

Die automatische Punktübertragung bei der Aero-
triangulation an analytischen Auswertegeräten
Yang-cheng LIAO
Institut of Photogrammetry, Cheng Kung University
Taiwan, Republic of China
Comission III

1 EINLEITUNG UND ZIELSETZUNG:

Durch den Einsatz der Computertechnik wurde es möglich, universelle aber mechanisch wesentlich einfachere photogrammetrische Auswertesysteme zu entwickeln. Die bekanntlichen projektiven Beziehungen zwischen Bildern und Gelände werden dabei durch simultane Berechnungen realisiert.

Bei einem herkömmlichen photogrammetrischen Verfahren sind folgende Arbeitgänge an photogrammetrischen Auswertegeräten notwendig:

—Zuerst sind zur Überbrückung von pa punktarmer Räumen künstliche Signale durch Punktübertragung zu schaffen.

—Danach erfolgt die Messung der Koordinaten der Paßpunkte und der Verknüpfungspunkte für die Bündelausgleichung.

—Erst nach dieser Ausgleichung kann die eigentliche Modellauswertung erfolgen.

Für die Aerotriangulation ist die Schaffung von Verknüpfungspunkten in paßpunktarmen Räumen ein Problem. Bisher ist es üblich in diesem Fall in den Bildern Punkte künstlich zu schaffen oder gut identifizierbare natürliche Punkte mit einem gravierten Kreis hervorzuheben.

Die Auswahl, Identifizierung, Übertragung und Markierung der Verknüpfungspunkte sind ganz entscheidende Voraussetzungen für die Zuverlässigkeit und Genauigkeit einer Aerotriangulation.

Dieses Vorgehen bringt eine Reihe von Nachteilen mit sich:

A) Es ist ein spezielles Punktübertragungsgerät für die Schaffung von künstlichen Punkten erforderlich.

B) Die Punktübertragung ist ein zusätzlicher Meßvorgang. Damit ist die Punktübertragung nicht nur eine zusätzliche Arbeit, sondern auch noch eine zusätzliche Fehlerquelle.

C) Durch die Gravur der künstliche Punkte, wird die Emulsion beschädigt. Korrekturen bei Meßfehlern sind ausgeschlossen.

Bei der Verwendung eines analytischen Auswertegerätes, könnten alle diese genannten Nachteilen entfallen. Die Punktübertragung findet im Auswertegerät selbst statt. Sie ist kein gesonderter Meßvorgang, sondern wird bei der Koordinatenmessung nebenbei mit erledigt. Sie verursacht also keine zusätzliche Arbeit, sondern es ist im Gegenteil so, daß die Punktübertragung durch das automatische Anfahren der Punkte aus dem vorhergehenden Modell noch beschleunigt wird /3/. Es finden auch keine Markierungen statt, die photographische Schicht wird nicht verletzt. Dadurch wird der Stereoeffekt nicht gestört und es kann ohne Beeinträchtigung gemessen werden.

Die vielseitige Software von analytischen Plotter bietet nicht nur die gleichen Anwendungsmöglichkeiten herkömmlicher Auswertegeräte, sondern zusätzliche Leistungen. Damit werden die photogrammetrischen Verfahren nicht nur bequemer und schneller gemacht, (z.B. halbautomatische Orientierungen, Anfahren von Punkten nach Koordinaten), sondern in vielen Fällen bestimmte Vorgehensweisen erst ermöglicht (z.B. on-line Punktübertragung ohne das Speichermedium - Bild - zu verändern).

Um den Benutzer nicht durch die vielfältigen Anwendungsmöglichkeiten des analytischen Plotters zu verwirren, wurde eine spezielle anwendungsorientierte Software entwickelt. Die Erstellung solcher Software am analytischen Plotter AP/C-3 wird in dieser Arbeit vor gestellt.

2 PROGRAMMSYSTEM KOMP2 FÜR DIE AEROTRIANGULATION AM ANALYTISCHEN PLOTTER AP/C-3

Das entwickelte Programmsystem KOMP2 für die Aerotriangulation mit automatischen Punktübertragung am analytischen Plotter AP/C-3 ist eine Zusammenstellung von einzelnen Modulen zu einem Stereokomparator-Programm. Mit diesem Programm läßt sich der Analytische Plotter als Stereokomparator betreiben. Die Möglichkeiten eines normalen Komparators werden vom AP/C-3 jedoch weit übertrroffen.

Das Programmsystem KOMP2 besteht aus einem Steuerungsprogramm und einer Reihe von Unterprogrammen für die verschiedenen Operationen/4/.

Bei der Messung für die Aerotriangulation wird zuerst die innere Orientierung mit dem halbautomatischen Verfahren durchgeführt und danach - ohne gegenseitige Orientierung - sofort die Punktmessung begonnen. Die Punktübertragung ist sowohl von Bild zu Bild als auch von Streifen zu Streifen möglich. Für die Anwendung bei der Messung größerer Blöcke sind verschiedene Verfahrensweisen möglich. Um ein robustes operationelles Verfahren für die Praxis zu entwickeln, wurde ein spezielle Verfahren gewählt (Abb. 1).

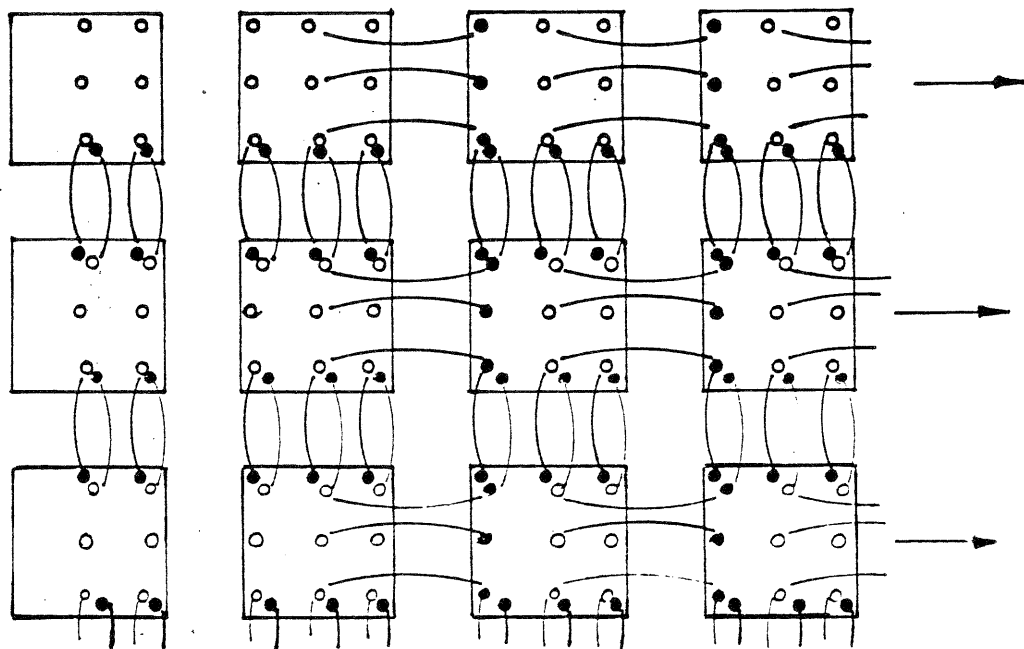


Abb. 1 : Das gewählte Verfahren für die Punktübertragung bei 20% Querüberdeckung

3 VERSUCHE ZUR PUNKTÜBERTRAGUNG AN EINEM TEILBLOCK DAS TESTFELD HORDORF MIT KOMP2

Bevor nun mit der Untersuchungen über die Genauigkeit und Leistungsfähigkeit der analytischen Punktübertragung begonnen werden kann, müssen die Eigenschaften des Analytischen Plotter AP/C-3

bekannt sein. Deshalb folgten eine Reihe von Untersuchungen zur Bestimmung der Größe der Instrumentenfehler sowie der Temperatureinflüsse und Versuche zur Einstellungsgenauigkeit von Meßpunkten/3,4/.

Das Programm KOMP2 wurde an einem Teilblock des Testfeldes Horndorf praktisch erprobt. Dieser Teilblock besteht aus 5 Streifen mit je 10 Bildern. Der mittlere Bildmaßstab beträgt etwa 1:5800. Alle Verknüpfungspunkte sind signalisiert und liegen in der Nähe der Gruberschen-Orientierungspunkte der Modelle.

In der Nähe eines jeden signalisierten Verknüpfungspunktes ist ein natürlicher Verknüpfungspunkte gemessen. Bei der Messung werden die verschiedenen Punktarten über die Punktnummer so kodiert, daß bei der Berechnung einmal die signalisierten Punkte, ein andermal die natürlichen Verknüpfungspunkte für die Verknüpfung der Bilder verwendet werden können. Für die Berechnung wurde das Blockausgleichungsprogramm der Universität Hannover - BLUH - verwendet/2,5/. Als Paß- und Vergleichspunkte stehen neu bestimmte trigonometrische Punkte zur Verfügung, deren Koordinatenabweichungen mit ± 1 cm angegeben sind/8/. Bei der Betrachtung der Ergebnisse der Blockausgleichung werden diese Koordinaten daher als Sollwerte angenommen.

Zuerst wurde die Messung mit dem Verfahren der automatischen Punktübertragung durchgeführt. Die Ergebnisse dieser Messung wurden in drei verschiedenen Rechnungsansätzen verwendet (Abb.2).

Ansatz	Verknüpfungspunkte	Neupunkte
A	signalisierte und natürliche Punkte	-
B	nur signalisierte Punkte	natürliche Punkte
C	natürliche Punkte und signalisierte Paßpunkte	signalisierte Punkte

Abb. 2 : Verschiedene Ansätze für der Berechnungen

Dadurch ist ein unmittelbarer Vergleich der Genauigkeiten der Messungen zwischen den signalisierten und den natürlichen Punkten möglich. Die Blockausgleichungen sind mit 17 Vollpaßpunkten und 11 Höhenpaßpunkten berechnet. Die Ergebnisse sind in Tab. 1 dargestellt.

Ansatz	Anzahl der Photokordinaten	Anzahl der Unbekannten	Anzahl der zusätzl. Parameter	Anzahl der Freiheitsgrade	σ_0 [μm]
A	1536	935	4	601	$\pm 5,04$
B	734	583	9	151	$\pm 4,78$
C	1020	649	5	371	$\pm 5,75$

Tab. 1 : Ergebnisse bei verschiedenen Berechnungsansätze

Betrachtet man zunächst nur die mittleren Gewichtseinheitsfehler σ_0 der einzelnen Berechnung, so erkennt man, daß das Ergebnis mit signalisierten Punkten nicht wesentlich besser ist als

das mit natürlichen Verknüpfungspunkten. Auch bei einem Vergleich der Abweichungen an den Vergleichspunkten zeigen sich bei den Ergebnissen der Berechnungen mit natürlichen Verknüpfungspunkten kaum größere Abweichungen als bei der Benutzung von signalisierten Verknüpfungspunkten. Damit kann festgestellt werden, daß das Verfahren der automatischen Punktübertragung - ohne künstliche Markierungen in der Photoschicht - nur mit natürlichen Verknüpfungspunkten für die Punktmessung zur Bildverknüpfung bei der Aerotriangulation gut geeignet ist.

Um festzustellen welchen Genauigkeitsgewinn man mit der Methode der analytischen automatischen Punktübertragung gegenüber herkömmlichen Meßmethoden erzielen kann, sind alle Bilder noch einmal am AP/C-3 neu gemessen worden. Daher wurde ststt des Programms für die automatische Punktübertragung ein einfaches Komparatorprogramm benutzt, bei dem jeder Punkt in jedem Bild von Hand neu angefahren und eingestellt werden muß. Somit ist ein direkter Vergleich zwischen den Verfahren mit und ohne automatische Punktübertragung möglich (Tab. 2).

Messungsverfahren	σ_0 [μm]	mittl. Abweichungen an Vergleichspunkten [cm]		
		m_x	m_y	m_z
ohne automatische Punktübertragung	$\pm 5,49$	$\pm 3,7$	$\pm 3,2$	$\pm 8,6$
mit automatischer Punktübertragung	$\pm 4,78$	$\pm 2,9$	$\pm 3,4$	$\pm 7,5$

Tab. 2.: Ergebnisse der Blockausgleichungen von verschiedenen Ansätzen

Durch das Ergebnis erkennt man, daß die automatische Punktübertragung selbst bei signalisierten Verknüpfungspunkten noch eine kleine Genauigkeitssteigerung erbringt.

Es besteht weiter die Möglichkeit, einen direkten Vergleich zwischen den Ergebnissen von Blockausgleichungen für dasselbe Testgebiet mit Messungsdaten vom AP/C-3 und vom etwa genaueren PSK durchzuführen. Das Ergebnis der Blockausgleichung mit den PSK-Messungsdaten ist - wie erwartet - deutlich besser als das mit den AP/C-3 Messungsdaten (Tab. 3).

	Anzahl der Paßpunkte		Anz. der Bildkoordinaten	Anz. der Unbekannten	An. der zusätzl. Parameter	Anz. der Freiheitsgrade	σ_0 [μm]
	Vollpaßpunkte	Höhenpaßpunkte					
Messen am PSK	17	11	918	623	4	295	$\pm 3,44$
Messen am AP/C-3 mit autom. Punktübertragung	17	11	734	583	9	151	$\pm 4,78$
Messen am AP/C-3 ohne autom. Punktübertragung	17	11	818	586	9	232	$\pm 5,49$

Tab. 3 : Ergebnisse bei verschiedenen Messungsverfahren

4 ERGEBNISSE UND SCHLUßFOLGERUNGEN

Nach dieser Untersuchung ist folgendes festzustellen:

- 1) Die halbautomatische Punktübertragung mit dem analytischen Plotter ist möglich.

Mit Hilfe der elektronischen Datenverarbeitung hat sich nicht nur das Berechnungsverfahren, sondern auch das Verfahren der photogrammetrischen Arbeiten geändert und weiterentwickelt. Die automatische Punktübertragung ist für die Messung der Aerotriangulation gut geeignet.

- 2) Der analytische Plotter mit dem Punktübertragungsprogramm für das Verfahren der Aerotriangulation ist schneller geworden.

Die Messungszeit für den Teilblock des Testfeldes Hordorf betrug etwa 34 Stunden. Hätte man diese Arbeit am PSK oder an einem konventionellen Auswertegerät durchgeführt, wären allein für die Koordinatenmessungen schon mehr als 52 Stunden erforderlich gewesen (Tab. 4). Hinzu käme noch die Zeit für die Punktübertragung und -markierung.

	Stereokomparator	Konventionelles Auswertegerät	Analytischer Plotter	
			mit halbautomatischer Punktübertragung	
Beobachtung	x',y',x'',y''	x,y,z	x',y',x'',y''	x,y,z
Einlegen der Diapositive	2 min	4 min	2 min	2 min
Messung der Rahmenmarken	8 min	-	4 min	4 min
gegenseitige Orientierung	-	25 min	-	10 min
Kodierung, Aufsuchen, Einstellen, Registrieren	5 min/Pkt.	4 min/Pkt.	1,5 min/Pkt.	1 min/Pkt.
Zeit für 12 Punkte	70 min	77 min	24 min	28 min

$$70 \times 45/60 = 52,5$$

$$24 \times (45 + 40)/60 = 34$$

Tab.4 : Zeitverbrauch pro Modell bei der Aerotriangulation

- 3) Im Vergleich mit anderen Verfahren bringt die Punktübertragung eine Genauigkeitssteigerung.

Aufgrund von Literaturangaben/1,6,7/ ist zu erwarten, daß bei Verwendung von künstlich markierten Punkten für die Verknüpfung der Bilder die σ -werte für 18 Punkte pro Bild um $\pm 7 \mu\text{m}$ ohne Ansatz von zusätzlichen Parametern und um $\pm 6 \mu\text{m}$ mit Ansatz von zusätzlichen Parametern liegen werden. Benutzt man signalisierte Verknüpfungspunkte, so kann man etwa $\pm 3,1 \mu\text{m}$ bzw. $\pm 2,5 \mu\text{m}$ erreichen.

Mit dem Komparatorprogramm KOMP2 am Analytischen Plotter AP/C-3 wurde bei Verwendung von natürlichen Punkten für die Verknüpfung der Bilder, durch halbautomatischen Punktübertragung ohne Markierung künstlicher Punkte mit zusätzlichen Parametern, ein σ -werte von $\pm 5,8 \mu\text{m}$ erreicht.

Dies ist besonders beachtlich, da am Analytischen Plotter AP/C-3 bei Verwendung von signalisierten Verknüpfungspunkten und Ansatz von zusätzlichen Parametern ohne automatische Punktübertragung nur ein σ von $\pm 5,5 \mu\text{m}$ erreicht wurde.

Im Hinblick auf das gezeigte gute Ergebnis der Blockausgleichung mit Daten vom PSK darf erwartet werden, daß bei Verwendung von analytischen Plottern höherer Genauigkeit auch bei der Punktübertragung noch wesentlich bessere Ergebnisse zu erzielen sind.

LITERATUR

- /1/ Ackermann, f., Bettin, r.: An Empirical Accuracy Test on Point Transfer in Aerial Triangulation. Presented Paper, XIV ISP Comm. III Hamburg 1980
- /2/ Jacobsen, k.: Vorschläge zur Konzeption und zur Bearbeitung von Bündelblockausgleichungen. Diss. Universität Hannover 1980
- /3/ Keune, e.: Punktübertragung mit dem Analytischen Plotter AP/C-3. Presented Paper, XIII ISP Comm. III Helsinki 1976

- /4/ Liao, Y.-C.: Untersuchungen über die automatische Punktübertragung bei der Aerotriangulation an analytischen Auswertegeräten. Diss. Universität Hannover 1982
- /5/ Müller, J.: Konzept zur Berechnung großer Bildverbände mit Hilfe der Bündelmethode. DGK B216 1972 München
- /6/ Stark, E.: Ergebnisse einer vergleichenden Aerotriangulation mit Planicom, Mono- und Stereokomparator. BuL 6/1973, S.183-190
- /7/ Sigle, M.: Untersuchungen zur Punktübertragung. 38. Photogrammetrische Woche, Universität Stuttgart 1981
- /8/ Tegeler, W.: Netzverdichtung durch Aerotriangulation. ZfV 1977, S.113ff.