

Schneller und ausdauernder als das menschliche Auge: Modulare Okularkameras am Motortachymeter

More Speed and Better Endurance than the Human Eye: Modular Eyepiece Cameras at the Motorized Total Station

Stefan Hauth, Martin Schlüter, Florian Thiery

Bis zu 62 500 Zielungen pro Sekunde werden derzeit mit einer USB 3.0 Industriekamera am geodätischen Tachymeter erreicht. Exemplarisch betrachten wir die Einsatzmöglichkeiten solcher Systeme für die Erfassung hochfrequenter Schwingungen, stellen aktuelle Grenzen dar und schlagen einen pragmatischen Weg für eine präzise zeitliche Zuordnung der Beobachtungen mithilfe eines GPS-Zeitempfängers vor. Neben hochfrequenten Zielungen erlaubt das am Institut für raumbezogene Informations- und Messtechnik i3mainz entwickelte Konzept MoDiTa – Modulare DigitalkameraTachymeter – ein hochgenaues Monitoring über lange Zeiträume. Mithilfe der modularen Okularkameras und einem Kollimator als Ziel werden die bekannten Verfahren zur automatischen Zielerfassung und Zielverfolgung von Punkten im Raum (wie z.B. ATR) mit der hochgenauen Erfassung absoluter Ausrichtungen im Raum ergänzt.

Schlüsselwörter: Motortachymeter, Okularkamera, USB 3.0, Kollimatorfernrohr, GPS-Zeitempfänger

Up to 62 500 aimings per second are being achieved with a USB 3.0 industrial camera on the geodetic total station. We consider the use of such systems for detecting high-frequency oscillations, depict current limits and propose a pragmatic approach for the precise temporal allocation of the observations with a GPS time receiver. Apart from high-frequency aimings the concept MoDiTa – Modular Digital Camera Total Station – which has been developed at the Institute for Spatial Information and Surveying Technology i3mainz allows a highly accurate monitoring for long periods of time. With the help of the modular eyepiece cameras and a collimator as the target the known procedures for automatic target recognition and tracking of points in space (such as ATR) are supplemented with the high-precision acquisition of absolute orientations in space.

Keywords: Motorized total station, eyepiece camera, USB 3.0, collimator, GPS time receiver

1 MODULARE DIGITALKAMERATACHYMETER

Beim modularen Digitalkameratachymeter (kurz: „MoDiTa“) wird das Standardokular eines Tachymeters über den Bajonettring im Handumdrehen gegen eine digitale Okularkamera ausgetauscht. Mittels einer ergänzenden Optik nimmt die Okularkamera Bilder direkt von der Strichkreuzebene auf, sodass keine Veränderung des optischen Strahlengangs im Fernrohr vorherrscht (Abb. 1). So kann

direkt im Feld zwischen den Betriebsmodi des klassischen Tachymeters und des Digitalkameratachymeters gewechselt werden – mit wenigen Handgriffen. Der strikt modulare Aufbau des Okularkamerasystems ermöglicht den Einsatz beliebiger C-Mount- und CS-Mount-Kameras je nach Aufgabenbereich. Neben der flexiblen Kamerawahl sind mehrere Auflösungen und Vergrößerungsstufen

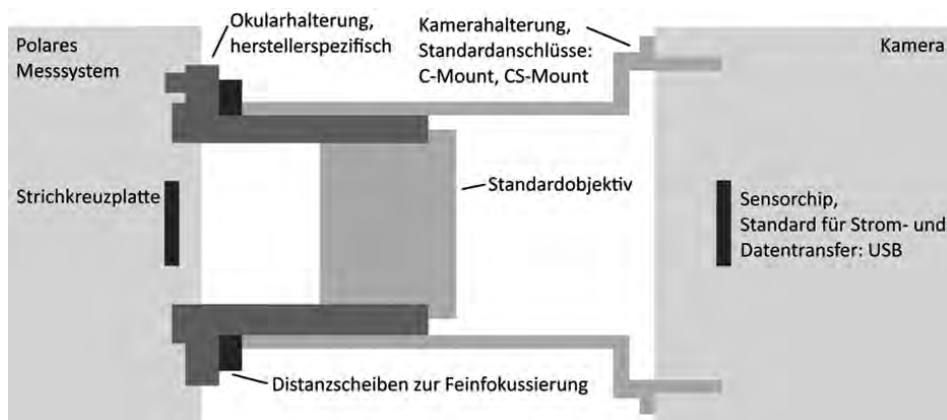


Abb. 1 | Aufbau des Okularkameraadapters

für den Blick auf die Strichkreuzebene realisierbar, indem Objektiv und Abstände geeignet gewählt werden. So kann auch der gesamte Okularkameraadapter einfach an spezielle Anforderungen angepasst werden. Die verwendeten Komponenten bauen auf den aktuell verfügbaren Industriestandards auf, damit werden kostspielige Sonderanfertigungen vermieden. Insgesamt kann das System durch Komponententausch kostengünstig und zeitnah an aktuelle technische Entwicklungen angepasst werden, vgl. /Hauth und Schlüter 2010/. So nutzt /Thiery 2011/ z.B. eine neuartige Hochkontrastkamera (HDR = High Dynamic Range) für Kollimationszielungen gegen einen Tunnellaser.

Mit der Blickfeldkalibrierung lassen sich für jeden Ort im digitalen Bild der Okularkamera die korrespondierenden Horizontal- und Vertikalrichtungen berechnen, ohne dass ein Zielpunkt explizit mit dem Tachymeter angefahren werden muss. Die von /Schlüter et al. 2009/ vorgestellte Methode zur Selbstkalibrierung ist feldtauglich und benötigt je nach Anforderung lediglich ein bis zwei fixe Ziele. Für die zügige Durchführung der automatisierten Selbstkalibrierung ist ein mobiler fokussierbarer Kollimator praktisch (Abb. 2), dabei ist momentan für jede Fokusstellung das Kamerablickfeld zu kalibrieren. Zukünftige Untersuchungen der Kalibrierung im Bezug zu den Fokusstellungen /Wasmeier 2009/, sollen eine Vereinfachung der automatisierten Selbstkalibrierung ermöglichen. So kann die Winkelmessgenauigkeit von aktuellen Tachymetern für das gesamte Kamerablickfeld realisiert werden. Damit eignet sich das System MoDiTa auch für Messungen mit hohen Genauigkeitsanforderungen. /Wasmeier 2009/ zeigt, dass bei Digitalkameratachymetern durch die subpixelgenaue Auswertung eine höhere relative Genauigkeit



Abb. 2 | MoDiTa mit Kollimator als fixes Ziel für die Selbstkalibrierung im Felde

innerhalb eines Messbildes möglich ist, als die eigentliche Teilkreisgenauigkeit des verwendeten Tachymeters. Eine Verifikation der höheren relativen Genauigkeit wird für das System MoDiTa angestrebt.

In diesem Beitrag konzentrieren wir uns auf neue Möglichkeiten durch den sich derzeit etablierenden Übertragungsstandard USB 3.0. Die erreichbaren Datendurchsätze sind gegenüber USB 2.0 um den Faktor 10 gestiegen: So werden mit USB 2.0 bis ~40 MByte/s und mit USB 3.0 bis ~400 MByte/s erreicht /IDS Imaging 2012/. Dadurch sind entsprechend höhere Bildübertragungsraten realisierbar. Exemplarisch setzen wir hier eine USB 3.0-Kamera mit einem CMOS-Sensor des Herstellers e2v in der monochromatischen Variante EV76C560BB mit einer Auflösung von 1280 x 1024 Pixeln ein. Diese Kamera erreicht im Vollbildmodus eine Bildwiederholfrequenz von 60 fps, bei der Vorgabe kleinerer Bildausschnitte sind bis zu 2200 fps möglich und im Einzelzeilenmodus werden bis zu 62500 Zeilen pro Sekunde erreicht.

Als Zeitreferenz wird ein GPS-Empfänger u-blox 6 EVK-6T (Abb. 3) mit einem u-blox 6 Precision Timing GPS-Chip genutzt. Dieser Empfänger kann bereits ab einem empfangenen Satelliten ein präzises Zeitsignal über ein Triggerkabel an die Kamera senden. Laut Hersteller ist die maximale Signalfrequenz 10 MHz, die Zeitsignale liegen in einer – für unsere Anwendungen übergeordneten – Genauigkeitsklasse von 30 ns (99 % < 60 ns).

/Bürki et al. 2011/ wählen eine ähnliche Vorgehensweise für die absolute zeitliche Referenzierung astrogeodätischer Tachymeterzielungen. Hier steht eine präzise Frequenzmessung im Vordergrund.



Abb. 3 | Zeitreferenz u-blox 6 EVK-6T

2 VON ÄUSSERST SCHNELLEN ZIELUNGEN ZUM PERMANENTEN MONITORING

2.1 Tachymeterzielungen mit 62,5 kHz

Die Erfassung von periodischen Bewegungen mit einer sehr hohen Schwingungsfrequenz erfordert vom Messsystem eine hohe Aufnahmegeschwindigkeit. Der schnelle Einzelzeilenmodus *Fast Line Scan* ausgewählter IDS-Imaging-uEye-Modelle ermöglicht das gezielte Auslesen einer bestimmten Zeile von einem Flächensensor (Abb. 4). Die Zeilen werden zu einem *Frame* zusammengefasst und übertragen. Das von uns verwendete Kameramodell fasst stets 1024 Zeilen zu einem *Frame* zusammen. In diesem zusammengefassten Bild entspricht jede Zeile einem neuen Aufnahmezeitpunkt (Abb. 5). Laut Hersteller kann damit eine Aufnahmezeitpunkt von 61 kHz erreicht werden.

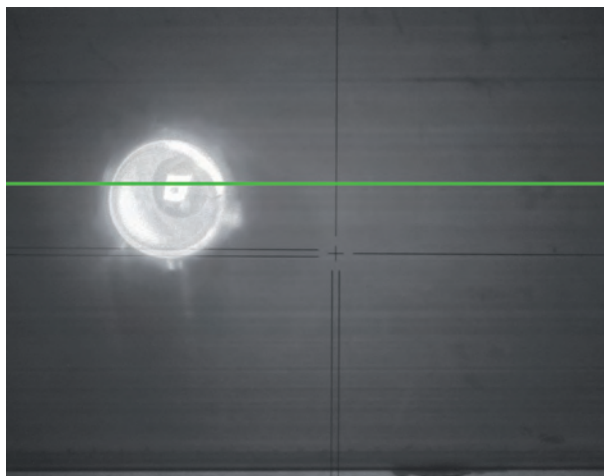


Abb. 4 | Aufnahme einer Leuchtdiode im Vollbild; in grün: Markierung der für Abb. 5 ausgewählten Zeile

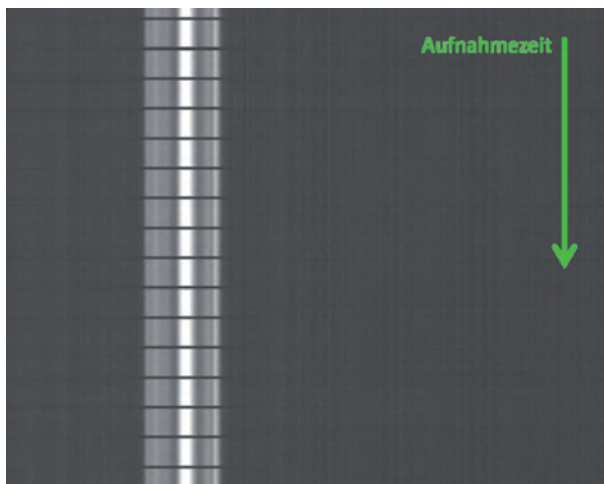


Abb. 5 | Zusammengefasstes Bild einer Aufnahme im schnellen Einzelzeilenmodus: Die LED aus Abb. 4 blinkt hier mit einer Periodendauer von 1 ms mit jeweils 0,9 ms im Zustand „an“ und 0,1 ms im Zustand „aus“

Ein hardwaregetriggertes Aufnehmen im schnellen Einzelzeilenmodus wird aktuell nicht unterstützt. Zur Bestimmung der Aufnahmezeitpunkt im Zeilenmodus wird daher eine periodisch blinkende LED aufgenommen. Die LED ist dabei an dem Triggerausgang des GPS-Empfängers „u-blox 6 EVK-6T“ angeschlossen. Das GPS-Zeit-signal dient als Frequenzgeber für die LED. Die Perioden- und Signaldauer kann in der mitgelieferten Software vorgegeben werden. Die blinkende LED zeigt sich im zusammengefassten Bild als ein Wechsel von hell und dunkel in der Vertikalachse des Bildes (Abb. 5). Zu dem Zeitpunkt, an dem die LED leuchtet, wird diese in der jeweiligen Zeile hell dargestellt. In den dunklen Zeilen ist die LED zu diesem Zeitpunkt aus. Die Hell-Dunkel-Wechsel werden über die Bildverarbeitung subpixelgenau detektiert und zur Berechnung der Aufnahmezeitpunkt genutzt.

Bei ersten Labortests zeigt sich unter gleichbleibenden äußeren Bedingungen bei mehreren Messserien mit unterschiedlichen Perioden- und Signaldauern der GPS-Zeitreferenz eine reproduzierbare Aufnahmezeitpunkt in der Größenordnung von 0,016 ms/Zeile und einer Aufnahmezeitpunkt von 62,5 kHz. Die vorliegenden Testreihen deuten ein äußerst regelmäßiges Aufnahmeverhalten des Sensors an: Die zeitlichen Abweichungen der einzelnen Schaltzeitpunkte pro Frame zum Mittelwert liegen stets in einem Intervall von $\pm 0,005$ ms.

Insgesamt gesehen scheint der geschilderte Prüfaufbau als Kalibrierverfahren für die präzise Frequenzbestimmung am Messort geeignet zu sein. Es empfiehlt sich zur Bestimmung der genauen Aufnahmezeitpunkt, die Kalibrierung sowohl direkt vor als auch nach einer Messung durchzuführen.

2.2 Hochfrequente Aufnahme einer Violinsaite

Für die exemplarische Erfassung von Amplitude und Frequenz einer Schwingung wird eine schwingende Violinsaite mit dem Messsystem MoDiTa aufgenommen. Die Violinsaite ist in einer Halterung eingespannt und wird zur Schwingung angeregt. Das MoDiTa beobachtet die Saite in einem einzelnen Punkt und erfasst die Auslenkung der Saite über den schnellen Einzelzeilenmodus (Abb. 6).

Der Sensor wird in der Okularhalterung so ausgerichtet, dass die Saite in Richtung einer Bildspalte zeigt und die Auslenkung der Saite in Zeilenrichtung erfolgt. Dann stellt sich die zeitabhängige Auslenkung der Violinsaite im schnellen Einzelzeilenmodus als sinusartige Kurve dar (Abb. 7). Die Frequenz der Schwingung wird gemäß der oben diskutierten Kalibrierung der Aufnahmezeitpunkt berechnet. Zur Berechnung des absoluten Betrags der Amplitude werden vorab die Auflagepunkte der Saite mithilfe des EDM vom Tachymeter eingemessen. Die Amplitude folgt dann aus den Parametern einer vorab im Vollbildmodus durchgeführten Blickfeldkalibrierung. Es sei darauf hingewiesen, dass eine Auslenkung der Saite in Blickrichtung des Tachymeters mit einem einzelnen Flächensensor naturgemäß nicht erfasst werden kann.

Der schnelle Einzelzeilenmodus ermöglicht eine sehr hohe regelmäßige Aufnahmezeitpunkt für eine kurze Aufnahmezeitpunkt. Laut Hersteller benötigt die Kamera nach einem Frame eine Pause von 15 Zeilen (entspricht ca. 0,24 ms), bevor die nächsten Zeilen übertragen werden. Eine zeitliche Kalibrierung über mehrere Frames hinweg ist aktuell nicht umgesetzt. Im Gegensatz zum klassischen Einzelzeilensensor ermöglicht die Nutzung des schnellen Einzelzei-

lenmodus eines Flächensensors die einfache und schnelle geometrische Blickfeldkalibrierung des gesamten Sensors im Vollbildmodus.

2.3 Aufnahmen mit Hardwaretrigger

Im getriggerten Betrieb befindet sich die Kamera in einem Wartezustand und startet die Belichtung beim Eingang des Triggerimpulses. Der GPS-Empfänger „u-blox 6 EVK-6T“ dient nun – anders als oben – direkt als Hardwaretrigger, das GPS-Zeitsignal wird direkt als Taktgeber für die Kamera genutzt. Über das Triggersignal lässt sich der komplette Sensor oder ein bestimmter Bereich (AOI - area of interest) auslesen. Die Nutzung eines AOI ermöglicht aktuell eine Aufnahmefrequenz von bis 2200 Hz im getriggerten Betrieb.

Neben der Größe des auszulesenden Bildbereichs beeinflussen auch der eingestellte Pixeltakt und die Belichtungszeit die maximale Aufnahmefrequenz. Die schematische Darstellung in *Abb. 8* zeigt den zeitlichen Ablauf der Entstehung eines Bildes vom Triggersignal bis zur Weiterverarbeitung zunächst ohne Multithreading. Mit dem Eingang des Triggersignals an der Kamera erzeugt diese ein Bild und überträgt es an das angeschlossene Notebook. Die Software empfängt dort das Bild und gibt es an die Weiterverarbeitung. Mit dem Abschluss der Weiterverarbeitung ist die Software wieder in Empfangsbereitschaft und kann ein weiteres Bild entgegennehmen. Überträgt die Kamera in der Zwischenzeit ein weiteres Bild, dann kann dieses nicht empfangen und weiterverarbeitet werden. Die Bildinformationen würden dann verloren gehen.

Bei steigender Aufnahmefrequenz und Dauer der Weiterverarbeitung steigt auch die Gefahr des Verlusts von Bilddaten und beeinflusst somit die Aufnahmegeschwindigkeit signifikant. Zur Weiterverarbeitung gehören das Durchführen von Bildverarbeitungsoperationen, aber auch das Speichern des Bildes in den Arbeitsspeicher oder auf eine Festplatte bzw. SSD. Das Vorhalten der Bilddaten im Arbeitsspeicher ist bei den oben genannten Aufnahmegeschwindigkeiten keine Limitierung für die Aufnahmefrequenz, aber die Schreibgeschwindigkeit auf die Festplatte ist bei aktuell üblichen Notebooks zu gering. Dabei zeigen erste Tests, dass hier nicht nur die Datenmenge, sondern auch die Anzahl der Dateien pro Sekunde einen limitierenden Faktor für den Schreibvorgang auf die Festplatte darstellt.

Um den Einfluss der Weiterverarbeitung auf die Aufnahmegeschwindigkeit zu mindern, wird die Weiterverarbeitung eines Bildes softwareintern in einem neuen Thread gestartet. Threads sind Ausführungsstränge, die von der Software als ein für sich eigenständiger Prozess gehandhabt werden. Je nach Hardware und Entwicklungsumgebung können mehrere Threads parallel von der Software ausgeführt werden (sog. Multithreading). Während die Weiterverarbeitung im Hintergrund durchgeführt wird, kann gleichzeitig ein neues Bild von der Kamera empfangen werden (*Abb. 9*).

Durch Multithreading sind deutlich längere Aufnahmezeiten bei sehr hohen Aufnahmefrequenzen möglich. Ohne Multithreading können die Daten während der Aufnahme nur im Arbeitsspeicher hinterlegt werden. Da dieser aber nur beschränkt Speicherplatz bietet, muss die Aufnahme beendet werden, wenn der Speicher voll ist. Mit Multithreading werden die Bilder, parallel zur Aufnahme, auf die Festplatte gespeichert und danach aus dem Arbeitsspeicher gelöscht. Dieser dient dann nur noch als Puffer und kann mit gleicher Größe längere Aufnahmezeiten realisieren. Mit Multithreading kann im Voll-



Abb. 6 | Erfassung der Schwingung einer Violinsaite mit der Okularkamera am Tachymeter Leica TCRA 1103

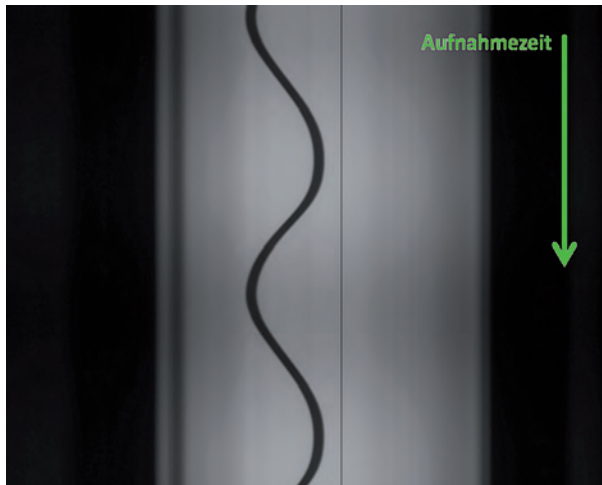


Abb. 7 | Zusammengefasstes Bild von Aufnahmen der schwingenden Violinsaite im schnellen Einzelzeilenmodus

bildmodus die Aufnahmezeit um gut das Doppelte gesteigert werden. Genaue Aufnahmezeiten sind abhängig von der verwendeten Rechnerkonfiguration (Arbeitsspeicher, Festplatte etc.) und der Auslastung des Notebooks während der Aufnahme.

Zur Erfassung von Schwingungen einer Violinsaite wird der Messaufbau wie oben beschrieben verwendet (Abb. 6). Die Aufnahmefrequenz des hier vorgestellten Beispiels beträgt 2000 Hz und der AOI umfasst 1280 x 4 Pixel. Im Gegensatz zum Zeilenmodus werden die Bilder einzeln übertragen. Abb. 10 zeigt die Auslenkung der Violin-

saite als ein nachträglich aus den Einzelbildern zusammengefasstes Bild.

Aus den Bilddaten wird die zeitabhängige Position der Violinsaite mittels Bildverarbeitung erfasst (Abb. 11). Aus einem Best-Fit mit dem Modell der gedämpften Schwingung folgen die Frequenz und die Amplitude der Schwingung. Die absolute Amplitude wird wie beim schnellen Einzelzeilenmodus über die Parameter der Blickfeldkalibrierung und den Abstand vom Tachymeter zur Saite berechnet. Die Saite schwingt in dem hier dargestellten Beispiel mit einer Frequenz von 190 Hz und einer mittleren Amplitude von 2,3 mm.

2.4 Langzeitbeobachtungen

Für die Langzeitbeobachtung einzelner Punkte und primär zur Aufdeckung kleinster Translationen sind mit Lasertrackern für den Nahbereich und motorisierten Präzisionstachymetern für das geodätische Monitoring äußerst leistungsfähige Systeme kommerziell erhältlich. In Verbindung mit der modularen Okularkamera kann das Einsatzspektrum motorisierter Präzisionstachymeter hinsichtlich der vollautomatischen hochgenauen Erfassung kleinster Winkeländerungen bzw. Verschwenkungen erfolgreich erweitert werden, auch über lange Zeiträume. Als eine der ersten Anwendungen beschreibt /Azar 2009/ die Prüfung digitaler Libellen Leica Nivel 210 über ihren vollständigen Messbereich hinweg mit digitalen Präzisionstheodoliten Leica TM5100 in Verbindung mit der modularen Okularkamera.

Abb. 12 illustriert die Vorgehensweise am Beispiel einer Stativprüfung. Das schwarze Fotostativ im Vordergrund wird als Prüfling mit

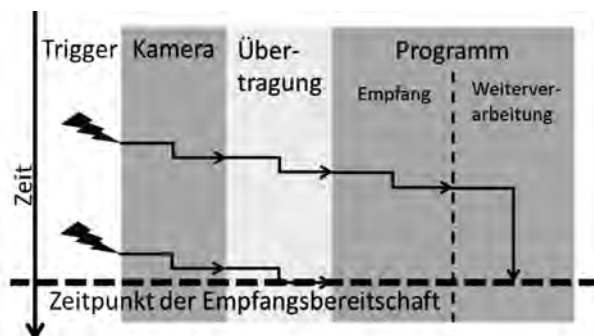


Abb. 8 | Schematischer Ablauf der Verarbeitung von Bilddaten ohne Multithreading

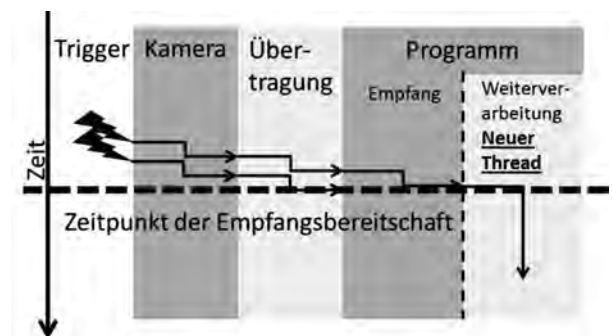


Abb. 9 | Schematischer Ablauf der Verarbeitung von Bilddaten mit Multithreading

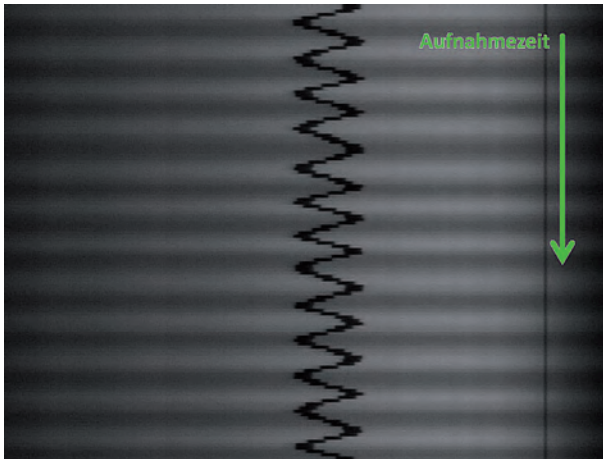


Abb. 10 | Zusammengefasstes Bild von Aufnahmen der schwingenden Violinsaite aus hardwaregetriggert aufgezeichneten Einzelbildern (Ausschnitt)

einem Kollimator stabil verbunden. Eventuelle Verkippungen des Stativkopfs haben eine entsprechende Verkippung des Kollimators zur Folge. Die periodisch durchgeführten Prüfzielungen werden stets in beiden Fernrohrlagen als Winkelmessungen durchgeführt, um eine eventuelle Instrumentenbewegungen von einer Prüfblingsbewegung unterscheiden zu können – aus diesem Grund wird stets auch der im Hintergrund erkennbare Referenzkollimator ergänzend mit angezielt. Eventuell auftretende Bewegungen der Okularkamera werden durch wiederholte Beobachtungen des Strichkreuzes des Messsystems erkannt.

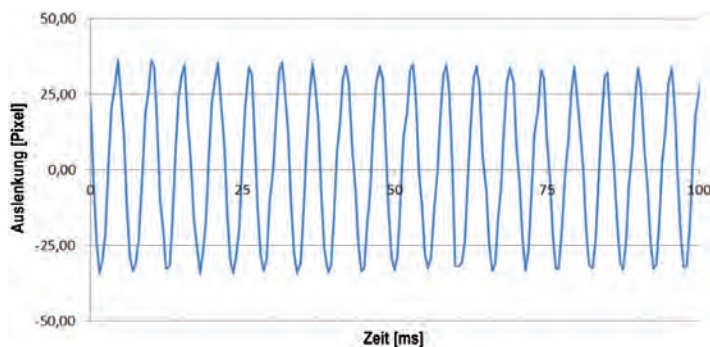


Abb. 11 | Zeitabhängige Position der Violinsaite

Die Fokussierung des Messfernrohrs bleibt bei den Kollimatorzielungen stets auf der Einstellung „unendlich“. Ohne Benutzerinteraktion am Instrument können mit dieser Einstellung ergänzend signalisierte Objektpunkte vollautomatisch mittels ATR gemessen werden, eine Autofokusfunktion für das Messfernrohr wird nicht benötigt. Vielmehr können die Kollimatorfernrohre beliebig nah zum Tachymeter positioniert werden.

In puncto Kollimatoren hat der Anwender je nach Aufgabenstellung die Wahl: Qualitativ hochwertige Modelle sind kommerziell verfügbar, aber auch der kostengünstige Behelf mit einem Industrieobjektiv und einem beleuchteten Strichkreuz aus den gängigen Katalogsortimenten ist möglich. Insgesamt sehen wir den großen Vorteil der vorgestellten Messstrategie darin, dass eine aufwendige Motorisierung der Fokussierung – wie z.B. von /Ullrich et al. 2012/

vorgestellt – auch für komplexe vollautomatische Prüf- und Einrichtvorgänge grundsätzlich nicht erforderlich ist.

3 ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

Das modulare Konzept von MoDiTa ermöglicht den leichten und schnellen Austausch von Komponenten und ist bereits heute in der Lage, die Bandbreite von USB 3.0 für Anwendungen auszuschöpfen. Ein Motortachymeter mit Okularkamera erreicht aktuell im schnellen Einzelzeilenmodus einer CMOS-Kamera eine Aufnahmegeschwindigkeit von bis zu 62,5 kHz. Für absolut getriggerte Aufnahmen mittels GPS-Zeit wird eine Aufnahmefrequenz von bis zu 2200 Hz erzielt.

Anwendungen erwarten wir insbesondere aus dem Bereich der Baudynamik. Die maximal erreichbaren Frequenzen werden dort vielfach nicht ausgeschöpft werden müssen, wobei die hohen Übertragungsraten dann das permanente Beobachten größerer Bildausschnitte ermöglichen.

Neben der hohen Aufnahmegeschwindigkeit wird mit den hier diskutierten Okularkameras in der Regel die vom Instrumentenhersteller im Hinblick auf einen menschlichen Beobachter spezifizierte Winkelmessgenauigkeit erreicht. Dadurch eignet sich das System MoDiTa auch zur Überprüfung und Kalibrierung von Messsystemen und Zubehör.

Die Nutzung von modernen Digitalkameras ermöglicht es dem Beobachter auch solche Bewegungen präzise zu erfassen, die für das menschliche Auge viel zu schnell ablaufen. Aber auch Veränderungen über lange Zeiträume können mit Okularkameras hochgenau erfasst werden und sind durch die Automatisierung wirtschaftlich durchführbar.



Abb. 12 | Messaufbau für die vollautomatische Erfassung der Langzeitstabilität von Stativen

LITERATUR

Azar, E. (2009): Automatisierte Prüfung von digitalen Libellen mit einem Digitalkameratheodolit. Bachelorarbeit (nicht veröffentlicht), FH Mainz.

Bürki, B.; Guillaume, S.; Sorber, P.; Oesch, H.-P. (2011): DAEDALUS: A Versatile Digital Clip-on Measuring System for Total Stations. XXV General Assembly of the International Union of Geodesy and Geophysics, 153-156.

Hauth, S.; Schlüter, M. (2010): Digitalkameratachymeter – Einsatzmöglichkeiten für modulare und integrierte Systeme. 30. Wissenschaftlich-Technische Jahrestagung der DGPF 2010, Publikationen der DGPF, Band 19.

IDS Imaging (2012): USB 3.0 – Hintergründe, Neuerungen und Einsatzmöglichkeiten als Kameraschnittstelle. Whitepaper.

Schlüter, M.; Hauth, S.; Heß, H. (2009): Selbstkalibrierung motorisierter Digitalkameratheodolite für technische Präzisionsmessungen. In: Zeitschrift für Vermessungswesen (zfv), 134(2009)1, 22-28.

Thiery, F. (2011): Eignung aktueller Industriekameras für Modulare Digitalkameratachymeter. Bachelorarbeit (nicht veröffentlicht), FH Mainz.

Ullrich, R.; Knoblach, S.; Möser, M. (2012): Verwendung einer Okularkamera zur Realisierung eines automatisierten geometrischen Alignements. In: allgemeine vermessungs-nachrichten (avn), 119(2012)3, 95-103.

Wasmeier, P. (2009): Grundlagen der Deformationsbestimmung mit Messdaten bildgebender Tachymeter. Deutsche Geodätische Kommission (DGK), Reihe C, Heft Nr. 638, München.

Stefan Hauth M.Sc.

FACHHOCHSCHULE MAINZ UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES
INSTITUT FÜR RAUMBEZOGENE
INFORMATIONSD- UND MESSTECHNIK I3MAINZ

Lucy-Hillebrand-Str. 2 | 55128 Mainz
stefan.hauth@geoinform.fh-mainz.de



Prof. Dr.-Ing. Martin Schlüter

FACHHOCHSCHULE MAINZ UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES
INSTITUT FÜR RAUMBEZOGENE
INFORMATIONSD- UND MESSTECHNIK I3MAINZ

Lucy-Hillebrand-Str. 2 | 55128 Mainz
martin.schlueter@geoinform.fh-mainz.de



Florain Thiery B.Sc.

FACHHOCHSCHULE MAINZ UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES
INSTITUT FÜR RAUMBEZOGENE
INFORMATIONSD- UND MESSTECHNIK I3MAINZ

Lucy-Hillebrand-Str. 2 | 55128 Mainz
florian.thiery@geoinform.fh-mainz.de



Manuskript eingereicht: 26.09.2012 | Im Peer-Review-Verfahren begutachtet