

Produktionskontrolle im Schiffsbau

Aufgabe:

Beim Bau größerer Schiffe werden häufig komplette Sektionen des Rumpfes in einer Montagehalle aufgebaut und so weit wie möglich ausgerüstet, um dann auf einem Baudock an den bereits bestehenden Teil des Rumpfes angefügt zu werden. Dabei waren in der Vergangenheit aufgrund des Produktionsprozesses häufig zeit- und kostenaufwendige Nachbearbeitungen notwendig. Ziel der hier vorgestellten, 1993 bei Bath Iron Works in Bath/Maine durchgeführten Studie war die Evaluation der Anwendbarkeit und des Genauigkeitspotentials von Verfahren der digitalen Photogrammetrie zur Kontrolle der Maßhaltigkeit der Sektionen.



Abb. 1.: Rumpf auf Baudock, Sektion in Montagehalle

Abb. 1 zeigt eine Ansicht eines in Zusammenbau befindlichen Rumpfes (in Richtung der Hauptachse des Schiffes gesehen) auf einem Baudock sowie die Schnittfläche einer halbfertigen Sektion des Rumpfes mit einer Dimension von etwa 25m x 25m x 12m und einem Gewicht von einigen hundert Tonnen, welche in einer Montagehalle aufgebaut wird und an den Rumpf anzufügen ist. Aufgabe eines photogrammetrischen Meßsystems ist es hier, durch Kontrollmessungen vor dem Zusammenbau und möglichst schon während des Aufbaus der Sektion die Maßhaltigkeit zu gewährleisten und die Notwendigkeit von Nachbearbeitungen weitestgehend zu vermeiden. Die Aufgabe läßt sich reduzieren auf die Bestimmung der 3-D Koordinaten von ca. 30 - 50 Punkten auf jeder Seite des aneinander zu fügenden Vertikalschnittes und zusätzlich einiger weniger Punkte an der horizontalen Schnittstelle, welche anschließend in ein geeignetes gemeinsames Koordinatensystem transformiert werden.

Datenakquisition und -verarbeitung:

Für die Pilotstudie wurden diese Punkte mit retroreflektierenden Zielmarken signalisiert, welche in Abb. 1 teilweise sichtbar sind. Von beiden Schnittstellen wurden mit einer digitalen Stillvideokamera Kodak DCS200 mit 1536 x 1024 Pixeln jeweils ein Bildverband aufgenommen. Eine Stillvideokamera bietet sich hier als flexibles, autonomes und relativ preiswertes Instrument für die Aufnahme digitaler Bilddaten an. Die Datenakquisition hat bei dieser Aufgabenstellung grundsätzlich unter Produktionsbedingungen zu erfolgen. Ein Arbeitsstopp in der Halle für die Zeit der Datenakquisition ist - auch wenn es sich nur um wenige Minuten handelt - völlig unrealistisch. Daher muß mit störenden Effekten wie Vibrationen, Störlichtern, Temperaturgradienten bis hin zur zeitweisen Verdeckung zu messender Punkte gerechnet werden; eine Verdunkelung des Raumes oder andere Maßnahmen zur Optimierung der Beleuchtungssituation sind ebenfalls nicht möglich.

Ein Ringblitz auf der Kamera zusammen mit retroreflektierenden Zielmarken sorgt für quasi-binäre Bilder, in welchen die zu messenden Zielmarken als helle Punkte auf dunklem Grund erscheinen und das eigentliche Objekt nur schemenhaft zu erkennen ist. Die Auswertung der Daten erfolgte im Rahmen der Pilotstudie halbautomatisch, indem zunächst interaktiv in jedem Bild mindestens vier Punkte und jeder Punkt in mindestens zwei Bildern identifiziert wurde. Die Bildkoordinaten der identifizierten Punkte wurden mit Least Squares Template Matching mit Subpixelgenauigkeit bestimmt. Nach einer ersten Bündelblockausgleichung der interaktiv identifizierten Punkte wurden alle weiteren Punkte durch Rückprojektion automatisch detektiert und gemessen. Dieser Verfahrensablauf erschien für die Ziele der Pilotstudie gerechtfertigt; eine volle Automatisierung kann durch die Verwendung codierter Zielmarken realisiert werden.

Resultate:

Im Rahmen der hier vorgestellten Pilotstudie drei Messungen durchgeführt:

Messung	Objekt	Kamera / Objektiv	Aufnahmen/Standpunkte	Bemerkungen
B	Sektion Halle	DCS200, 18mm	19 / 5	
A	Sektion Halle	DCS200, 28mm	32 / 7	
C	Sektion Baudock	DCS200, 28mm	9 / 6	Keine Selbstkalibrierung, Kameraparameter von (B) übernommen

Die Stillvideokamera erwies sich im Laufe der Pilotstudie als sehr flexibles digitales Aufnahmesystem, dessen Handhabung vom Benutzer als sehr angenehm und unkompliziert empfunden wurde. Aufgrund der beengten räumlichen Verhältnisse und Sichtbehinderungen in der Montagehalle mußten einige Kompromisse hinsichtlich der Netzgeometrie akzeptiert werden. So wurden u.a. von einigen Standorten mehrere verschwenkte Aufnahmen von Ausschnitten der Sektion gemacht. Zusätzliche Aufnahmen ergaben sich durch die Notwendigkeit der Selbstkalibrierung. Aufgrund der kleinen Blendenöffnung bei der Belichtungseinstellung für die Abbildung retroreflektierender Zielmarken konnte bei allen Aufnahmen auf Unendlich fokussiert werden.

Die wichtigsten Ergebnisse der Auswertung dieser drei Messungen werden in der folgenden Tabelle zusammengefaßt:

Messung	Gewichtseinheitsfehler [μm]	RMS der Standardabweichungen im Objektraum (X,Y,Z) [mm]
B	0.47	0.52, 1.31, 0.88
A	0.45	0.60, 1.47, 0.45
C	0.49	0.58, 1.92, 1.05

Die Y-Koordinate zeigt dabei in Tiefenrichtung. Der Maßstab wurde durch eine Meßbandmessung bestimmt. Unabhängige Referenzmessungen, beispielsweise mittels eines Theodolitsystems, hätten Eingriffe in den Produktionsprozeß erfordert und wurden im Rahmen der Pilotstudie nicht akzeptiert. Stattdessen wurden lediglich einige zusätzliche Strecken zur Verifikation mit einem Meßband gemessen. Die geringe Anzahl dieser Messungen erlaubt jedoch keine abgesicherte Aussage, so daß lediglich interne Parameter aus der Bündelblockausgleichung zur Beurteilung des Genauigkeitspotentials zur Verfügung stehen.

Der Gewichtseinheitsfehler beträgt etwa $\frac{1}{20}$ Kamerapixel, die Relativgenauigkeit der lateralen Koordinaten (X,Z) beträgt, bezogen auf die Breite der Sektion von ca. 25 Meter, etwa 1 : 40'000. Die ungünstigeren Standardabweichungen in Tiefenrichtung reflektieren die Kompromisse in der Netzkonfiguration. Die erzielten Genauigkeiten im Bild- und Objektraum stellen sicher noch nicht das unter optimalen Einsatzbedingungen erreichbare Genauigkeitspotential dar; bei Verwendung einer Kamera mit höherer Auflösung sowie optimierter Signalisierung und Netzgeometrie lassen sich um einen Faktor drei bis vier bessere Ergebnisse präzisieren. Für die Anwendung im Schiffsbau reicht das erzielte Genauigkeitspotential jedoch aus. Wichtig für den Anwender ist vor allem die kurze Meßzeit vor Ort (ca. 10 Sekunden pro Bild bei Verwendung einer handgehaltenen Stillvideokamera) sowie die schnelle und weitestgehend automatisierbare Auswertung.

Literaturhinweise

Maas, H.-G., Kersten, Th., 1994: Digitale Nahbereichsphotogrammetrie bei der Endmontage im Schiffsbau. ZPF 3/94

Maas, H.-G., Kersten, Th., 1994: Digital close-range photogrammetry for dimensional checking and control in a shipyard. Videometrics III, SPIE Proceedings Series Vol. 2350, pp. 108-114

Kontakt:

Adresse	Prof. Dr. habil. Hans-Gerd Maas Institut für Photogrammetrie und Fernerkundung Technische Universität Dresden Helmholtzstr. 10 D-01062 Dresden		
Tel.:	+49 (0)351 - 4633 2859	Fax:	+49 (0)351 - 4633 7266
E-Mail:	hmaas@rcs.urz.tu-dresden.de		
Internet:	http://rscwww.urz.tu-dresden.de/~hmaas/hg_maas.html		
Adresse	Prof. Thomas Kersten Hochschule für Angewandte Wissenschaften Fachbereich Geomatik Hebebrandstrasse 1 D-22297 Hamburg		
Tel.:	+49 (0)40 428 04 3800	Fax:	+49 (0)40 428 04 3716
E-Mail:	t.kersten@rzcw.fh-hamburg.de		
Internet:	www.haw-hamburg.de/geomatik		