

RECHNERGESTÜTZTE STEREOKARTIERUNG MIT DEM ANALYTISCHEN PLOTTER

Von G. Konecny, Hannover

1. Einleitung

Das Schwerpunktsthema "Rechnergestützte Stereokartierung" auf dieser Photogrammetrischen Woche wäre sicher unvollständig, würde man die Möglichkeiten, die ein Analytischer Plotter bietet außer acht lassen. Allerdings stellt ein Analytischer Plotter, wie jedes andere Auswertegerät erster Ordnung zunächst ein Universalgerät dar, mit welchem nicht nur die Stereokartierung sondern auch andere Möglichkeiten der photogrammetrischen Auswertung, z.B. der Punktmessung der Aerotriangulation oder der Profilabtastung durchgeführt werden können. In diesem Sinn bitte ich also Stereokartierung als Stereoauswertung zu verstehen.

Der Vortrag will zunächst die Bedeutung analytischer Plottersysteme an der historischen Entwicklung aufzeigen, und dann die Möglichkeiten des praktischen Einsatzes diskutieren.

Ein Thema über den Analytischen Plotter ist nicht neu auf den Photogrammetrischen Wochen.

1958 hat Helava die Konzeption dieses Geräts zum erstenmal auf den Photogrammetrischen Wochen in München öffentlich zur Diskussion gestellt, die er kurz zuvor patentiert und publiziert hatte [1].

Damals, vor 17 Jahren sah das Gros der praktizierenden Photogrammeter, darunter auch ich als Hochschulassistent auf den uns noch ungewohnten Formelapparat, mit welchem Helava Modell- in Bildkoordinaten umrechnete. Ja selbst Helava dachte damals noch an die Berechnung dieser Formeln durch elektrische Analogrechner, da die gerade auf den Markt gekommenen Digitalrechner vom Typ IBM 650 und LGP-30 mit Trommelspeicher die erforderliche Koordinatentransformation in Echtzeit, d.h. in den für den Menschen nicht mehr wahrnehmbare Zeit, also etwa 1/15 sek, noch nicht zuließen.

Seither haben sich die technischen Möglichkeiten für die Implementierung des Analytischen Plotters nicht minder stürmisch entwickelt, wie der Bau der Elektronenrechner und das Wachstum der Computerindustrie, wenn auch notgedrungen der Stand der in analytischen Plottern verwendeten Rechner immer um eine Entwicklungsphase von 5 bis 7 Jahren nachhinkt.

Das bekannte Prinzip des Analytischen Plotters ist sehr einfach:

Drehgeber an Handrädern und an der Fußscheibe erzeugen Impulse, welche zu Veränderungen im Rechner gespeicherter Modellkoordinaten aufsummiert werden. Diese werden in Echtzeit umgerechnet in Bild- und Ausgabebischkoordinaten. Diese werden von Stereosystemen in mechanische Verschiebungen von Optik und Zeichenstift ebenfalls in Echtzeit eingestellt. Dabei wird die Genauigkeit der Einstellung durch digitale Codierung überprüft und notfalls laufend verbessert. Ein Analytischer Plotter rechnet also Bildkoordinaten aus Modellkoordinaten. Er unterscheidet sich also grundsätzlich von einem Stereokomparator mit Rechner, als welcher er oft fälschlicherweise bezeichnet wird. Beim Komparator werden Bildkoordinaten gemessen. Durch Anschluß eines Rechners an einen Komparator können die Bildkoordinaten in Modellkoordinaten umgerechnet werden, die dann z.B. nur eine Komponente (nicht 4) wie beim Digital Stereocartograph von Galileo von 1972, die von py nachführen [2].

2. Bestehende Analytische Plotter (siehe Fig. 1)

1963, also 6 Jahre nach der Patentierung der Konzeption, wurden auf dem Analytical Plottersymposium in Ottawa die ersten Gerätetypen vorgestellt:

Helava berichtete über den vom National Research Council in Kanada gemeinsam mit Ottico Mecchanica Italiana erstellten Prototyp AP-1 [3], welcher gleichzeitig mit dem militärischen Gerät AP-2 (AS-11-A) von O.M.I. und Bendix gebaut wurde [4]. 1964, beim Internationalen Kongreß in Lissabon brachte O.M.I. zusammen mit Bendix die zivile Version des AS-11-A, den AP/C auf den Markt [5], [6].

Die zivilen Geräte AP-1 und AP/C beschränkten sich auf die Auswertung genähert senkrechter Luftaufnahmen durch den Operateur. Deshalb konnte eine einfache frontale Betrachtung der Bilder, wie in einem mechanischen Auswertegerät oder einem Stereocomparator erfolgen, und eine Zykluszeit von 1/30 sek konnte für die Berechnung und Ausführung der Koordinatentransformationen in Echtzeit als ausreichend befunden werden. Dies konnte damals erstmalig mit Digitalrechnern bewältigt werden, welche statt des Trommelspeichers, die Speicherung auf magnetostriktiven Verzögerungslinien vorsahen.

Solche Rechner (Packard Bell, Bendix G 15) hatten eine sehr geringe Speicherkapazität (256 Worte pro Linie, 10 Linien maximal). Die Programmierung war nur in Festkomma in Maschinensprache möglich. Sie mußte zudem zeitoptimiert werden, da wie bei der Trommelspeicherung jedes Wort nur nach einer entsprechenden Zykluszeit zur Verfügung stand.

Die militärische Version AP-2 wurde für die mögliche Steuerung durch einen Bildkorrelator vorgesehen, welcher eine Zykluszeit von 1/100 sek für die Echtzeitberechnung erforderte. Eine so rasche Steuerung war damals nur über digitale differentielle Analysatoren als Rechner, die sogenannten DDA's möglich, welche Eingabebitraten in Ausgabebitraten verwandelten.

Ein DDA, welcher die Echtzeitberechnungen durchführte, mußte dann mit einem Digitalrechner gekoppelt werden, welcher die restlichen Berechnungen übernahm. Zusätzlich wurde der AS-11-A mit Rechensteuerungen für die Vergrößerung und die Kernstrahlorientierung einer Zoomoptik versehen. Somit war er zur Auswertung hochauflösender Panoramakameraaufnahmen geeignet.

Die genannten Frühentwicklungen der Analytischen Plottersysteme hatten große Schwächen, die der beschränkten Speicherkapazität und die der umständlichen Programmierung (für das Echtzeitprogramm des AP/C wurden 2 Mannjahre benötigt).

Man hatte also 10 Jahre Echtwicklung gebraucht um herauszufinden, daß die 1958 von Helava prophezeiten Vorteile des analytischen Plotters nicht realisiert worden sind; daß die Analytischen Plotter von 1968 auch nicht mehr leisteten als ein normales Auswertegerät, von den Kosten ganz zu schweigen. Auf den Photogrammetrischen Wochen in Karlsruhe 1969 wurde von einem Versuch an der University of New Brunswick in Kanada berichtet, die Schwierigkeiten des damaligen AP/C durch Bau eines Interface an einen leistungsfähigen Allzweckrechner vom Typ IBM 360/65 zu umgehen [7]. Damit wurde das Problem der beschränkten Speicherkapazität gelöst; allerdings verkomplizierten sich die Programmierungsprobleme durch die Kopplung der Rechner.

Schon 1968, beim Kongreß in Lausanne begann sich jedoch eine neue analytische Plotterentwicklung abzuzeichnen und heute, 18 Jahre nach der Konzeption des Analytischen Plotters muß die Situation ganz anders beurteilt werden: Die technischen Voraussetzungen der Computerhardware haben sich soweit verbessert, daß größere, schnell adressierbare Kernspeicher zur Verfügung stehen; daß daran noch größere Massenspeicher (Magnetplatte) und eine beliebige Konfiguration peripherer Geräte angeschlossen werden können; daß die Rechner mit Gleitkommahardware ausgestattet werden können.

Diese technische Entwicklung wurde mit dem Bau des AS-11-A1 durch Bendix im Jahre 1968 eingeleitet. Der DDA wurde durch den Rechner Bendix 272 mit Kernspeicher ersetzt [8]. Auf dem zivilen Sektor erschien auf dem Internationalen Kongreß in Ottawa der Analytische Plotter AP/C-3 von O.M.I. mit dem Rechner IBM 1130 mit Kernspeicher und Magnetplatte [9]. 1974 wurde von Bendix die sogenannte Bendix Research Facility in Kombination mit einem Rechner PDP 11/20 vorgestellt, die als Plotter U.S. 1 im Jahre 1976 auf den Markt kommen soll [10].

Damit sind von der Hardware her die Voraussetzungen für eine effiziente Programmierung gegeben. Der analytische Plotter kann nunmehr nicht nur für Aufgaben eingesetzt werden, die ein mechanisches oder optisches Gerät auch bewältigt, sondern die Anwendungsmöglichkeiten sind nun der Softwareentwicklung übertragen; eine Entwicklung, die von der Industrie häufig übersehen wird, denn mit der Anwendersoftware steht und fällt für den Praktiker oft ein ganzes System. Kann aber der analytische Plotter für photogrammetrische Aufgaben zur Steigerung der Leistung und Genauigkeit oder für Sonderaufgaben eingesetzt werden, dann steigt sein Wert gegenüber dem konventionellen Auswertegerät enorm.

Die Beurteilung des analytischen Plotters muß noch aus einer dritten Sicht erfolgen, nämlich nach dem Gesichtspunkt der Kostenentwicklung. Wir alle fühlen den Effekt der Weltinflation mit den sich ständig erhöhenden Preisen für Arbeitskraft und für Materialien. Unter den ganz wenigen rückläufigen Preisen finden wir die der Elektronenrechner. In Amerika wird diese Entwicklung gelegentlich bezeichnet als der Trend vom "dough-cost" zum "low-cost" zum "no-cost" computer. In dieser Beziehung nähern wir uns in 1 bis 2 Jahren der Zeit, wo die Entwicklung photogrammetrischer Auswertegeräte nach dem Prinzip des analytischen Plotters nicht mehr teurer zu sein braucht als die konventionellen Auswertegeräte, und das bei verbesserter Leistung, verbesserter Genauigkeit und einer dem Praktiker noch ungewohnten Flexibilität.

Der größte Erfolg des Analytischen Plotters hat sich bis heute auf dem militärischen Sektor in den U.S.A. erwiesen:

Wenn wir an militärische Anwendungen denken, so kommt uns zuerst die Auswertung hochauflösender Panoramenaufnahmen von Flugzeugen, Dronen und Satelliten in den Sinn. Dafür wird der Analytische Plotter auch eingesetzt. Wegen der Möglichkeit in der Berechnung unterschiedliche geometrische Modelle und unterschiedliche Kammerkonstanten und Bildkorrekturen einzugeben kommt er allein für die Auswertung solcher Aufnahmen in Frage. Von Goodyear ist sogar ein spezieller analytischer Plotter für die Auswertung von Radaraufnahmen für die U.S. Armee gebaut worden.

Es ist aber genauso bemerkenswert, daß der analytische Plotter eine dominierende Rolle als Komponente in automatischen Auswertesystemen einnimmt.

Bis zum Internationalen Kongreß von Lausanne 1968 war viel von Bildkorrelatoren die Rede. Ihr Einbau in Analogsysteme (Raytheon-Wild Stereomat B 8, A 2000, Itek-Zeiss Bildkorrelator) hat nicht den erhofften Markt gefunden.

Dagegen haben die auf einem Analytischen Plotter beruhenden Lösungen eines Bildkorrelationssystems zu erfolgreichem praktischen Einsatz geführt.

Insbesondere ist es die von Bunker-Ramo erstellte Unamace, welche die automatische Produktion von Orthophotos im Topographic Center der Defence Mapping Agency in den U.S.A. seit 1968 übernommen hat |11|.

Aber auch die analytischen Plotter AS-11-B1 mit automatischer Bildkorrelation von Bendix finden zum automatischen Ziehen von Schichtlinien am Aerospace Center der Defence Mapping Agency in den U.S.A. praktische Verwendung |12|.

Neue noch effizientere Geräte nach dem analytischen Plotterprinzip sind bei Bendix (AS-11-BX, TA 3/P1) |13|, |14| und bei den Engineering Topographical Laboratories der U.S. Armee in Entwicklung (AACE).

Schließlich wird diese Entwicklung auch auf dem zivilen Sektor bestätigt: Das Gestalt Orthophotosystem von Hobrough wäre ohne Verwendung der analytischen Plotterprinzipien nicht denkbar |15|.

Demnach kommt dem Analytischen Plotter gerade wegen seiner Automationsfreundlichkeit besondere Bedeutung zu. Sein operationeller Status im Bereich der Automatiön ist 17 Jahre nach seiner Konzeption erwiesen.

Bei der Diskussion der Möglichkeiten des Einsatzes des analytischen Plotters in der Photogrammetrie ist eine Beschränkung auf die heute verfügbaren zivilen Typen des analytischen Plotters und seine möglichen Weiterentwicklungen, den AP/C-3 von O.M.I. - IBM und den US 1 von Bendix empfehlenswert.

Für den Einsatz des Analytischen Plotters ist die Software maßgebend. Sie ist andererseits von der vorhandenen Hardware abhängig:

3. Softwarestruktur des Analytischen Plotters

Der AP/C hat folgende Eingabemöglichkeiten:

1. die Handräder für Echtzeiteingabe von x, y
2. die Fußscheibe für Echtzeiteingabe von z
3. das Veltropolo für die wahlweise Eingabe einer Geschwindigkeit v durch einen Hebel und eines Winkels α durch ein Schaltrad; hieraus kann x, y berechnet werden:

$$x = x_{alt} + v \cdot \sin \alpha$$

$$y = y_{alt} + v \cdot \sin \alpha$$

4. der Inkrementalschalter, welcher bei federgelagerter Drehung nach links oder rechts adressierte Konstanten (Koordinaten, Orientierungselement) in Raten von 0 bis 15 bit verringern oder vergrößern kann.
5. die Schaltknöpfe Clear, Replace, Add welche den an den Nixieröhren angezeigten Speicherwert löschen, durch an Zahlenknöpfen gewählte Werte ersetzen oder vermehren kann.

Durch Anwahl der entsprechenden Schalttasten können:

- a) Koordinaten an den Nixieröhren in Echtzeit angezeigt werden (Bildkoordinaten $x'y'$ links oder $x''y''$ rechts, Modellkoordinaten x, y, z oder Geländekoordinaten X, Y, Z);
- b) ebenso Konstanten (Kammerkonstante c links und rechts, Affinitätsfaktoren c_F links und rechts, Maßstabsfaktoren für den Zeichentisch λ links und rechts, ein α_0 für die Richtungsmessung mit dem Veltropolo und Orientierungskonstante b und d zum Auffinden der Von Gruberschen Punkte bei der gegenseitigen Orientierung); und
- c) Orientierungselemente (die Koordinaten des linken und rechten Projektionszentrums x_0, y_0, z_0 und der Rotationen ϕ, ω, κ).
- d) Außerdem können mit Hilfe der Schalttasten Unterprogramme aufgerufen werden (Innere, gegenseitige und absolute Orientierung in Schritten 1 bis 6 zum Anfahren der Orientierungspunkte und zur Ausführung der Messungen dort, sowie "Compute" zum Beginn der Orientierungsberechnung).
- e) Eine weitere Taste "Initiate" dient zur Einleitung bestimmter Programmoperationen nach einer Messung.
- f) Ein "Tape Read"-knopf ermöglicht das Stanzen bestimmter Werte auf Lochstreifen.
- g) Für die wahlweise Zeichentischausgabe in xy, xz oder yz kann ein Hebel betätigt werden.

Offensichtlich bringt die Vielseitigkeit der Eingriffsmöglichkeiten durch das Schaltpult, welche für den Operateur sehr bequem ist, eine große Komplexität der Programmstruktur, und zwar so daß etwa 80 % des Programmierungsaufwandes auf die Abfrage des Schaltpultes entfällt und nur 20 % auf die eigentliche photogrammetrische Aufgabe.

Die schaltpultorientierte Programmstruktur des AP/C ist umso komplexer, je mehr Querverbindungen zu verschiedenen Programmteilen erforderlich sind.

Eine weitere Komplikation entsteht durch die Echtzeitanforderung der Koordinatentransformation. Zwar sind diese nach den bekannten Kollinearitätsgleichungen sehr einfach:

$$x' = -c \frac{a_{11}(x-x_0) + a_{12}(y-y_0) + a_{13}(z-z_0)}{a_{31}(x-x_0) + a_{32}(y-y_0) + a_{33}(z-z_0)} + \Delta x'$$

$$y' = -c \frac{a_{21}(x-x_0) + a_{22}(y-y_0) + a_{23}(z-z_0)}{a_{31}(x-x_0) + a_{32}(y-y_0) + a_{33}(z-z_0)} + \Delta y'$$

Nur x, y, z braucht in Echtzeit zur Verfügung zu stehen. Die Konstanten a_{11} bis a_{33} , x_0 bis z_0 , c und die Verbesserungsfunktionen $\Delta x'$ und $\Delta y'$ müssen gespeichert zur Verfügung stehen. Ihre Berechnung kann aber nicht in Echtzeit erfolgen.

Die Ausführung der Schaltpultfunktionen und der Bildverbesserungen muß also auf mehrere Echtzeitdurchläufe verteilt werden, so daß sie zumindest alle 1/5 sek ausgeführt werden.

Nur die Orientierungsberechnungen (nicht die Meßschnitte für die Orientierung) können aus dem Echtzeitprogramm in unabhängige Unterprogramme verlagert werden.

Das Echtzeitprogramm hat außer den Transformationen auch noch die Überwachung der Servobitraten zu kontrollieren:

Ein Bildträgerservo für x', y' kann in Inkrementen von $2 \mu\text{m}$ mit einer maximalen Geschwindigkeit von 10 mm/sek und einer maximalen Beschleunigung von 60 mm/sek^2 bewegt werden. Für den Zeichentischservo sind die entsprechenden Werte $8 \mu\text{m}$, 32 mm/sek und 120 mm/sek^2 . Werden diese Raten überschritten, so muß die Ausführung des Befehls in mehreren Echtzeitschritten abgearbeitet werden: die Servobewegung hinkt der Berechnung nach, was weiter nicht stört.

Der Echtzeitzyklus von 32 msek muß nach Ausführung der Berechnungen in der IBM 1130 (z.B. 28 msek) durch eine entsprechend programmierte Wartezeit ergänzt werden, weil dort der Pufferspeicher alle 32 msek einen Hardwaresignaldatenaustausch mit den Gebern xyz und den Servos $x'y'x''y''x_z y_z$ und den Schaltpultanzeigen (insgesamt 34 Worte) vornimmt.

Die Verwendung eines PDP-Rechners kann durch Interruptprogrammierung mit Setzung von Prioritäten für die Echtzeitfunktionen einen vergleichbaren Programmablauf erreichen, ohne daß er vom Programmierer besonders berücksichtigt werden muß.

Die Bendix Research Facility und der U.S.-1 sind noch aus anderem Grund programmierfreundlicher: das Gerät ist auf ein Minimum von Schalttasten beschränkt worden. Die Ein- und Ausgabe der gewünschten Daten erfolgt über ein Datensichtgerät, welches die durch Schreibmaschinentastatur angewählten Daten auf dem Bildschirm der Kathodenstrahlröhre angibt.

Eine solche Arbeitsweise wäre im Prinzip auch auf der IBM 1130 möglich, wenn man die Abfrage und Anzeige vom Schaltpult auf die IBM Schreibmaschine des Rechners umprogrammieren würde. Ist dieser Modus auch programmierfreundlicher, so bietet das Schaltpult doch mehr Komfort für den Operateur.

Wenn der Lernprozeß des Operateurs am Gerät zunächst länger dauert als am konventionellen Auswertegerät, so hat sich das Schaltpult des AP/C für die Praxis doch als ausgesprochen effektiv und bequem erwiesen. Die Steuerfunktion sollte deshalb dem Schaltpult überlassen bleiben. Lediglich die Ein- und Ausgabe von Daten kann effektiver mittels eines Sichtgerätes erfolgen.

Der Nachteil der bisherigen AP/C-Software liegt lediglich darin, daß sie benutzerunfreundlich organisiert worden ist. Dies ist nicht verwunderlich, da sie ursprünglich (in 2 Mannjahren) für einen zeitoptimierten Verzögerungslinienrechner erarbeitet und (in 1 Mannjahr) auf die IBM 1130 übertragen worden ist. Ein bedeutend höherer Programmieraufwand (2 Mannjahre) ist erforderlich, die einzelnen Funktionen des AP/C in modulare Unterprogramme unterteilen zu können, die benutzerfreundlich von Aufgabe zu Aufgabe aneinander geschlossen werden können.

Die modulierte Programmierung hat außerdem den Vorteil, daß sie damit weitgehend rechnerunabhängig und peripherieunabhängig wird. Es ist eine strenge Trennung in hardwareorientierte Steuerungsprogramme, welche in Assembler programmiert werden müssen und in datenorientierte Programme möglich, welche in Compiler (Fortran) erstellbar sind. Dieser Weg wird gegenwärtig am AP/C der T.U. Hannover beschritten; er ist Voraussetzung für neue Anwendungsprogramme, die die Bedeutung des Analytischen Plotters grundlegend verändern können. Zunächst soll jedoch die gegenwärtige Leistung des analytischen Plotters mit der konventioneller Auswertegeräte verglichen werden:

4. Gegenwärtige Leistung des Analytischen Plotters

a) Genauigkeit

Die Servoeinstellung der Bildkoordinaten ist auf 2 μm -Inkrementen möglich. Da der AP/C derzeit noch Drehgeber in Verbindung mit einer Spindel besitzt, ist die erreichbare Genauigkeit vergleichbar mit der eines Spindelstereokomparators von 2 μm Auflösung.

Im Prinzip stünde heute nichts im Wege die Rotationsgeber durch lineare Vorrichtungen (z.B. Interferometer oder Glaskodierungen) zu ersetzen und 1 μm Auflösung zu erreichen. Zudem wäre das Meßprinzip dann unabhängig von der Temperaturabhängigkeit der Meßspindel, welche Ausdehnungen von 8 μm über den Meßbereich erfahren kann. Bei relativer Temperaturkonstanz und Kalibrierungen der Spindeln ist die Beseitigung dieser Effekte durch Korrekturen an c oder $\Delta x'$, bzw. dem Affinitätsfaktor oder $\Delta y'$ möglich. Somit liegt der verbleibende mittlere Koordinatenfehler des AP/C, ermittelt aus Gittermessungen dann unter $\pm 3 \mu\text{m}$. Bei Temperaturkonstanz und entsprechender Spindelkalibrierung mit numerischer Berücksichtigung im Programm müßte es sogar möglich sein die Toleranz von 2 μm einzuhalten.

Das Gerät stellt deshalb den genauesten Stereoauswertegerätetyp dar, welcher die praktisch geforderte Genauigkeit eines modernen Stereokomparators erreicht. Das Gerät kann sowohl Bildkoordinaten als auch Modellkoordinaten registrieren. Folglich ist der AP/C als Datenerfassungsgerät sowohl für Aerotriangulationen, die nach Bündeln, nach Modellen oder Streifen ausgeglichen werden geeignet.

Der Unterschied zum konventionellen Auswertegerät liegt insbesondere darin, daß die analytischen Relationen zwischen Modell- und Bildkoordinaten über ein analytisches Projektionszentrum führen, also nicht mit Fehlern in der Festlegung des Projektionszentrums behaftet sein können. Eine Modellkoordinatenmessung im AP/C entspricht deshalb der Berechnung von Modellkoordinaten aus im Stereokomparator gemessenen Bildkoordinaten.

Dabei soll bemerkt werden, daß die während der Photogrammetrischen Woche erwähnten extrem hohen Bildkoordinatengenauigkeiten von einigen μm im Stereomodell und in der Aerotriangulation natürlich nur für signalisierte Punkte gelten. In der Modellauswertung und in der Aerotriangulation natürlicher bzw. künstlich markierten und übertragener Punkte muß nach wie vor mit Koordinatengenauigkeiten im 20 μm -Bereich gerechnet werden. Für diese Art von Auswertungen bringt weder ein Stereokomparator noch ein Analytischer Plotter bemerkbare Genauigkeitsvorteile gegenüber einem konventionellen Auswertegerät.

b) Korrektur systematischer Bildfehler

Der Hauptvorteil des analytischen Plotters wurde früher in seiner Möglichkeit gesehen konstante (deterministisch-systematische) Bildfehler rechnerisch bei der Bildkoordinatenberechnung zu berücksichtigen.

Bisher können im AP/C - Rechenprogramm folgende Korrekturen angebracht werden:

1. die radiale Verzeichnung nach

$$dc = a_1 r' + a_2 r'^2 + a_3 r'^3 + a_4 r'^4;$$

wobei $r' = \sqrt{x'^2 + y'^2}$ ist.

2. der Filmschrumpf in 2 Richtungen nach:

$$dx' = \frac{x'}{r'} \cdot dc; \quad dy' = \frac{y'}{r'} \cdot dc + y' \cdot cf,$$

3. eine Verschiebung des Rahmenmarkenschnittpunktes vom Symmetriepunkt

4. die Korrektur der Höhen in bezug auf Erdkrümmung

$$dz_1 = \frac{x^2 + y^2}{2R}$$

5. der atmosphärische Refraktionseinfluß auf die Höhe:

$$dz_2 = (A + B \cdot z + C \cdot z^2) (1 + \operatorname{tg}^2 \theta)$$

wobei

A, B und C von der Flughöhe abhängige Konstante darstellen und θ den Blickwinkel bedeutet. dz_2 wird für beide Bilder berechnet.

Im Hinblick auf die heute verfügbare Rechnerkapazität können und sollten diese Bildkorrekturen bei Bedarf in strengere Relationen übergeführt werden.

Der analytische Plotter stellt ein ideales Auswertegerät für die Auswertung von Reseauaufnahmen dar, weil die Reseaukorrekturen vorwegberechnet und als Funktionen im Programm berücksichtigt werden könnten und zwar nachdem die Reseaukreuze genähert automatisch angefahren worden sind.

c) Auswertebereiche

In bezug auf die Bildweite und ein Bildformat kleiner 23 cm bietet der AP/C größte Freizügigkeit vom Überweitwinkel bis zum Schmalwinkel (z.B. RMK 60/23) und von der Reihenmeßkammer bis zur Reseaukasselbladkammer.

Nachdem die Auswertung streng nach Kollinearitätsgleichungen erfolgt, bieten sich bei Schrägaufnahmen keine Rechenschwierigkeiten, wenn die Eingabe der Transformationskonstanten richtig erfolgt. Die richtige Berechnung dieser Konstanten bringt während der Orientierung bei ϕ oder $\omega > 30^\circ$ allerdings wegen der in Festkomma programmierten, durch Reihen ermittelten trigonometrischen Funktionen Schwierigkeiten, die durch Ersatz einiger Unterprogramme behoben werden können.

Für das Sehen nach Kernstrahlen können die Doveprismen des Betrachtungssystems gedreht werden. Bei zur Basis nicht genähert senkrechten Aufnahmen wäre allerdings ein Maßstabsausgleich erforderlich. Dies könnte durch ein Zoomokular bewerkstelligt werden, wenn die Meßmarkengröße in unterschiedlicher Größe erscheinen darf. Sonst muß eine teurere im AS-11-A realisierte optische Lösung verwendet werden.

Die Vergrößerung von Modell zum Zeichentisch ist für praktische Belange unbegrenzt.

d) Sonderauswertungen

Unter den genannten optischen Voraussetzungen ist es möglich eine Reihe von Sonderaufnahmen auszuwerten. Hierzu müssen die für Luftaufnahmen im Programm eingeführten Kollinearitätsgleichungen nur ersetzt werden gegen solche, welche z.B. für terrestrische Aufnahmen Gültigkeit haben (sonst müßte man mit der Fußscheibe Schichtlinien abfahren!); oder in Gleichungen welche den Fall sich überdeckender Multispektralscanneraufnahmen, Radaraufnahmen, oder Aufklärungsaufnahmen mit Panoramen- oder Schlitzverschlußaufnahmen abdecken.

Bei Satellitenaufnahmen vom Typ Landsat und bei Seitwärtssonaraufnahmen ist z.B. eine Stereoauswertung kaum möglich oder sinnvoll. Trotzdem aber kann jeder mathematisch erfaßbare differentielle Entzerrungsvorgang für ein Bild programmiert und am Zeichentisch ausgegeben werden. Hierzu wurde in Hannover der Strahlengang beider Okulare durch ein Aufsatzprisma auf ein Bild gerichtet.

e) Halbautomatische innere, gegenseitige und absolute Orientierung

Der besondere Vorteil des analytischen Plotters liegt in seiner raschen Orientierungsmöglichkeit, und zwar nicht nur wegen der Berechnungsmöglichkeiten sondern vor allem wegen des vorprogrammierten Anfahrens der Orientierungspunkte, welches auf den Operateur weniger ermüdend wirkt.

Auch hier sind alle Möglichkeiten im AP/C bislang noch nicht ausgeschöpft worden:

1. bei der inneren Orientierung wird die genäherte Lage der vorprogrammierten ersten Rahmenmarke angefahren und ihre genaue Lage wird mit dem Inkrementalschalter eingestellt. Auf Tastendruck werden die Koordinaten gespeichert und die nächste Rahmenmarke wird genähert angefahren. Nach Messung aller Marken erfolgt die automatische Berechnung des Rahmenmarkenschnittpunktes als Bezugspunkt für Bild- und Modellkoordinaten, mit der Möglichkeit einer Hauptpunktskorrektur und dessen Einstellung:

$$x_H' = \frac{x_1 + x_3}{2} + x_5 ; \quad y_H' = \frac{y_2 + y_4}{2} + y_5$$

2. bei der gegenseitigen Orientierung werden Von Gruberschen Orientierungspunkte 1 bis 6 vorprogrammiert angefahren. An jedem Punkt besteht die Möglichkeit mit den Handrädern auf eine benachbarte Stelle zu fahren, die sich für die y-Parallaxenbeseitigung mit dem Inkrementalknopf besonders gut eignet. Bei Tastendruck werden Modellkoordinaten und die y-Prallaxe gespeichert. Durch Veränderung der Orientierungselemente um jeweils eine feste Einheit werden auch die Differenzenkoeffizienten der Bildkoordinaten gegenüber den Orientierungselementen an dem Orientierungspunkt numerisch ermittelt. Sie dienen später zur Berechnung und Ausgleichung der gegenseitigen Orientierung.

Dann wird der nächste Punkt automatisch genähert angefahren. Nach Messung aller 6 Punkte können noch weitere von Hand eingestellt und gemessen werden. Auf Druck der Berechnungstaste erfolgt die Orientierungsberechnung mittels aus Differenzenkoeffizienten und Parallaxenwerten aufgebauten linearen Gleichungen, nach welcher die ermittelten Orientierungselemente in den Speicher gebracht werden. Hierauf wird das Modell bei richtiger Messung (der Abwesenheit von Bildfehlern und genügend guten Näherungswerten) durch die nächste Echtzeitberechnung automatisch parallaxenfrei.

Dieser Orientierungsvorgang kann somit in weniger als 10 Minuten abgeschlossen werden.

3. die absolute Orientierung verläuft ebenso einfach. Die Paßpunkte werden von Hand eingestellt. Ihre Geländekoordinaten werden auf den Schaltknöpfen eingestellt und dem Rechner zusammen mit den Modellkoordinaten auf Tastendruck übertragen. Eine entsprechende Taste gibt den Paßpunkttyp an (z.B. Vollpaßpunkt, nur z, oder nur x y). Nach Einstellung aller Punkte erfolgt die Berechnung. Im AP/C wurde dabei eine Iterativlösung programmiert, welche den ersten eingestellten Paßpunkt als Bezugspunkt wählt, als ob er im Schwerpunkt läge. Somit können die Translationen und der Maßstab unabhängig bestimmt und die Rotationen als 3 Parameter ermittelt werden. Die absolute Orientierung dauert somit kaum länger als 5 Minuten.

f) Anfahren von Punkten nach Koordinaten

Ein wesentlicher Vorteil des Analytischen Plotters liegt in seiner Möglichkeit Punkte nach Koordinaten automatisch anzufahren. Dies bezieht sich zunächst auf Modellkoordinaten. Durch einfache Programmierung gilt das gleiche aber auch für Bildkoordinaten oder Geländekoordinaten.

Nachdem Richtungen aus Punktkoordinaten abgeleitet werden können, sind im AP leicht auch polare Absteckungsmaße einstellbar.

Die Anwendungen dieser Möglichkeiten bei der Aerotriangulation, bei der Punktmessung bei der Erfassung eines digitalen Geländemodells nach einem Punktraster, bei der Profilabtastung in beliebigen Richtungen, beim Abfahren von Linien gleicher Neigung, oder bei der Auffindung signalisierter Grenzpunkte nach genähert bekannten Geländekoordinaten sind vielseitig.

g) Zeichentischoperationen

Grundsätzlich ist der Zeichentisch unabhängig als rechnergesteuerter automatischer Koordinatograph einsetzbar. In Abhängigkeit von der Software können Kartenmanuskripte mit Gitterlinien und Paßpunkten automatisch gezeichnet oder geritzt werden.

Zusätzliche Möglichkeiten bietet eine programmierbare Beschriftung.

Natürlich sind die am Kern PG-2 Zeichentisch und dem neuen digitalen Koordinatographen von Zeiss aufgezeigten Möglichkeiten der Verbindung von Punkten bei Häusern und Grenzen in gleicher Weise gegeben.

h) Speichermedien

Wegen der Verwendbarkeit eines Digitalrechners sind auch alle üblichen automationsfreundlichen Registriermedien für einzelne und fortlaufende Punktkoordinaten (Linien, Profile) oder andere Daten zusammen mit speziellen Datencodes möglich. Die Registrierung kann wahlweise je nach Verfügbarkeit peripherer Geräte auf Lochstreifen, Lochkarten, Magnetplatte oder Magnetband erfolgen.

5. Der Einsatz des Analytischen Plotters innerhalb der Aufgaben der Photogrammetrie

Während die Vielseitigkeit des Analytischen Plotters zu einer verwirrenden Anzahl von Anwendungen möglich ist, kann die sinnvolle Verwendung nur dann erfolgen, wenn der Analytische Plotter nicht durch allgemeine sondern durch besondere, anwendungsorientierte Software eingesetzt wird. Bei der Erstellung solcher anwendungsorientierter Software wird derzeit in Hannover auf 3 Gebieten gearbeitet |16|, |17|, |18|:

a) Der Analytische Plotter als Aerotriangulator

Die überwiegende Mehrzahl der Anwender der Aerotriangulation verwendet heute Blockausgleichsprogramme nach Bündeln oder Modellen.

Es steht ebenfalls fest, daß z.B. die Programmsysteme nach Ackermann, Stuttgart; Duane Brown, U.S.A. und Bauer-Müller, Hannover für signalisierte Punkte praktisch Modellgenauigkeit im Gesamtblock erreichen, vorausgesetzt daß sie mit dem Stereokomparator oder mit dem Analytischen Plotter gemessen worden sind. Zum ersten Mal wird deshalb die Aerotriangulation nicht mehr ein Genauigkeitsproblem, sondern ein Meßproblem.

Während es heute möglich ist z.B. 2000 Bilder zusammen auszugleichen, so müssen diese zuerst gemessen werden. Der Analytische Plotter bietet dazu bessere Möglichkeiten als der Stereokomparator oder das Stereoauswertegerät (siehe Fig. 2.). Je nach der zu triangulierenden Punktzahl pro Modell kann die Triangulation 2 bis 4 mal rascher ausgeführt werden als am Stereokomparator und 2.5 bis 3.5 mal rascher als am Stereoauswertegerät.

Dieser Vorteil bietet sich insbesondere durch die Möglichkeit der automatischen Punktübertragung bereits einmal ausgewählter Punkte. Sie werden im nächsten Modell nach bereits vorher registrierten Bildkoordinaten eingestellt |16|, |17|. Die Messung besteht dann nach der gegenseitigen Orientierung lediglich in einer Höheneinstellung, welche $x''y''$ verschiebt und $x'y'$ beläßt. Die Kodierungen für die Punktnummern und ihre $x'y'$ Koordinaten werden aus dem vorigen Bild, falls sie im Überdeckungsbereich liegen, automatisch übertragen und nacheinander eingestellt.

Die Übertragung ist auch von Streifen zu Streifen möglich. Dazu müssen allerdings die sich überdeckenden Querbilder für die Übertragung des jeweils mittleren Übertragungspunktes eingelegt und orientiert werden.

Durch dieses Verfahren ist nicht nur eine Steigerung der Aerotriangulationsgeschwindigkeit zu erwarten. Damit dürfte auch eine Genauigkeitssteigerung gegenüber der normalen Punktübertragung zu erwarten sein, wenn es sich nicht gerade um signalisierte Punkte handelt. Herr Keune beabsichtigt die Resultate in Helsinki vorlegen zu können.

Mit der Steigerung der möglichen Aerotriangulationsgeschwindigkeit ist ein weiterer Vorteil verbunden. Bisher war es von der Messung her unwirtschaftlich für Präzisionsauswertungen Bilder zu verwenden, die sich zu 80 % längs und zu 60 % quer überdecken, obwohl diese zum Teil vorhanden waren (siehe Oberschwaben). Wenn man schon vor der Beseitigungsmöglichkeit systematischer Fehler durch zusätzliche Parameter spricht, so steht auch fest, daß diese bei nur 60 %iger Längs- und 20 %iger Querüberdeckung stark korreliert sind, und bei idealer Punktlage der Von Gruberpunkte in der Regel nicht bestimmt werden können. Die 80 %ige Längs- und die 60 %ige Querüberdeckung verhindert diese Schwierigkeit.

Zudem wird jeder Punkt von 15 statt von 3 Strahlen (entlang der Basis bzw. von 6 an den Bildrändern) bestimmt.

Die Anzahl der Überbestimmungen wächst somit stark an und beseitigt eine der von den Geodäten ständig bekritelte Mangelerscheinung der Standardphotogrammetrie.

b) Der Analytische Plotter als digitales Datenerfassungsgerät

Die Erstellung digitaler Geländemodelle gilt als erstrebenswertes Ziel in der Photogrammetrie. Im Vergleich zu kostspieligen Anhängseln an die konventionellen photogrammetrischen Auswertegeräte besitzt der Analytische Plotter bereits alle notwendigen Komponenten eines digitalen Datenerfassungsgeräts.

So können Höhen an regelmäßigen oder an unregelmäßigen Intervallen registriert werden. Profile können in Entfernungs- oder Zeitintervallen erfaßt werden. Ebenso können Schichtlinien registriert werden, und zwar in Entfernungs-, Zeit- oder Schnittlinienaufzeichnung; oder es können Bruchkanten gekennzeichnet oder abgefahren werden. In bezug auf die Lage können kodierte Punkte oder Linien für ein planimetrisches Geländemodell erhalten werden. Der Zeichentisch, ein Datensichtgerät, oder ein interaktiver Bildschirm können bei der Überprüfung der registrierten Daten während der Datenerfassung eingesetzt werden.

In Hannover werden oder sind z.T. folgende Möglichkeiten der Datenerfassung durch Herrn Rüdener implimentiert [18]:

1. die Registrierung für Punktkoordinaten x, y, z auf Magnetplatte
2. das Anfahren eines regelmäßigen Punktrasters im Modell, wobei der Operateur nur z einstellt
3. die Profilabtastung in Weg- oder Zeitschritten
4. Schichtlinienregistrierung in Weg-, Zeit- oder Δx bzw. Δy Schritten
5. Registrierung von Bruchkanten
6. Anfahren von Geländekoordinaten
7. Registrierung kodierter Linien

Die auf Magnetplatte gespeicherten Daten können später auf Lochstreifen ausgestanzt werden. Durch die Definition einer Schnittstelle sind sie den Interpolationsprogrammen für ein digitales Geländemodell von I.B.M., von Kraus (Wien-Stuttgart) und von Koch (Bonn) zugänglich.

Das digitale Geländemodell kann dann Anwendung finden:

1. für die direkte Errechnung von Massenberechnungen im Verkehrswesen (Querprofile, Volumina, Linienführung)
2. für die automatische Kartierung off-line mit ihren erwarteten Vorteilen:
 - a) einer Erhöhung des möglichen Vergrößerungsverhältnisses Gerät-Zeichentisch auf bis zu 10 x
 - b) der Erhöhung der graphischen Produktion (3 - 10 x schneller)
 - c) der Generalisierung kleinerer Maßstäbe durch den Rechner
 - d) der automatisierten Nachführung.
3. für die Ableitung von Profilen für die rechnergesteuerte Orthophotoproduktion.

An der praxisreifen Implementierung und Bewährung dieser Verfahren muß noch von vielen Seiten ein Beitrag geleistet werden. Immerhin ist es hier die Aufgabe die bestmögliche Datenerfassung mit digital registrierenden photogrammetrischen Auswertegeräten vorzubereiten und zu testen. Die Software des Analytischen Plotters ersetzen hier die teure besondere Hardware und deren Instandhaltung bei Analoggeräten.

c) Der Analytische Plotter als terrestrisches Auswertegerät

Die Vielzahl der Aufnahmemöglichkeiten in der terrestrischen Photogrammetrie (Kammern, Stereokammern, parallele, geneigte, verschwenkte, konvergente Aufnahmen auf Platten, Schnittfilm) für verschiedenartige Aufgaben (Tagebau, Bauwesen, Denkmalspflege, Dokumentation, Polizeiwesen) hat dazu geführt, daß es kaum ein universell einsetzbares, alle Aufnahme Konfigurationen bequem einschließendes Auswertegerät für terrestrische Aufnahmen gibt.

Man hat deshalb versucht die Auswertebedingungen zu vereinfachen, indem man die Aufnahmebedingungen so verkompliziert hat, daß die Aufnahmen in der Regel nur von einem Vermessungsexperten ausführbar waren. Das hat zur Beschränkung in der Anwendung photogrammetrischer Methoden auf möglichen Anwendungsgebieten geführt,

Ein anderer, die Anwendung begünstigender Weg ist möglich, wenn die Aufnahmebedingungen auf ein Minimum reduziert werden können und wenn dafür die kompliziertere Auswertung vom Photogrammeter mit neuen analytischen Hilfsmitteln in Angriff genommen wird.

Handgehaltene Stereoaufnahmen mit einer Reseauamateurkamera auf Film (z.B. Hasselblad MK 70) sind analytisch auswertbar, wenn die Aufnahmekonfiguration in bezug auf Basis-Entfernungsverhältnis, Parallelität der Richtungen (mit nicht zu großer Konvergenz) nur einigermaßen stimmen. Das Reseau der kalibrierten Kammer ermöglicht die analytische Reduktion der Bildfehler der Planlage und der Deformation des Films. Die Orientierungsgrößen müssen aus Paßpunkten abgeleitet werden; bei der Erstellung solcher Punkte ergaben sich in der Praxis bisher Schwierigkeiten. Die terrestrische Photogrammetrie benutzte die Paßpunkte bei genau vermessenen Aufnahmeorten und -richtungen daher mehr als Kontrollpunkte. Das Vermessungsproblem wurde damit aber nicht geringer.

Analytische Methoden erlauben jedoch zusätzliche im Modellraum ermittelbare Bedingungen einzuführen wie die:

1. gerichteter Strecken
2. fester Winkel
3. bekannter Maßstäbe im Raum
4. paralleler Strecken.

Diese zusätzlichen Bedingungen lassen sich im Zusammenhang mit Paßpunktkoordinaten in der Doppelpunkteinschaltung im Raum ausgleichen. Es läßt sich sogar nachweisen, daß (mit beschränkter Genauigkeit) lediglich zwei vertikale, parallele Maßstäbe (z.B. Fluchtstäbe) im Modell ausreichen, um lokale Koordinaten x, y, z eines Objektes im Modell zu bestimmen.

Die Orientierungsverfahren können im Analytischen Plotter programmiert werden. Die Orientierungsgrößen können dann für die Auswertung verwendet werden.

6. Schluß

Die hier dargestellten Möglichkeiten mit der vorhandenen Hardware führen zu dem Schluß, daß es schon heute in der Hand des Photogrammeters und nicht des Geräteherstellers liegt automationsgerechte und benutzerfreundliche Verfahren zu entwickeln. Von der Hardwareseite werden sich, wie bei militärischen Geräten, in der Zukunft noch einige Ergänzungen (z.B. digitale Bildkorrelation) und neue Baumkomponenten ergeben. Aber schon heute bietet allein die Softwareentwicklung große Möglichkeiten. Der Analytische Plotter ist deshalb meiner Ansicht nach das Gerät der Zukunft.

Fig. 1.

Bestehende Analytische Plottersysteme

Typ	Hersteller	Kodier- vorrich- tungen	Servos	Rechner	Kapazität	Verwendung	gesch. Zahl
AP-NRC	NRC/OMI	x,y,z	$\Delta x' \Delta y'$ $\Delta x'' \Delta y''$ $\Delta x_T \Delta y_T$	Packard Bell	5K, 21bit & Magnetband	zivile Forschung	1
AP/C	OMI/Bendix	x,y,z	$x' y' x'' y''$ $x_T y_T$	Bendix	3K, 28bit	zivile Praxis	15+
AP/C-2	OMI/Bendix	x,y,z	$x' y' x'' y''$ $x_T y_T \Delta m' \Delta m''$ $\Delta \theta \Delta \theta$	Bendix	4K, 28bit IBM 360/50 Interface	Forschung	1
AP/C-3	OMI/IBM	x,y,z	$x' y' x'' y''$ $x_T y_T$	IBM 1130	8K, 16bit & Magnet- platte 512K	zivile Praxis	10+
AS-11-A	Bendix/OMI	$\Delta x, \Delta y,$ Δz	$\Delta x' \Delta y' \Delta x''$ $\Delta y'' \Delta \theta' \Delta \theta''$ $\Delta m' \Delta m''$	DDA & Bendix	2.5K	militär.	50+ ?
AS-11-A1	Bendix/OMI	x,y,z	$x' y' x'' y''$ $\Delta \theta' \Delta \theta''$ $\Delta m' \Delta m''$	Bendix 272	8K	militär.	50+ ?

Typ	Hersteller	Kodier- vorrich- tungen	Servos	Rechner	Kapazität	Verwendung	gesch. Zahl
AS-11-BX	Bendix	x,y,z	$x' y' x'' y''$	PDP 11	autom. Bildkorrel.	milit. autom. Kartierung	1 ?
Unamace	Bunker Ramo	2 Tische $x_1, y_1,$ x_2, y_2	2 Tische $x' y' x'' y''$	Bunker Ramo	autom. Bildkorrel.	militär. autom. Kartierung	10+ ?
Gestalt	Hobrough	x,y,z	$x' y'$	Nova	autom. Bildkorrel.	zivile automat. Kartierung	1
Goodyear Radar Resti- tutor	Goodyear	x,y,z	$x' y' x'' y''$			militär. Radar- kartierung	1
Bendix Research Facility (US 1)	Bendix	x,y,z oder $x' y' x'' y''$	$x' y' x'' y''$	PDP 11/20	16K, 16bit	Forschung	1
Bendix TA 3/P1	Bendix	x y z	$x' y' x'' y''$ $x''' y'''$	PDP 15	16K, 18bit	militär. Aerotriang.	3
Galileo DS	Galileo	$x' y' \Delta x''$	$\Delta y'' \Delta x_T \Delta y_T$	Nova		zivile Praxis	1+

Fig. 2.
 Aerotriangulationsaufwand pro Modell

Gerät	Stereokompa- rator	konventionelles Auswertegerät	Analytischer Plotter ohne halb- automatischer Punktübertragung	Analytischer Plotter mit halb- automatischer Punktübertragung
Beobachtung	$x' y' x'' y''$	x, y, z	$x' y' x'' y''$ oder x, y, z	$x' y' x'' y''$ oder 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	10 min
Kodierung, Anfahren, Einstellen, Registrieren	5 min/Pkt.	4 min/Pkt.	3 min/Pkt.	1 min/Pkt.
Zeit für 6 Pkte.	40 min	53 min	34 min	22 min
Zeit für 12 Pkte.	70 min	77 min	52 min	28 min
Zeit für 20 Pkte.	110 min	109 min	76 min	36 min
Zeit für 40 Pkte.	210 min	189 min	136 min	56 min
Bemerkung	Parallaxen- wegstellung an jedem Punkt			automat. Suche, Übertragung außer der ersten Punkt- auswahl

Literatur:

- | 1 | U.V. Helava: "New Principle for Photogrammetric Plotters"
Photogrammetria 1957-58, S. 89-96
- | 2 | Inghilleri et al. "The Galileo D.S. Digital Stereocartograph"
Kommission II, IGP Kongreß, Ottawa 1972
- | 3 | U.V. Helava: "Analytical Plotter"
Canadian Surveyor 1963, S. 131-148
- | 4 | B.S. Lesser: "General Concept of the Analytical Plotter"
Canadian Surveyor 1963, S. 168-182
- | 5 | G. Parenti: "Analysis of the Mechanical-Optical Design of the
Analytical Plotter"
Canadian Surveyor 1963, S. 148-154
- | 6 | E.C. Johnson und V.C. Kamm: "Computer and Programs for the AP/C Analytical
Stereoplotter"
Canadian Surveyor 1963, S. 155-168
- | 7 | G. Konecny: "The Analytical Plotter AP-2C and its Interfacing
with an IBM 360-50 System"
Bildmessung und Luftbildwesen 1968, S. 107-116
- | 8 | V.C. Kamm
A.J. Foland
J.R. van Andreel
L.W. Behr
R.E. Childs: "Design of the BX 272 integrated-circuit control
computer"
IGP Kongreß 1968, Kommission II
- | 9 | J.S. Friedman
S.E. Masry
M.L. Krakiwsky: "The New Analytical Plotter"
Proceedings: Discussions on Man-Machine Interface
in Photogrammetry,
University of New Brunswick, Kanada,
Dept. of Surveying Engineering, 1972, S. 45-63
- | 10 | R.B. Forrest: "Photogrammetric Research Facility"
ASP 1974, St. Louis
- | 11 | S. Bertram: "The Universal Automatic Map Compilation Equipment"
Photogrammetric Engineering 1964
- | 12 | U.V. Helava
A.E. Whiteside
C.W. Matherly: "New Automatic Analytical Stereoplotter"
IGP Kongreß 1968, Kommission II
- | 13 | U.V. Helava
W.E. Chapelle: "Epipolar Scan Correlation"
Bendix Technical Journal, S. 19-23, Bd. 5, 1972
- | 14 | R.H. Seymour
A.E. Whiteside: "A new on-line Computer Assisted Stereocomparator"
ASP 1974, St. Louis
- | 15 | G.L. Hobrough
T.B. Hobrough: "Image Correlator Speed Limits"
Bildmessung und Luftbildwesen 1971, S. 20-24
- | 16 | G. Konecny: "Software Concepts for the Analytical Plotter"
Symposium der Kommission II, IGP, Turin 1974
- | 17 | E. Keune: "Aerotriangulation of the Analytical Plotter"
Symposium Turin 1974
- | 18 | H. Rüdener: "New AP/C-3 Programs"
Symposium Turin 1974

Rechnergestützte Stereokartierung mit dem Analytical Plotter

von G. Konecny, Hannover

Zusammenfassung:

Die Erfindung des Analytischen Plotters durch Helava hat der Praxis der Photogrammetrie ein neuartiges Hilfsmittel geliefert, welches wegen der Entwicklung in der Digitaltechnik in seiner Bedeutung wächst. Die heute verfügbaren Geräte reichen vom AP/C-3 der Firma O.M.I. zu den Systemen mit automatischer Bildkorrelation (AS 11-BX von Bendix, Unamace von Bunker-Ramo, Gestalt von Hobrough). Die Leistung eines Analytischen Plotters wird zunächst von der Hardware (Kernspeicherkapazität, periphere Geräte), aber nicht minder von der Software bestimmt. Während der Vorteil des Analytischen Plotters ursprünglich in der Möglichkeit einer erhöhten Auswertegenauigkeit durch die analytische Korrektur systematischer Bildfehler gesehen wurde und während man bald seine Bedeutung für Sonderauswertungen (militärische Panoramenaufnahmen) erkannte, steigt heute sein Wert durch seine besondere Eignung für die Automation photogrammetrischer Verfahren; zumindest durch ihre Anwendung in Teilschritten: die Halbautomation der Orientierungsvorgänge, das automatische Anfahren von Punkten, die Verwendung automationsfreundlicher Ausgabemedien. Die Leistung des Analytischen Plotters steigt gegenüber konventionellen Geräten, wenn er für bestimmte Aufgaben programmiert wird: z.B. als Aerotriangulator mit halbautomatischer Punktübertragung, als digitales Datenerfassungsgerät und als terrestrisches Auswertegerät, welches besondere Aufnahme- und Objektbedingungen berücksichtigen kann.

Computer-supported stereoplotting with the Analytical Plotter

Abstract

The invention of the Analytical Plotter by Helava has provided practical photogrammetry with a new aid whose importance is constantly growing due to the development of digital techniques. The equipment presently available ranges from the AP/C-3 by O.M.I. to systems with automatic image correlation (AS 11-BX by Bendix, Unamace by Bunker-Ramo and Gestalt by Hobrough). The efficiency of an Analytical Plotter is equally determined by the hardware (core-storage capacity, peripheral equipment) and the software. While the advantage of the Analytical Plotter was originally considered to be the possibility of increased plotting accuracy due to analytical correction of systematic image errors and while its importance for special plotting projects (military panoramic photography) was recognized very soon, its value is presently increasing due to its particular suitability for automating photogrammetric techniques, at least on a step-by-step basis: the semi-automation of orientation processes, the automatic positioning over points, the use of output media susceptible to automation. The efficiency of the Analytical Plotter will increase by comparison with that of conventional equipment if the instrument is programmed for certain specific tasks: for example, as an aerotriangulator with semi-automatic point transfer, as a digital data-acquisition system or as a terrestrial plotter capable of making allowance for special photographic and object conditions.

Restitución estereoscópica a base de computadoras con el Analytical Plotter

Resumen

La invención del Analytical Plotter por Helava ha proporcionado a la práctica fotogramétrica un nuevo auxiliar, cuya importancia está continuamente aumentando debido a los desarrollos de la técnica digital. Los equipos actualmente disponibles van desde el AP/C-3 de la casa O.M.I. hasta los sistemas con correlación automática de la imagen (AS 11-BX de Bendix, Unamace de Bunker-Ramo y Gestalt de Hobrough). El rendimiento de un Analytical Plotter queda determinado primeramente por el hardware (capacidad de la memoria interna, equipos periféricos), pero también por el software. Mientras que la ventaja del Analytical Plotter radicó en una exactitud elevada debido a la corrección analítica de los errores sistemáticos de la imagen y mientras que muy pronto se reconoció su importancia para restituciones especiales (fotos panorámicas para fines militares), actualmente está creciendo su valor debido a su especial utilidad para automatizar los métodos fotogramétricos, por lo menos paso a paso: la semi-automatización de los procesos de orientación, el posicionamiento automático encima de puntos, el empleo de medios de salida susceptibles a la automatización. El rendimiento del Analytical Plotter aumenta en comparación con instrumentos convencionales si se programa para ciertas tareas, por ejemplo, para uso como instrumento aerotriangulador con transporte semi-automático de puntos, como registrador digital de datos y como restituidor terrestre capaz de tener en cuenta condiciones especiales de la fotografía y del objeto.

Stéréorestitution assistée par ordinateur avec l'Analytical Plotter

Résumé

La création de l'Analytical Plotter par Helava a fourni à la pratique de la photogrammétrie un nouvel appareil qui, vu l'essor de la technique digitale, prend de plus en plus d'importance. Les plotters analytiques disponibles à l'heure actuelle s'étendent du modèle AP/C-3 de O.M.I. aux systèmes à corrélation automatique des images (AS 11-BX de Bendix, Unamace de Bunker-Ramo, Gestalt de Hobrough). Le rendement d'un plotter analytique dépend en premier lieu du hardware (capacité de la mémoire à tores magnétiques, unités périphériques), mais pas moins du software. Initialement, on avait considéré comme avantage essentiel du plotter analytique la possibilité d'obtenir une meilleure précision à la restitution par la correction analytique des aberrations systématiques, puis on avait reconnu sa supériorité pour des travaux de restitution spéciaux, p. ex. prises de vue panoramiques militaires. Aujourd'hui, le plotter analytique gagne en signification, du fait qu'il se prête à l'automatisation des méthodes photogramétriques, tout au moins pour leurs phases: opérations d'orientation semi-automatiques, pointé automatique des points, emploi d'unités de sortie automatisables. Le plotter analytique fait preuve de performances qui dépassent celles des appareils conventionnels, lorsqu'il est programmé pour certains travaux, p. ex. comme appareil d'aerotriangulation avec report semi-automatique des points d'appui, comme unité d'acquisition digitale de données ou comme appareil stéréorestituteur terrestre susceptible de s'adapter à des conditions particulières de prise de vue et à la configuration des objets.