

Möglichkeiten und Einschränkungen des kombinierten Einsatzes digitaler Senkrecht- und Schrägluftbildsensoren in einer Großformatkamera

JENS KREMER¹ & PHILIPP GRIMM¹

Zusammenfassung: Verschiedene Weiterentwicklungen der Auswertelgorithmen und der Computer- und Visualisierungstechnik erlauben die Erzeugung von neuen luftbildbasierten Produkten wie z.B. automatisch erzeugten texturierten Stadtmodellen oder hochauflösenden Schrägluftbildern mit entsprechenden Nutzungsumgebungen. Die dadurch entstehende größere Vielfalt an unterschiedlichen Auswertungs- und Nutzungstechniken stellt sehr verschiedene Anforderungen an das zugrundeliegende Luftbildmaterial und damit auch an die verwendeten Kamerasysteme und Fluggeräte. Aufgrund der sehr verschiedenen Anforderungen kann es keinen optimalen Sensor für alle denkbaren Anwendungen geben. Nichtsdestotrotz kann mit einem modularen Kamerasystem ein sehr weiter Bereich der tatsächlich auftretenden Anforderungen abgedeckt werden.

Neben der Auswahl der Kameramodule sind die variablen Parameter eines solchen Systems die Brennweite der eingesetzten Objektive, die Anzahl der verwendeten Kameras sowie die Ausrichtung der einzelnen Module.

In der Praxis zeigt es sich, dass bei der Auswahl der eingesetzten Kameramodule die Fähigkeiten einer hohen Bildwiederholrate und der Möglichkeit zur Nutzung kurzer Belichtungszeiten besonders wichtig sind.

Bisher ist die sequentielle Erzeugung von Senkrecht- und Schrägluftbildern mit doppelten Flugstunden verbunden, da die Streifenbreite der Nadir-Komponente von Schrägluftbildkameras nicht an die einer Großformatkamera heranreichte.

Es wird eine neue Generation von Kameramodulen vorgestellt. Mit diesen Modulen lässt sich ein Kamerasystem aufbauen, welches eine hohe Streifenbreite im Nadir-Blick mit der Möglichkeit zur Erzeugung von Schrägluftbildern vereint.

1 Einleitung

Verschiedene Weiterentwicklungen der Auswertelgorithmen und der Computer- und Visualisierungstechnik erlauben die Erzeugung von neuen luftbildbasierten Produkten wie z.B. automatisch erzeugten texturierten Stadtmodellen oder hochauflösenden Schrägluftbildern mit entsprechenden Nutzungsumgebungen. Die dadurch entstehende größere Vielfalt an unterschiedlichen Auswertungs- und Nutzungstechniken stellt durchaus sehr verschiedene Anforderungen an das zugrundeliegende Luftbildmaterial und damit auch an die verwendeten Kamerasysteme und Fluggeräte. Aufgrund der sehr verschiedenen Anforderungen die z.B. an ein Kamerasystem in einem kleinen UAV im lokalen Einsatz und für den Einsatz in einem schnell und hoch fliegenden Jet bei den Befliegung großer Flächen gestellt werden, kann es keinen optimalen Sensor für alle denkbaren Anwendungen geben. Nichtsdestotrotz kann mit einem modularen Kamerasystem, bei dem entsprechend leistungsfähige Kameramodule je nach Anwendung auf verschiedene

¹ IGI mbh, Langenauer Str. 46, D-57223 Kreuztal, E-Mail: [j.kremer, p.grimm]@igi-systems.com

Weise integriert werden können, ein sehr weiter Bereich der tatsächlich auftretenden Anforderungen abgedeckt werden.

Mit der DigiCAM Serie stellt die IGI mbH seit vielen Jahren ein solches modulares System zur Verfügung. Neben dem Einsatz als einzelne Mitteformatkamera bzw. als komplementärer Sensor bei Airborne Lidar Systemen werden die DigiCAM Module in der Quattro DigiCAM Konfiguration und in der Penta DigiCAM Konfiguration als Oblique-System mit einem Nadir Sensor mit reduzierter Streifenbreite eingesetzt. Diese Konfigurationen können von Nutzer zur jeweils anderen Konfiguration umgebaut werden. Allerdings bedeutet dies, dass eine simultane Erfassung von hochauflösenden Nadir Aufnahmen und von Oblique Bildern nicht möglich ist.

Ein einziger Aufbau, der die beiden Konfigurationen zusammenfasst war bisher aus Platzgründen nicht möglich, weil alle Kameramodule in einem Kameraträger Platz finden müssen, der in eine stabilisierte Aufhängung passt. Weiterhin müssen auch alle Kameras durch ein Kameraloch mit üblichen Maßen blicken können.

Die Einführung eines neuen, leistungsfähigeren Kameramoduls hat nun diese Situation geändert. Mit diesen Modulen ist es möglich, ein kombiniertes Großformat-Nadir und Vierfach-Oblique System mit den notwendigen Maßen zu realisieren.

2 Anforderung an Oblique- und Nadir-Luftbildkameras

Bei der Auswahl eines Luftbildkamarasystems für eine bestimmte Anwendung sind offensichtlich die Eigenschaften des optischen Systems und der Anzahl der verfügbaren Bildpunkte die wichtigsten Kenngrößen. Bei der Planung des Bildflugs und bei der praktischen Durchführung des Bildflugs stellen sich aber auch besonders die im Betrieb erreichbare Bildwiederholrate sowie die nutzbaren Belichtungszeiten als entscheidend heraus.

2.1 Bildwiederholrate

Bei der Anwendung von „Dense Matching“ Techniken zur Weiterverarbeitung der Luftbilder sind hohe Bildüberlappungen in Vorwärtsrichtung notwendig. Um eine hohe Bildähnlichkeit zwischen aufeinanderfolgenden Bildern zu erreichen und um eine Redundanz der Bestimmung der 3D-Punkte zu ermöglichen wird heute mit Vorwärtsüberdeckungen von 80% und mehr gearbeitet. Weil gleichzeitig aber auch immer bessere Bodenauflösungen erreicht werden sollen, ist eine hohe Bildwiederholrate zum Erreichen der notwendigen Überdeckungen unbedingt notwendig, wenn keine Einschränkungen beim Einsatz von relativ schnell fliegenden Plattformen hingenommen werden sollen.

Beispiel:

Soll bei einer Fluggeschwindigkeit von 160 kn (82 m/sec) ein Pixelabstand am Boden (GSD) von 5cm, und eine Überdeckung von 80% erreicht werden, so ist bei einer Kamera mit 10.000 Pixeln in Flugrichtung eine Bildfolgezeit von mindestens 1,2 Sekunden notwendig. Zieht man noch praktische Einflüsse, wie Geschwindigkeitsvariationen durch Wind in Betracht, wird man bei diesem Beispiel eher eine Kamera mit einer Bildrate von etwa einem Bild pro Sekunde einsetzen wollen.

Diese Anforderung an eine hohe Bildrate besteht aber nicht nur für senkrecht blickende Kameras, sondern auch für Schrägluftbildsysteme. Wenn auch bisher die Schrägluftbilder vorwiegend für Anwendungen zum Einsatz kamen, bei denen nur eine geringe Überdeckung gefordert war, so erfordert die Auswertung von Schrägluftbildern mit „Dense Matching“ Techniken auch eine ebenso hohe Überdeckung wie bei der Nadir-Anwendung.

2.2 Belichtungszeit

Bewegt sich die Kamera oder das Motiv während der Belichtung des Bildes, so wirkt sich diese Bewegung als eine Verwischung im Bild aus.

Bei Kameras die in Nadir-Richtung blicken, kann dieses Problem der Bildverwischung durch verschiedene FMC („Forward Motion Compensation“) Techniken stark minimiert werden. Bei der Erzeugung von Schrägluftbildern ist eine solche Kompensation der Bildverwischung mit den aktuell verwendeten Techniken aber nicht möglich. Die Stärke der Verwischung hängt in diesem Fall von der Position innerhalb des Bildes ab und kann deshalb durch eine Korrektur, die auf das ganze Bild gleichmäßig wirkt, nicht kompensiert werden.

Wird wie im obigen Beispiel von einer Fluggeschwindigkeit von 160 kn und einer GSD von 5cm ausgegangen, so ist eine Belichtungszeit von etwa 1/1600 Sekunde notwendig um die Bildverwischung auf einen Pixel zu begrenzen.

Ein ähnliches Problem tritt bei der Nutzung der Kameras ohne stabilisierte Aufhängungen bzw. ohne aufwändige Schwingungsreduzierung auf. In diesem Fall kommt zur wohldefinierten Bildverwischung durch die Fluggeschwindigkeit noch eine Bildverwischung durch die Winkelbewegung der Kamera in beliebige Richtungen. Auch in diesem Fall ist die Reduktion der Bildverwischung durch die Wahl einer kurzen Belichtungszeit wünschenswert.

Wenn ein Kameramodul die oben abgeschätzten Belichtungszeiten erreicht, können also nicht nur die Voraussetzungen für verwischungsfreie Oblique-Bilder geschaffen werden und Einzelkameras auf mechanisch einfachen Aufhängungen betrieben werden, sondern es kann auch für kombinierte, großformatige Systeme für die meisten Flugbedingungen auf aufwändige FMC Techniken verzichtet werden.

3 Modulares Kamerasystem IGI DigiCAM

Die IGI mbH stellt seit einigen Jahren das modulare DigiCAM Luftbildkamarasystem bereit. Es basiert auf Mittelformatkamera-Modulen, die je nach Anforderung entweder einzeln oder als Multi-DigiCAM System eingesetzt werden. Die Kameramodule besitzen vom Nutzer austauschbare Objektive und ein Datenerfassungssystem mit einer komfortablen grafischen Benutzeroberfläche. Der Umbau zwischen den Multi-DigiCAM Konfigurationen ist vom Nutzer selbst in kurzer Zeit (wenige Stunden) durchführbar.

3.1 IGI Quattro DigiCAM

Um die große Abdeckung einer großformatigen Kamera zu erreichen, wird die Konfiguration „Quattro DigiCAM“ eingesetzt. Bei dieser Konfiguration erzeugen vier Kameramodule die hier gezeigte Bodenabdeckung.

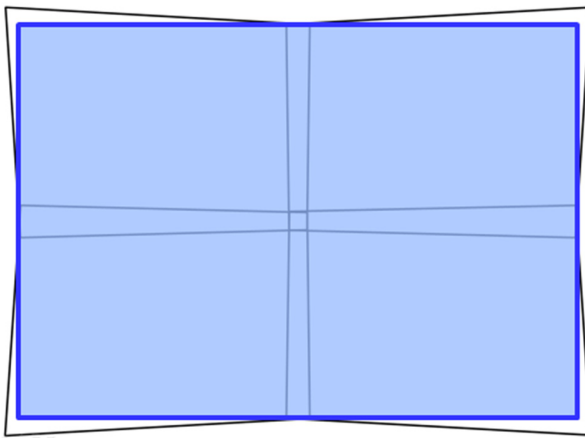


Abb. 1: Bodenabdeckung einer Quattro DigiCAM

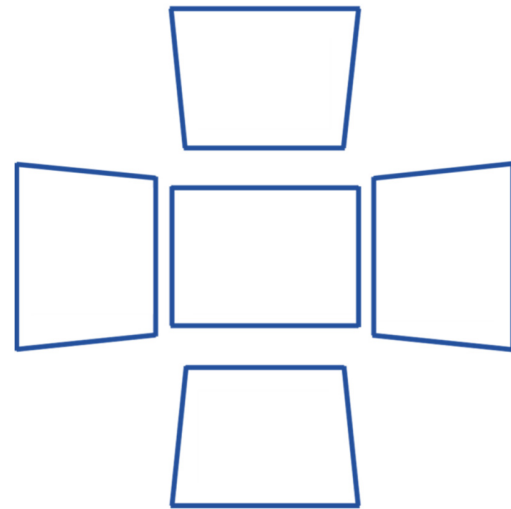


Abb. 2: Bodenabdeckung einer Penta DigiCAM

Die Kameramodule werden hochgenau synchronisiert ausgelöst. Deshalb kann durch eine geometrische und radiometrische Anpassung der Kameramodule ein homogenes und geometrisch korrektes Gesamtbild erzeugt werden. (In der Abbildung blau markiert.)

3.2 IGI Penta DigiCAM

Eine andere erfolgreich eingesetzte Konfiguration ist die Penta DigiCAM. Bei dieser Konfiguration werden vier Kameras unter 45° montiert und zur Erzeugung von Schrägluftbildern eingesetzt. Die fünfte Kamera blickt nach unten.

4 IGI DigiCAM 100

Während die oben dargestellten DigiCAM Konfigurationen mit CCD basierten DigiCAM Modulen mit bis zu 60 Megapixeln realisiert worden sind, stehen nun auch Kameramodule auf CMOS Basis mit 100 Megapixeln zur Verfügung.

Tab. 1: Eigenschaften der DigiCAM 100

Anzahl Bildpunkte	11.600 × 8.700
Technologie	CMOS, Back Side Illuminated
Pixel Pitch	4,6µm
Min. Belichtungszeit	1/1600 sec
Dynamikbereich	84dB
Min. Bildfolgezeit	0,85 sec

Die Kameramodule werden über modulare Rechereinheiten, sogenannte „Sensor Management Units“ (SMU) gesteuert. In diesen SMU werden auch die Bilder auf im Flug austauschbaren Speichereinheiten abgelegt. Die grafische Nutzerschnittstelle wird entweder auf Touch-Screen Anzeigemodulen oder auf einem speziellen Tablett-PC bereitgestellt.



Abb. 3: DigiCAM 100 mit SMU und User Interface

Diese DigiCAM 100 Module zeigen nicht nur eine größere Anzahl an Pixeln, sondern durch die verwendete CMOS Technologie und den speziellen Aufbau der Pixel eine stark verbesserte Empfindlichkeit und Dynamik, die den Einsatz selbst bei widrigen Wetterbedingungen ermöglicht.

Abb. 4 zeigt beispielsweise einen Ausschnitt aus einem mit der DigiCAM 100 erzeugten Luftbild. Der Bildflug fand am 22. Dezember 2015 in Kreuztal statt. Wie an dem Fehlen von Schatten zu erkennen ist, herrschte während des Fluges eine komplett geschlossene Wolkendecke. Die Bilder des photogrammetrischen Blocks wurden mit 2cm GSD aufgenommen.



Abb. 4: Luftbild mit 2cm GSD, aufgenommen unter komplett geschlossener Wolkendecke am 22. Dezember 2015 in Kreuztal.

4.1 IGI Penta DigiCAM „Urban Mapper“

Die Eigenschaften des DigiCAM 100 Kameramoduls machen neue Multi-DigiCAM Konfigurationen möglich, welche die Vorteile der Quattro DigiCAM mit denen der Penta DigiCAM verbindet.

Die hohe Wiederholrate in Verbindung mit der größeren Pixelzahl ermöglichen es, eine sehr hohe Überdeckung in Flugrichtung zu realisieren, ohne in dieser Richtung mehrere Bilder zu einem Bild kombinieren zu müssen. So kann eine Kamera aufgebaut werden, die nicht nur eine große Nadir Abdeckung aufweist, sondern auch ein vollwertiges Oblique-Kamera System mit 100 Mpixel Schrägluftbildern darstellt. Anders als bei den oben kurz beschriebenen Quattro DigiCAM und Penta DigiCAM Konfigurationen können die Großformat-Nadir Option und die Vierfach-Oblique Version aber nicht nur nacheinander, sondern zeitgleich in einem Sensoraufbau realisiert werden. Die neue IGI Penta DigiCAM „Urban Mapper“ gehört aus diesem Grund zu einer neuen Generation digitaler Luftbildkamarasysteme, die in Lage sind großformatige Nadir- und Schrägluftaufnahmen innerhalb eines Fluges zu generieren.

Die Konfiguration „Urban Mapper“ ist optimiert für die Erfassung von großen urbanen Gebieten. Sie erlaubt eine gleichzeitige Erzeugung von klassischen Senkrechtluftbildern mit über 80% Vorwärtsüberdeckung zusammen mit Schrägluftbilder hoher Qualität. Sie ermöglicht damit die effiziente Erzeugung von hochwertigen, texturierten Digitalen Stadtmodellen aus dem Ergebnis einer Befliegung mit einem einzigen Sensorsystem.

4.1.1 Aufbau des „Urban Mapper“

Die Kamera besteht aus acht Kameramodulen. Vier Module bilden den Nadir Blick. Drei der Module werden dabei in RGB Konfiguration betrieben und definieren das Format des Nadir-Blicks der Kamera. Sie sind nebeneinander und mit der langen Seite entlang der Flugrichtung ausgerichtet. Das vierte Nadir-Modul erfasst den optionalen NIR Kanal. Die weiteren vier Kameramodule (RGB) blicken nach vorn, rückwärts, nach rechts und nach links. Der Oblique-Winkel ist mit 42° etwas niedriger gewählt als bei der Penta DigiCAM, um in innerstädtischen Häuserschluchten eine komplette Erfassung der Hausfassaden zu gewährleisten. Für alle RGB Kameramodule werden Objektive der Firma Rodenstock mit 90 mm Brennweite eingesetzt.

Die acht Kamera Module sind so angeordnet, dass sie in einer der gebräuchlichen kreiselstabilisierten Kameraaufhängungen betrieben werden können. Das IGI AEROcontrol GNSS/IMU System ist in der Kamera integriert. Zur Flugführung wird das IGI CCNS5 eingesetzt.

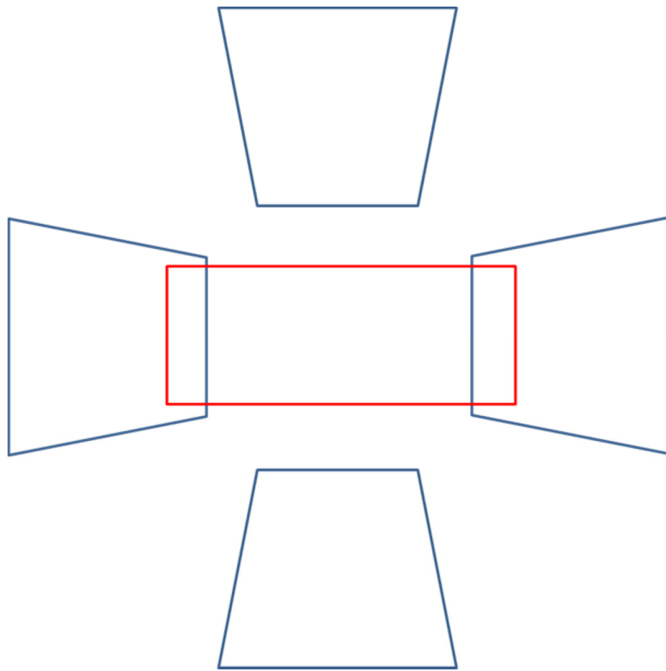


Abb. 5: Footprint der DigiCAM „Urban Mapper“



Abb. 6: Penta DigiCAM „Urban Mapper“

4.1.2 Kameraparameter / Flugplanung

Die oben gezeigte Konfiguration „Urban Mapper“ verfügt über die folgenden Parameter:

Tab. 2: Eigenschaften der Penta DigiCAM „Urban Mapper“

Bildformat (Nadir-Blick)	28.200 × 11.500
Bildformat (Oblique-Blick)	11.600 × 8.700
Oblique Winkel	42°
Brennweite (Nadir & Oblique)	90 mm
Min. Bildfolgezeit	0,85 sec
Pixel Pitch	4,6 µm
Min. Belichtungszeit	1/1600 sec
NIR Kanal	Optional durch das 8'te Kameramodul

Daraus folgt z.B. für einen Flug mit 160 km/h und einer GSD von 5 cm, dass eine Vorwärtsüberdeckung von mehr als 87% rechnerisch möglich ist. Bei diesen Bedingungen ist mit einer unkompenzierten Bildverwischung von einem Pixel auch nicht mit nachteiligen Effekten durch Bildverwischung zu rechnen. Je nach Flugbedingungen können also auch GSDs von weniger als 5 cm bzw. Überdeckungen von über 90% realisiert werden.

4.1.3 User Interface

Anders als bei Einzelkamarasystemen wie in Abb. 3 nutzt der Kameraoperator beim „Urban Mapper“ einen 20-Zoll-Touchscreen um das System zu steuern. Dabei stehen dem Nutzer ver-

schiedene Ansichten zur Verfügung. Die Abbildungen 7 und 8 zeigen zwei der möglichen Ansichten.



Abb. 5: Beispiel für eine Ansicht im „Urban Mapper“ Nutzerinterface.

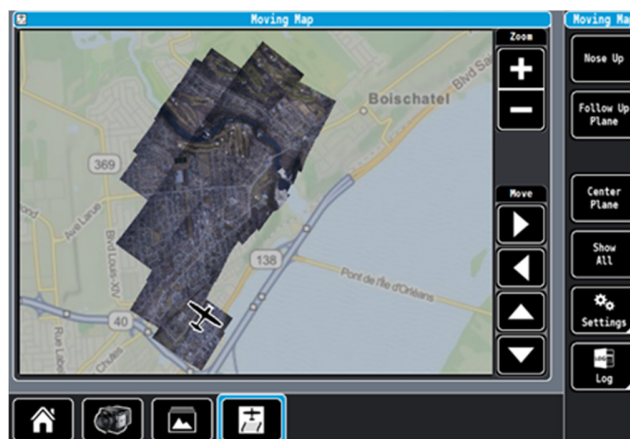


Abb. 6: „Moving Map“ Ansicht im „Urban Mapper“ Nutzerinterface.

5 Zusammenfassung

Eine hohe Bildwiederholrate und die realisierbaren Belichtungszeiten zusammen mit einer hohen Empfindlichkeit der Kameramodule, wurden als besonders wichtig für einen flexiblen Einsatz von modularen Luftbildkameras identifiziert. Die Auswirkung dieser Parameter auf die Einsetzbarkeit für bestimmte Projekte wurde anhand eines Beispiels für das neue IGI DigiCAM 100 Kameramodul gezeigt.

Die Eigenschaften des DigiCAM 100 Moduls erlauben den Aufbau des Systems „Urban Mapper“. Der „Urban Mapper“ vereint die hohe Streifenbreite und Auflösung einer reinen Nadir-Luftbildkamera mit der Fähigkeit, hochwertige Schrägluftaufnahmen zu generieren. Damit können alle Ausgangsdaten für ein hochwertiges, optimal texturiertes Stadtmodell in einem Flug mit einem einzigen Kamerasystem erzeugt werden.