

Aerotriangulation mit einer digitalen Still Video Kamera Kodak DCS200

Th. Kersten
Institut für Geodäsie und Photogrammetrie
ETH - Hönggerberg, CH - 8093 Zürich

Zusammenfassung

In diesem Beitrag wird der Einsatz einer digitalen hochauflösenden Still Video Kamera Kodak DCS200 für photogrammetrische Punktbestimmung durch digitale Aerotriangulation vorgestellt. Im Rahmen einer Pilotstudie des Institut für Geodäsie und Photogrammetrie (IGP) der ETH Zürich in Zusammenarbeit mit dem Ingenieurbüro Auer + Clement AG, Chur wurde eine Kodak DCS200 bei einem Bildflug in einem Helikopter über der Gemeinde Urmein (GR) eingesetzt. Der Luftbildverband von 50 Bildern (Bildmassstab 1: 20000, Längs- und Querüberdeckung von 60%) wurde an der Digitalen Photogrammetrischen Station DIPS II des IGP ausgewertet. Die Messungen von 36 signalisierten Punkten in den digitalen Bildern erfolgte durch Least-Squares-Template-Matching. Die Bündelblockausgleichung mit Selbstkalibrierung liefert eine praktische Genauigkeit aus Kontrollpunkten von $s_x = 23$ mm, $s_y = 19$ mm und $s_z = 42$ mm für die signalisierten Punkte, deren Koordinaten als Referenz mit GPS bestimmt wurden.

1. Einleitung

Digitale Techniken der Bildaufnahme und der Bildauswertung haben in der Photogrammetrie in den letzten zehn Jahren zunehmend an Bedeutung gewonnen. Während digitale Kameras heute weitestgehend in Nahbereichsanwendungen wie z.B. in der industriellen Messtechnik oder auch in der Architekturphotogrammetrie eingesetzt werden, verwendet man in der konventionellen Aerotriangulation film-basierte Luftbildkameras, deren hohe Qualität von digitalen Aufnahmesystemen noch nicht erreicht werden. In ersten Versuchen wurden aber schon neue digitale Kameraentwicklungen getestet. U.a. berichten Thom und Jurvillier (1993) über erste Erfahrungen mit einer digitalen Luftbildkamera.

Die digitale Still Video Kamera Kodak DCS200 ist ein flexibles und autonomes Aufnahmesystem, bei dem die digitale Bildaufnahme und Speicherung ohne Verbindung zu einem Rechner erfolgt. Die Handhabung dieser Kamera entspricht einer konventionellen photographischen Kamera. Bisher wurden Still Video Kameras überwiegend in Anwendungen der digitalen Nahbereichsphotogrammetrie eingesetzt. Gerade bei Messaufgaben in der industriellen Fertigung, wie z.B. bei der Qualitätskontrolle und Endmontage im Automobil- (Peipe et al., 1993), Flugzeug- (Fraser und Shortis, 1994) und Schiffsbau (Kersten und Maas, 1994) wurde mit der Kodak DCS200 ein hohes Genauigkeitspotential nachgewiesen. Unter realen Arbeitsbedingungen wurden mit der Kamera Genauigkeiten von 1/20 bis 1/30 des Pixelabstandes erreicht, was einer relativen Genauigkeit von 1: 50000 bis 1: 100000 bezogen auf die Objektdimensionen entspricht. Unter Laborbedingungen konnte mit der DCS200 in einem Bildverband von 150 Bildern sogar eine relative Genauigkeit von 1: 320000 (in X-Koordinate des Objektes) erzielt werden (Keller, 1995). Diese Laboruntersuchungen zeigten aber auch, dass die innere Orientierung der Kamera auch nach kurzen Aufnahmezeiten nicht stabil bleibt, was durch Temperatureinflüsse auf die instabile Befestigung des CCD-Chips in der Kamera verursacht wird (Grün et al., 1995). Diese Problematik sollte bei längeren Aufnahmeperioden berücksichtigt werden, wenn man allerhöchste Genauigkeiten erreichen möchte.

Über den Einsatz einer DCS200 bei einem Bildflug in einem Kleinflugzeug berichten Fraser und Shortis (1995). Ein Luftbildstreifen von 6 DCS200 Bildern (Bildmassstab 1: 40000, Überdeckung 60%) wurde mit einem 28 mm Objektiv aus einer Höhe von 1150 m über einer Kleinstadt in Victoria (Australien) aufgenommen. Ein Stereomodell deckte ein Gebiet von 350 m x 390 m ab. Die Signalisierung der Punkte war $1 \times 1 \text{ m}^2$ gross, was im Bild einer Grösse von 3×3 Pixeln entsprach. Der Streifen wurde an einer Intergraph 6787 ImageStation ausgewertet und die praktische Genauigkeit aus Vergleich mit Kontrollpunkten, die mit GPS bestimmt wurden, betrug 1.7 m in der Lage und in der Höhe.

In einer Pilotstudie des Institut für Geodäsie und Photogrammetrie (IGP) der ETH Zürich in Zusammenarbeit mit dem Ingenieurbüro Auer + Clement AG, Chur wurde eine digitale Still Video Kamera Kodak DCS200 für Luftaufnahmen aus einem Helikopter eingesetzt, um die Funktionalität, die Leistungsfähigkeit und das Genauigkeitspotential der Kamera für photogrammetrische Punktbestimmung durch Aerotriangulation in einem

praktischen Test zu untersuchen. Während des Diplomvermessungskurses der ETH Zürich im August 1995 wurde ein Bildflug über der Gemeinde Urmein am Heinzenberg (GR) durchgeführt, bei dem ein Luftbildverband von 50 digitalen Bildern aufgenommen wurde.

Die eingesetzte Kamera Kodak DCS200 wird in Kapitel 2 vorgestellt. In Abschnitt 3 wird die Signalisierung und der Bildflug beschrieben, während in Kapitel 4 die Ergebnisse der Auswertungen zusammengefasst werden.

2. Digitale Still Video Kamera Kodak DCS200

Für den Bildflug mit dem Helikopter wurde eine Kodak DCS200mi des IGP eingesetzt. Die Kodak DCS200 (Abb. 1) ist eine digitale hochauflösende Still Video Kamera, bei der an Stelle eines Films ein CCD-Chip in die Bildebene eingebaut wurde. Die modifizierte Nikon 8008s enthält einen CCD Sensor (14 x 9.3 mm²) mit 1524 x 1012 Bildelementen der Grösse 9 µm x 9 µm, einen Bildspeicher von 2MByte RAM, eine integrierte 80 MByte grosse Festplatte, auf der 50 unkomprimierte Bilder gespeichert werden können, sowie Batterien und eine Steuereinheit am Rückteil des Kamerakörpers. Die gespeicherten Bilder können über eine SCSI-Schnittstelle auf andere Systeme übertragen werden. Die Kamera wird mit einem Schwarz-weiss oder einem Farbsensor angeboten. In dieser Pilotstudie wurde eine Kamera mit Farbsensor und einem 18 mm Objektiv eingesetzt. Es können jedoch alle Nikon Standardobjektive mit dieser Kamera verwendet werden. Wegen der reduzierten Sensorfläche entspricht der Öffnungswinkel des 18 mm Objektivs einem 45 mm Objektiv einer normalen Spiegelreflexkamera.

Ursprünglich wurde die digitale Still Video Kamera für die Bereiche Präsentationsgraphik und Reprographie entwickelt, doch die DCS200 erfreut sich durch ihre Flexibilität als autonomes Aufnahmesystem und durch ihr Genauigkeitspotential sowie durch den vergleichsweise günstigen Preis von ca. 15000.- FR bei Photogrammetern zunehmender Popularität.



Abb. 1: Kodak DCS200

Kamerakörper	Nikon 8008s
Sensor	1524 x 1012 Full Frame CCD, 14 mm x 9.3 mm, farbig
Frame Grabber	in Kamera
Speicher	50 unkomprimierte Bilder auf Harddisk in der Kamera
Interface	SCSI Anschluss
Software	Adobe Photoshop (Mac) / Aldus Photostyler (PC)
Gewicht	1.7 kg
Stromversorgung	AC Adaptor/Batterien
Objektive	alle Nikkor Objektive, hier: Nikkor 18 mm

Tabelle 1: Technische Daten der DCS200

3. Signalisierung und Bildflug

Als Testgebiet für den Bildflug wurde die Gemeinde Urmein am Heinzenberg ausgewählt. In dem Aufnahmegebiet wurden 36 Punkte gut verteilt signalisiert, die sowohl als Passpunkte als auch als Kontrollpunkte dienen sollten (Abb. 2). Die Signale waren 75 cm x 75 cm grosse und 1 mm dicke PVC-Platten. Die Koordinaten der signalisierten Punkte wurden mit GPS bestimmt. Während der Messkampagnen diente ein Leica Empfänger als Referenzstation und ein zweiter Empfänger arbeitete im "Stop and Go" Modus. Um die Zuverlässigkeit der GPS-Punktbestimmung zu erhöhen, wurden die Messungen mit einer anderen Referenzstation wiederholt. Da bei einigen Punkten nach zwei Messkampagnen die Mehrdeutigkeiten nicht gelöst werden konnten, musste eine dritte Kampagne durchgeführt werden. Ausser bei einem Punkt konnten alle Koordinaten bestimmt werden. Die Genauigkeit für die Koordinaten der signalisierten Punkte lag bei 1.5 cm in der Lage und in der Höhe.



Abb. 2: Signalisierte Punkte im Testgebiet Urmein (als Quadrate nicht massstäblich im Bild gekennzeichnet).
Ausschnitt aus einem UMK-Photo (Aufnahme Auer + Clement AG, Chur)

Die Bildflugdaten sind in Tabelle 2 zusammengefasst. Die Flughöhe über Grund betrug ca. 360 m, was einen Bildmassstab von 1: 20000 ergibt. Der Bildflug wurde mit einem Helikopter der Helibernina durchgeführt und dauerte ohne An- und Abflug ca. 30 Minuten. Es wurden insgesamt 11 Streifen geflogen, davon 9 Streifen mäanderförmig in Nord-Süd-Richtung und 2 Streifen in Ost-West-Richtung. Für die 50 Aufnahmen wurde die Kamera durch den Operateur aus dem Helikopter gehalten.

Beim Bildflug sind folgende Probleme aufgetreten. Wegen des kleinen Streifenabstandes (ca. 50 m) liess sich der Helikopter schwer nach dem Bildflugplan navigieren, wodurch sich die geplante Quer- bzw. auch Längsüberdeckung von 70% schwer einhalten liessen. Die Bildfolge im Streifen ist auch abhängig von der Zeit, die die Kamera zum Laden der Bilder auf die Disk braucht. Der geplante Bildabstand im Streifen konnte somit nicht immer exakt eingehalten werden. Wegen der Helikopterkupe musste die Kamera weit aus dem Helikopter gehalten werden, wodurch keine visuelle Kontrolle des aufgenommenen Gebietes gewährleistet war.

Gebiet	Urmein am Heinzenberg (GR)
Gebietsgrösse	400 m x 400 m
Höhe über Meer	1250 m
Flughöhe über Grund	360 m
Kamera	Kodak DCS200
Bildmassstab	~1: 20000
Längs- u. Querüberdeckung	~60%
Anzahl Streifen	11
Anzahl Bilder (pro Streifen)	50 (3-6)
Flugdatum	4. August 1995, 15:30-16:00 Uhr
Digitale Bilddaten	1512 x 1024 Pixel
Pixelgrösse	9 μm x 9 μm

Tabelle 2: Bildflugdaten << Block Urmein >>

4. Auswertung und Resultate

Die 50 DCS200 Bilder wurden an der Digitalen Photogrammetrischen Station DIPSII (Grün und Beyer, 1990) des IGP halbautomatisch mit Methoden der digitalen Photogrammetrie ausgewertet. Der manuelle Bilddatentransfer von Kameradisk auf eine SUN Arbeitsstation dauerte ungefähr vier Stunden. Für die Auswertung wurden Grauwertbilder der DCS200 verwendet. Abb. 3 zeigt exemplarisch ein Bild der DCS200 aus dem Testgebiet. Die Pixelkoordinaten der signalisierten Punkte in den DCS200 Bildern wurden durch Least-Squares-Template-Matching (Grün, 1985) bestimmt. In Abb. 4 sind zwei abgebildete Signale aus einem DC200 Bild dargestellt. Die PVC-Signale hatten in den Bildern eine Grösse von ca. 4 x 4 Pixeln, die genügend Grauwertinformationen für das Matching lieferten. Um eine Überstrahlung der Signale in den digitalen Bildern gering zu halten, wurden die Aufnahmen leicht unterbelichtet. Die Positionen der Signale im Testgebiet waren für das Template Matching nicht immer ideal gewählt, da unterschiedlicher Hintergrund um das Signal die Genauigkeit der Messungen verschlechtert. Zur besseren Verknüpfung der Bilder wurden auch natürliche Punkte ausgewählt, die durch Least-Squares-Image-Matching gemessen wurden. Alle Messungen in den 50 Bildern konnten innerhalb eines Tages



Abb. 3: Grauwertbild der Kodak DCS200

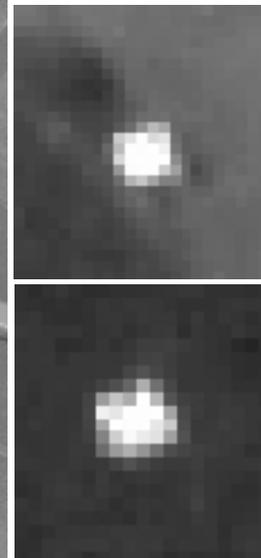


Abb. 4: Signale im Kodak DCS200 Bild

durchgeführt werden, wobei in mehreren Bildern - meistens 3-4 Bilder - gleichzeitig gemessen wurde. Die gemessenen Pixelkoordinaten wurden in einer Bündelblockausgleichung mit Selbstkalibrierung ausgeglichen. Systematische Fehler wurden in der Ausgleichung durch einen Satz von neun zusätzlichen Parametern (Brown, 1971) kompensiert. Der Parametersatz beinhaltet die Lage des Bildhauptpunktes, die Kammerkonstante, einen Massstabsfaktor in horizontaler Bildkoordinatenrichtung, eine Scherung sowie drei Verzeichnungsparameter.

Die Ergebnisse der Bündelblockausgleichungen für den Block Urmein sind in Tabelle 3 zusammengefasst.

V	PP	B	S	ZP	KP	σ_0 [μm]	Theoretische Genauigkeit aus der Ausgleichung			Praktische Genauigkeit aus Vergleich mit Kontrollpunkten		
							Objektraum [mm]			Objektraum [mm]		
							σ_X	σ_Y	σ_Z	μ_X	μ_Y	μ_Z
1	5	50	4.9	6	30	0.71	16	17	64	23	18	47
2	8	50	4.9	6	27	0.71	15	16	58	23	20	44
3	5	46	9.8	7	30	0.56	10	11	37	21	19	46
4	8	46	9.8	7	27	0.56	9	9	26	23	19	42

V.....Version	KP.....Anzahl der Kontrollpunkte
PP.....Anzahl der Passpunkte	σ_0Standardabw. der Gewichtseinheit aposteriori
B.....Anzahl der Bilder	σ_{XYZ} ...Theoretische Genauigkeit im Objektraum
S.....Anzahl Strahlen pro Punkt	μ_{XYZ} ...Empirische Genauigkeit im Objektraum
ZP.....Anzahl der Zusatzparameter	

Tabelle 3: Ergebnisse der Bündelausgleichungen mit Selbstkalibrierung << Block Urmein >>

Bei der Ausgleichung wurde durch Lagerung auf fünf bzw. acht Passpunkten ein redundantes Datum verwendet. Die Standardabweichungen aposteriori aus den Bündelausgleichungen lagen bei 0.6 μm , was ungefähr 1/15 des Pixelabstandes in der Kamera entspricht. In Tabelle 3 stehen den empirisch (aus Kontrollpunkten) ermittelten Genauigkeitsmassen μ_{XYZ} die aus der Inversion der Normalgleichungen berechneten Genauigkeitsmasse σ_{XYZ} gegenüber. Die theoretischen Genauigkeiten sind in der Lage um den Faktor 2 zu optimistisch als die empirischen, während aber beide Genauigkeitsmasse in der Höhe recht gut übereinstimmen. Die erreichte Genauigkeit für die 3-D Punktbestimmung betrug $\mu_X = \mu_Y = 2 \text{ cm}$ bzw. $\mu_Z = 4 \text{ cm}$.

Es wurden Versionen mit (Version 1 und 2) und ohne natürliche Verknüpfungspunkte (Version 3 und 4) gerechnet. Erwartungsgemäss zeigte es sich, dass sich das Ergebnis bei zusätzlicher Verknüpfung der Bilder mit natürlichen Punkten in der theoretischen Genauigkeit verschlechterte (Höhe sogar um Faktor 2), da viele dieser Punkte nur innerhalb des Streifen verknüpften. Andererseits konnten durch die natürlichen Punkte alle Bilder im Verband trianguliert werden, da in vier Bildern nur jeweils zwei Signale zu sehen waren.

Das Testgebiet wurde zusätzlich noch mit einer Universal-Messkammer UMK 10/1318 von Jenoptik (Objektiv 10 cm, Format 13 cm x 18 cm) im Helikopter befliegen. Es wurde ein Streifen von 8 Farbbildern bei einer Überdeckung von 90% aufgenommen. Der Bildmassstab betrug 1: 6300. Die signalisierten Punkte wurden in fünf Bildern am Analytischen Plotter Leica AC3 gemessen. Die Bündelausgleichung mit Selbstkalibrierung lieferte für die Version mit acht Passpunkten folgendes Ergebnis (nur signalisierte Punkte): $\sigma_0 = 3.6 \mu\text{m}$, $\sigma_X = \sigma_Y = 14 \text{ mm}$, $\sigma_Z = 41 \text{ mm}$ und $\mu_X = 24 \text{ mm}$, $\mu_Y = 19 \text{ mm}$, $\mu_Z = 69 \text{ mm}$. Bei zusätzlicher Verknüpfung mit natürlichen Punkten wird die theoretische Genauigkeit auch hier um den Faktor 2 schlechter, während die empirische Genauigkeit sich nicht veränderte.

Im Vergleich zu den Ergebnissen mit der DCS200 ist die Genauigkeit aus Kontrollpunkten in der Lage gleich gut, aber die Höhengengenauigkeit um den Faktor 1.8 schlechter. Es muss jedoch angemerkt werden, dass die Signalisierung für die UMK zu gross und das Blockdesign für 3-D Punktbestimmung nicht ideal waren.

5. Schlussfolgerung und Ausblick

Im Rahmen der beschriebenen Pilotstudie konnte die Kodak DCS200, das Arbeitspferd für photogrammetrische Nahbereichsanwendungen, für photogrammetrische 3-D Punktbestimmung durch Aerotriangulation im praktischen Einsatz getestet werden. Die Kamera hat sich in diesem Test bewährt, doch für einen flexibleren und bedienungsfreundlicheren Einsatz im Helikopter müssten kleine Modifikationen wie z.B. eine schnellere Bildspeicherung vorgenommen werden. Die erzielten Ergebnisse von 2 cm in der X- und Y-Koordinate und 4 cm in der Höhe stellen eine gute Genauigkeit dar, wenn man den Bildmassstab von 1: 20000 bezogen auf die Sensorfläche berücksichtigt. Vergleicht man die erreichten Ergebnisse (1/15 des Pixelabstandes) mit Resultaten anderer Autoren, die von Genauigkeiten bis zu 1/100 des Pixelabstandes in photogrammetrischen Nahbereichsanwendungen berichten, so wird deutlich, dass das Genauigkeitspotential der Kamera in dieser Anwendung nicht ausgeschöpft worden ist. Doch ein wesentlicher Faktor, der die Genauigkeit beeinflusst, ist die Signalisierung. Die Bedingungen für gute Punktsignalisierung (z.B. durch retro-reflektierende Marken) sind in der industriellen Messtechnik bei weitem idealer als in der Aerotriangulation.

Die Vorteile der digitalen Kamera DCS200 sind u.a. die visuelle Kontrolle der Bilder gleich nach der Aufnahme und deren digitale Verarbeitung durch automatische und halbautomatische photogrammetrische Auswertemethoden. Neben der digitalen Aerotriangulation wäre auch eine Verwendung der Bilder zur automatischen Generierung Digitaler Terrainmodelle (DTM) sowie zur Herstellung digitaler Orthophotos, z.B. für kommunale GIS, möglich. Die Einsatzmöglichkeiten von DCS200 Bilder für die Gewinnung von DTMs und digitalen Orthophotos sowie zur Kartierung müssen jedoch noch untersucht werden.

Für einen Bildflug stellt die maximale Anzahl von 50 Bildern bei der DCS200 eine Einschränkung dar. Wesentlich flexibler ist da schon die DCS420, das Nachfolgemodell der DCS200, die auswechselbare PCMCIA-Karten mit 131 MByte Speicherplatz verwendet. Ein weiterer Nachteil ist die lange Aufnahmezeit pro Bild, die bei 3 Sekunden und länger liegen kann. Dadurch kann eine entsprechend geplante Überdeckung in Streifenrichtung nicht immer exakt eingehalten werden.

In naher Zukunft werden weitere digitale Still Video Kameras von verschiedenen Herstellern (Rollei, Kodak, Canon, etc.) auf den Markt kommen. In wie weit diese Kameras dann den photogrammetrischen Anforderungen genügen werden, muss geprüft werden. Der Trend der Entwicklungen sollte aber in Richtung grösserer Auflösung bei gleichzeitig schnellerer Abspeicherung gehen. Mit der DCS460 ist schon eine Kamera erhältlich, die einen doppelt so grossen Sensor wie die DCS200 aufweist. Nur beträgt die Aufnahmezeit bei dieser Kamera laut Hersteller 12 Sekunden. Über eine erste Untersuchung dieser Kamera berichtet Peipe (1995).

Für Ingenieurbüros mit photogrammetrischen Aufgaben bieten digitale Still Video Kameras einen guten und kostengünstigen Einstieg in die digitale Photogrammetrie, um sie als autonome und flexible Aufnahmesysteme mit hohem Genauigkeitspotential für Nahbereichsanwendungen (z.B. industrielle Messtechnik und Architekturphotogrammetrie) und auch für spezielle Anwendungen in der Luftbildphotogrammetrie einzusetzen.

Dank

Der Bildflug mit der Kodak DCS200 im Helikopter wurde in Zusammenarbeit mit dem Ingenieurbüro Auer + Clement AG, Chur durchgeführt. Für die hervorragende Kooperation im Rahmen dieser Pilotstudie bedanke ich mich bei den beteiligten Herren A. Clement, M. Tanner und R. Haltinner des Ingenieurbüros. Mein besonderer Dank gilt den Studenten "Gruppe Heinzenberg" für ihre engagierte Arbeit bei der Signalisierung und bei der GPS-Vermessung des Testgebietes Urmein während des Diplomvermessungskurses der ETH Zürich im August 1995.

Literatur

- Brown, D., 1971:** Close-Range Camera Calibration. *Photogrammetric Engineering*, 37 (8).
- Fraser, C. S., Shortis, M. R., 1994:** Vision Metrology in Industrial Inspection: A Practical Evaluation. *Int. Arch. of Photogrammetry & Remote Sensing*, 30 (5), pp. 87-91.
- Fraser, C. S., Shortis, M. R., 1995:** Metric Exploitation of Still Video Imagery. *Photogrammetric Record*, 15 (85), pp. 107-122.
- Grün, A., 1985.** Adaptive Least Squares Correlation: A Powerful Image Matching Technique. *South African Journal of Photogrammetry, Remote Sensing & Cartography*, 14 (3), pp. 175-187.
- Grün, A., Beyer, H., 1990.** DIPS II - Turning a Standard Computer Workstation into a Digital Photogrammetric Station. *Int. Arch. of Photogrammetry & Remote Sensing*, 28 (2), pp. 247-255 and *ZPF - Zeitschrift für Photogrammetrie & Fernerkundung*, No. 1/91, pp. 2-10.
- Grün, A., Maas, H.-G., Keller, S. A., 1995.** Kodak DCS200 - A Camera for High Accuracy Measurements? *Videometrics IV*, Philadelphia, USA, 23.-26. Oktober.
- Keller, S. A., 1995:** Kalibrierung der hochauflösenden Still Video CCD Kamera Kodak DCS200. Diplomarbeit am Institut für Geodäsie und Photogrammetrie, ETH Zürich.
- Kersten, TH., Maas, H.-G., 1994:** Digital High Resolution Still Video Camera Versus Film-based Camera in Photogrammetric Industrial Metrology. *Int. Arch. of Photogrammetry & Remote Sensing*, 30 (1), pp. 114-121.
- Peipe, J., Schneider, C.-TH., Sinnreich, K., 1993:** Digital Photogrammetric Station DPA - A Measurement System for Close Range Photogrammetry. *Optical 3-D Measurement Techniques II* (Ed. Grün/Kahmen), pp. 292-300.
- Peipe, J., 1995:** Investigation of a 3000 x 2000 Pixel High Resolution Still Video Camera. *Proc. of ISPRS Intercommission Workshop "From Pixels to Sequences"*, Zürich, 22.-24. März, pp. 36-39.
- Thom, C., Jurvillier, L., 1993:** Experiences with a Digital Aerial Camera at Institut Geographique National (France). *Photogrammetric Week '93* (Ed. Fritsch/Hobbie), pp. 73-83.