mittels Nockensteuerung erreicht. Statt der Nocken verwendete man später Motore und unterstützte die Entzerrung durch Bewegungen der Filme in ihren Ebenen.

Eine Entzerrung kann auch durch die alleinige Bewegung des Negativträgers und der Projektionsfläche in ihren Ebenen erreicht werden. Dies wird in konventionellen Orthophotogeräten mit „paraxialem optischem Strahlengang“ angewandt, z. B. im Jenaer Orthophot, im Drobyschewschenschen Stereographen und im OMI-Orthoprinter. Eine entsprechende Steuerung des Prinzipes, wie es vor allem dem OMI-Orthoprinter zugrunde liegt, würde jede Bildverschiebung ermöglichen.

Die optisch-mechanische Entzerrung mittels Verschiebung der Komponenten längs der optischen Achse, also mittels variabler Projektionsweite, ist in wohlbekannten Differentialentzerrungsgeräten mit „vollständigem optischem Strahlenbündel“ verwirklicht. Dieses klassische Orthophotoprinzip könnte zur Entzerrung von Streifenaufnahmen verwendet werden, wenn zumindest der Aperturschlitz immer entlang derselben Linie durch die optische Achse läuft und statt der Schlitzbewegung in x-Richtung die Filme transportiert werden (Bild 6).

Größere Flexibilität wäre durch einen dem Objektiv vorzuschaltenden optischen Keil erreichbar (Detail A in Bild 6).

Aber nur durch zusätzliche Erweiterungen des Systems ließen sich auch alle sekundären Bildverschiebungen ermöglichen.

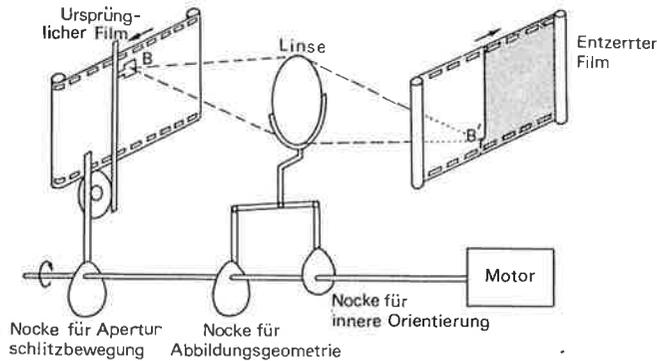


Bild 5 Prinzip eines optischen Entzerrungsgerätes mit mechanischer Steuerung

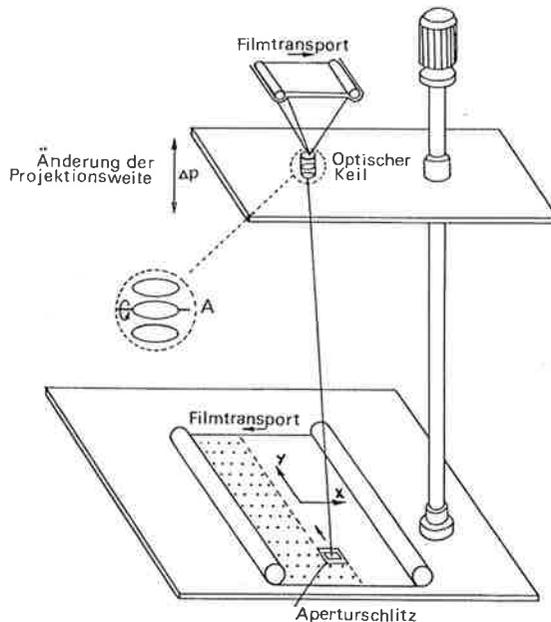


Bild 6 Prinzip eines Differentialentzerrers mit vollständigem optischem Strahlenbündel zur Entzerrung von Streifenaufnahmen. A ist ein optischer Keil.

3.2 Elektro-optische Entzerrung

Aus einem System von elektronischen und optischen Komponenten, wie sie in Bild 7 skizziert sind, ist der Aufbau zweier verschiedener Entzerrungsprinzipien denkbar:

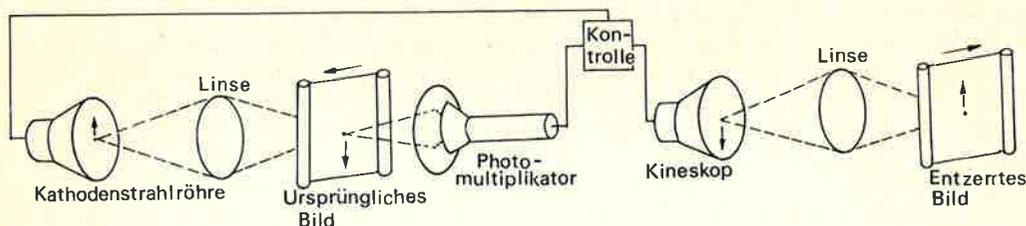


Bild 7 Komponenten zur elektronischen Transformation von Streifenaufnahmen

Theoretisch jede Transformation des ursprünglichen Bildes kann durch die entsprechende ungleichförmige Ablenkung der Elektronenstrahlen in der „lesenden“ wie auch „wiederherstellenden“ Kathodenstrahlröhre erreicht werden [1]. Offensichtlich müssen diese Ablenkungen vor allem zur Korrektur der stochastischen Verzerrungen einigermaßen komplizierten Funktionen mit variablen Koeffizienten folgen. Es ist daher anzunehmen, daß die Steuerung der Elektronenstrahlen auf große Schwierigkeiten stößt.

Leichter zu verwirklichen ist es, wenn diese beschriebene Entzerrung durch eine mechanische Bewegung der Linsen und Filmträger unterstützt wird. Letzteres ist ein bekanntes photogrammetrisches Konzept, verwirklicht z. B. im Orthophotoskop des B8-Stereomat, im Analytical Plotter AS-11 C und im System von Hobrough.

Eine weitere Methode der Entzerrung ist die Bildtransformation auf digitalem Wege [4]. Das ursprüngliche Bild wird digitalisiert, so daß jeder Bildpunkt mittels dreier Koordinaten, zweier für die geometrische Lage und einer für die Intensität, digital festliegt. Das korrigierte Bild wird mit Hilfe eines Laserbildners (LBIR = Laser Beam Image Reproducer) erzeugt.

4. Kompensation der Verzerrungen während der Aufnahme (on-line)

Verzerrungen können auch schon während der Aufnahme verhindert werden; dies mit Hilfe von Stabilisierung, optisch-mechanischer und elektronischer Kompensation.

Gyroskopisch stabilisiert muß im SLAR-System die Antenne, im IRLS-System die Abtasteinrichtung werden. Geometrisch ist es dabei belanglos, ob die gemessenen Werte des φ , ω , κ nur für eine off-line Entzerrung registriert oder aber direkt zur Stabilisierung verwendet werden. Doch ist der Informationsverlust im Bild bei nichtstabilisierter Aufnahme, vor allem wegen der Wirkung des κ , durch Entzerrung nicht mehr gutzumachen.

Elektronische Kompensation ist möglich, wenn eine Kathodenstrahlröhre zur Bildformung verwendet wird (Bild 7). Der Elektronenstrahl in der Röhre muß nach solchen Gesetzen über den Schirm der Röhre streichen, daß jede Verzerrung kompensiert wird. Diese Methode wird bis jetzt nur zur Eliminierung des systematischen Fehlers des SLAR (z. B. von Westinghouse) und des IRLS (z. B. von Daedalus) angewandt. Weitere Verwendung zur Kompensation von stochastischen Verzerrungen, z. B. wegen der Plattformbewegungen, wurden wohl schon erwogen, jedoch für noch nicht realisierbar befunden.

Denkbar ist noch die optisch-mechanische Kompensation mit Hilfe sich bewegender Teile der Bildformungseinheit, z. B. des Dove-Prismas und optischen Keiles.

5. Vergleich der Entzerrungs-Prinzipien

Kompensation versus Entzerrung: Kompensation hat gegenüber der späteren Entzerrung den Vorteil, daß die Abbildungen direkt verarbeitet werden können und Informationsverluste, wie

durch α , verhindert werden. Jedoch können Reliefverschiebungen nicht eliminiert werden, da sie zur Zeit der Aufnahme noch unbekannt sind. Überdies können zur Kompensierung keine überschüssigen Beobachtungen verwendet werden.

Optisch-mechanisch versus elektro-optisch: Elektro-optische Verfahren können nicht nur Bilder, sondern auch auf Magnetband gespeicherte Bildinformation verarbeiten. Überdies erlaubt die Zerlegung der Bilder in kleinere Elemente eine genauere Entzerrung, als dies optisch-mechanisch möglich ist. Letztere Verfahren aber ergeben eine genauere Bildübertragung. Dies ist angesichts des geringen Auflösungsvermögens von IRLS und SLAR nicht wesentlich.

Auch andere Argumente für optisch-mechanische Verfahren, wie größere Zuverlässigkeit und leichtere Instandhaltung, sind von sekundärer Bedeutung.

Von den optisch-mechanischen Prinzipien ist jenes mit paraxialem Strahlengang das einfachste und logischste. Dasselbe Argument trifft bei den elektro-optischen Prinzipien auf die direkte elektronische Transformation zu, eventuell unterstützt durch Bewegungen der Filmträger.

6. Schlussfolgerungen

Es wurde gezeigt, wie die Entzerrung von SLAR- und IRLS-Abbildungen möglich ist, sofern die Entzerrungsparameter bekannt sind. Eine derartige Entzerrung geschieht also mit Hilfe von „Einstellendaten“.

Für die Zwecke der Photointerpretation genügt es vielfach, die systematischen Verzerrungen zu eliminieren, am besten elektronisch während der Bildformung.

Zur Ausschaltung der stochastischen Verzerrungen sind eher Instrumente vorzuziehen, die mit elektro-optischer Bildübertragung arbeiten. Hierbei wäre eine universelle Lösung wünschenswert, die sowohl für die konventionelle Differentialentzerrung von Photographien wie auch von SLAR- und IRLS-Aufnahmen verwendbar ist, ein modifiziertes Orthobildgerät also. In diesem Zusammenhang wurde angedeutet, daß selbst Differentialentzerrer mit vollständigem optischem Strahlenbündel entsprechend erweitert werden könnten.

In Zukunft wird die Bildinformation während des Fluges nicht mehr auf Film, sondern auf Magnetbändern oder Kristallen gespeichert werden. Die natürlichste und wirtschaftlichste Lösung zur metrischen Datenverarbeitung stellt dann die unmittelbare elektronische Differentialentzerrung während der Bildformung mit möglichst wenig mechanischen Bewegungen dar.

Ich bin Herrn Dr. MAKAROVIC zu großem Dank verpflichtet für all die Diskussionen und Argumente zu der hier behandelten Problematik.

Zusammenfassung

Der Bericht gibt eine Übersicht und einen Vergleich von Prinzipien, die geeignet erscheinen, zur Analogentzerrung von SLAR- und IRLS-Aufzeichnungen zu dienen.

Summary

The report surveys and compares the principles which appear capable of being applied in an analogue manner to the rectification of SLAR and IRLS imagery.

Résumé

Le rapport donne une vue générale et une comparaison de principes capables de servir au redressement analogique d'images produites par radar à faisceau latéral et d'images I. R. thermiques (IRLS).

Schrifttum

- [1] AID, D. G. et al.: Topological Transformations by Electronic Scanning Techniques, IRE Transactions on Instr., 1956, p. 121—125.
- [2] CRANDALL, C. J.: Advanced Radar Map Compilation Equipment, Phot. Eng., XXIX, 947—955, 1963.
- [3] LEBERL, F.: Metric Properties of Imagery Produced by Side Looking Airborne Radar and Infrared Linescan Systems, Symp. Komm. IV, I.S.P., Delft, 1970.
- [4] WOOD, P.: Television from Space, Phot. Eng. XXXVI, 141—150, 1970.