

Echtzeitverarbeitung multispektraler Daten mit limitierter Übertragungsbandbreite

Christine Groh, Hendrik Rothe
Helmut-Schmidt-Universität
Laboratorium für Mess- und Informationstechnik
Holstenhofweg 85, 22043 Hamburg
groh@hsu-hh.de, rothe@hsu-hh.de

Zusammenfassung In diesem Beitrag wird der Prototyp eines preiswerten multispektralen CCD-Kamerasystems für mini-UAV-Anwendungen vorgestellt. Dieses beinhaltet ein geeignetes online Datenverarbeitungskonzept. Da Klassifikationsgeschwindigkeit und Qualität sich widersprechende Optimierungskriterien darstellen, wird anhand eines Beispiels der Einfluss verschiedener Reduktionsverfahren auf Klassifikationsgeschwindigkeit und Qualität dargestellt.

1 Multispektrales Kamerasystem

Der rasante Fortschritt in den Bereichen Digitalkameras und Flüssigkristalltechnologie ermöglicht heute den Aufbau von kleinen, preiswerten, unkomplizierten multispektralen Sensorsystemen aus Standardkomponenten. So kann mit einer konventionellen CCD-Kamera in Verbindung mit einem durchstimmbaren Flüssigkristallfilter eine multispektrale Kamera im sichtbaren und nahen Infrarot Wellenlängenbereich realisiert werden, Abb. 1.

Der Transmissionsgrad der Flüssigkristallfilter im sichtbaren und nahen Infrarot-Wellenlängenbereich ist in Abb. 2 dargestellt.

Die Haupteinschränkung gegenüber kommerziellen multispektralen Kamerasystemen (wie z.B. AVIRIS oder von Surface Optics Corporation) besteht in



Abbildung 1: PULNIX TM-6CN Kamera und CRI VariSpec™ LCT Filter

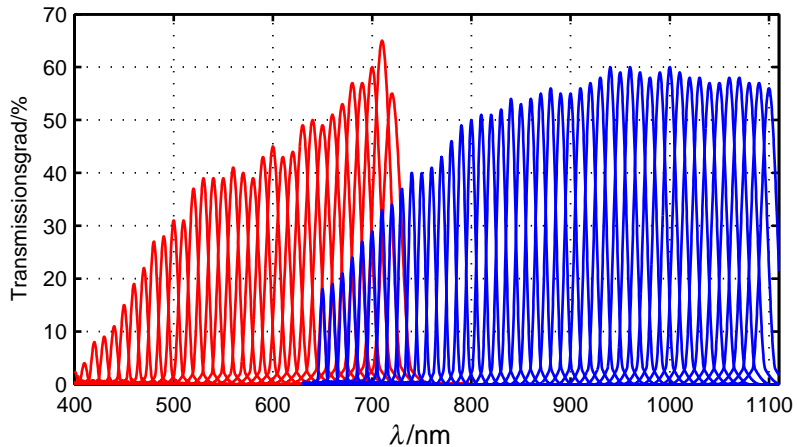


Abbildung 2: Transmissionsgrad VIS und NIR LCT Filter

der prinzipbedingten sequentiellen spektralen Datenerfassung. Trotz dieser Einschränkung hinsichtlich der Datenerfassungsgeschwindigkeit kann diese Lösung insbesondere aufgrund ihres kleinen Gewichts und niedrigen Preises neue Anwendungsgebiete für multispektrale Bilderfassung erschliessen [1].

Der vorgeschlagene Aufbau bietet sich für viele Anwendungen der Fernerkundung als geeignetes Medium an. Für die Akquisition von Luftbildern mit mini-UAV's (unbemannte Flugobjekte) ist der Einsatz vieler kommerzieller multispektraler Kamerasysteme allein schon wegen ihrer Größe und ihres Gewichts unmöglich. Außerdem zeichnet sich die CCD-Kamerasystem-Lösung durch einen geringen Energieverbrauch aus.

Die Datenverarbeitung der aufgezeichneten multispektralen Bilddaten erfolgt bei kommerziellen Systemen wie AVIRIS aufgrund des großen Datenvolumens offline. Eine Vielzahl von Arbeiten untersucht Algorithmen zur Klassifikation multispektraler Datensätze und zielt hauptsächlich auf die Qualität der Klassifikation ab, ohne Rechenzeiten und Rechenaufwand zu berücksichtigen.

Für einige Anwendungsfälle ist eine online Datenverarbeitung notwendig. Um das System klein und kompakt, aber dennoch leistungsfähig zu halten, bietet es sich an, vorverarbeitete Daten an einen zentralen Rechner zu übertragen, der die weitere Verarbeitung übernimmt. Die zu übertragenden Kameradaten müssen entsprechend gepackt werden, da in der Regel nur eine kleine Bandbreite für die Übertragung zur Verfügung steht, z.B. wenn die

Datenübertragung über das Internet realisiert wird. Abb. 3 zeigt schematisch ein UAV mit oben beschriebem multispektralem Kamerasystem. Die hiermit gewonnenen Datensätze werden zunächst an eine Bodenstation (PC) über die Strecke (A) übertragen und von dort zur weiteren Verarbeitung an einen leistungsfähigeren Rechner (HPC) über die Strecke (B) übertragen.

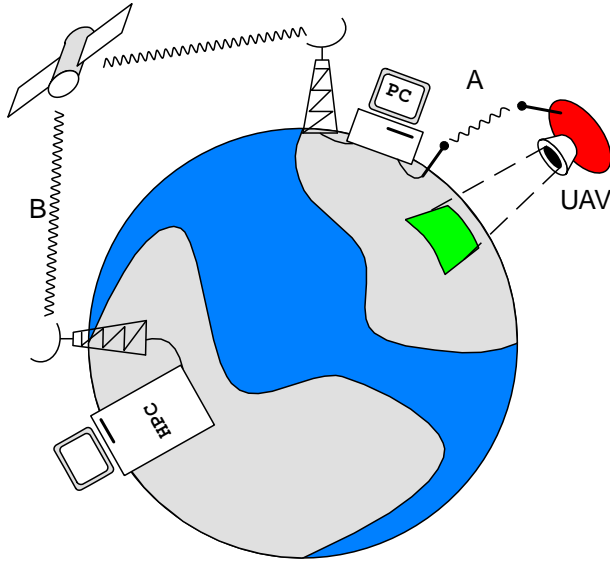


Abbildung 3: Übersicht multispektrale Datenerfassung vom UAV und zugehörige Datenübertragungsstrecken

2 Datenaufnahme

Der Prototyp eines multispektralen CCD-Kamerasystems für mini-UAV-Anwendungen besteht aus zwei nebeneinander angeordneten Kameras, die je mit einem LCT-Filter ausgerüstet sind, Abb. 1. Dabei wird der eine Filter im sichtbaren Wellenlängenbereich von 400 bis 720 nm in 10 nm Schritten durchgestimmt, und der andere Filter im nahen Infrarot-Wellenlängenbereich entsprechend von 730 bis 1100 nm durchgestimmt, Abb. 2. Es entstehen dadurch zwei Stereo-Datensätze, die durch Kreuzkorrelation aufeinander geschoben werden müssen. Ergebnis ist ein dreidimensionaler Datensatz, mit zwei räumlichen Koordinaten und den spektralen Kanälen als dritter Dimension. Bei einer Auflösung von 768×576 Pixeln und 71 Kanälen ergibt sich ein Datenvolumen von ca. 30 MByte. Abb. 4 zeigt ein 3-Kanalbild (700, 550 und 440 nm), generiert aus einem Datensatz mit dem multispektralen CCD-Kamerasystem.



Abbildung 4: 3-Kanalbild (700,550 und 440 nm)

3 Online Datenverarbeitung

Um eine schnelle bestmögliche Klassifikation bei größtmöglicher Datenreduktion zu erreichen, muss jeder Verarbeitungsschritt von der Datenaufnahme über die Vorverarbeitung und Übertragung der Datensätze bis zur weiteren Auswertung im Hinblick auf die Zielvorgaben optimiert werden.

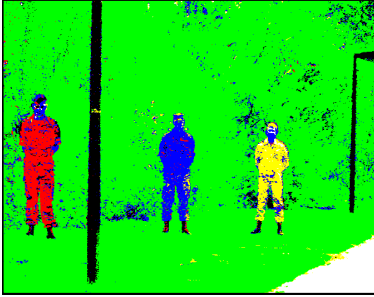
Eine Möglichkeit der Datenreduktion mit Hilfe der multivariaten Prüfstatistik ergibt sich aus der Ermittlung der inneren Bestimmtheitsmaße. Dieser Test auf die Dimensionalität der Daten wird zur Beurteilung herangezogen, um eine Kanalreduktion herbeizuführen und beispielsweise stark verrauschte Kanäle auszusortieren.

Mit der Korrelationsmatrix \mathbf{R} gilt für das Bestimmtheitsmaß der j -ten Größe

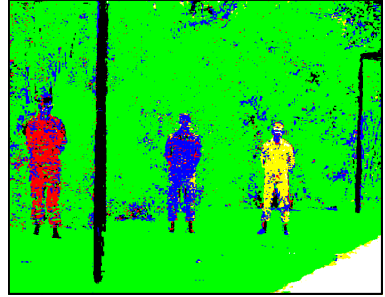
$$D_j = 1 - \frac{1}{(\mathbf{R}^{-1})_{jj}} \quad , \quad (1)$$

dabei ist $(\mathbf{R}^{-1})_{jj}$ das j -te Hauptdiagonalelement der inversen Korrelationsmatrix [2].

Durch eine Kanalreduzierung wird nicht nur das Datenvolumen reduziert, sondern gleichzeitig auch die Klassifikation beschleunigt.



a)



b)

Abbildung 5: a) Klassifikation Originaldatensatz, 100% der Kanäle und 100% Dateigröße. b) Klassifikation mit 100% der Kanäle und 1.5% der originalen Dateigröße, ergibt 10% Fehler

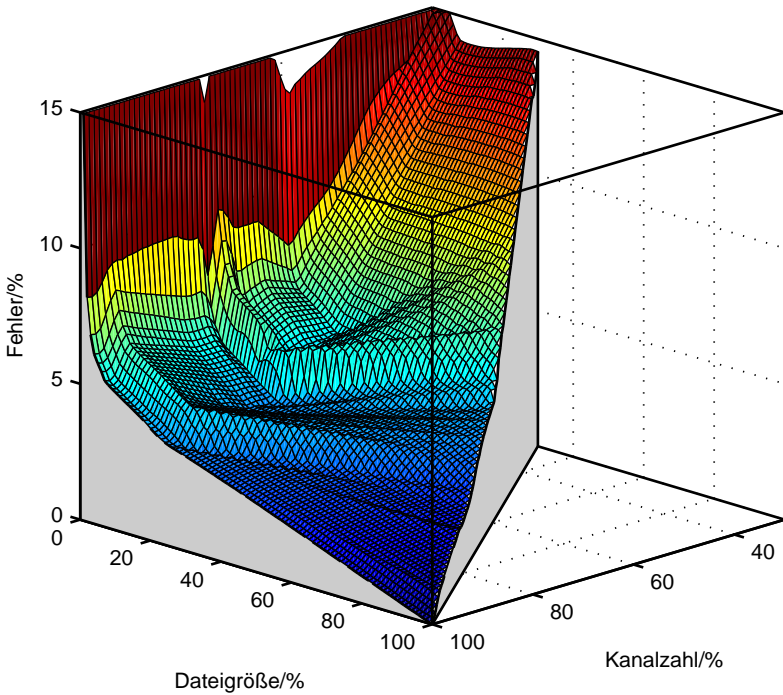


Abbildung 6: Klassifikationsfehler in Abhängigkeit von der Kanalzahl und Dateigröße

Eine weitere Möglichkeit der Datenreduktion ergibt sich durch Kompression, z.B. mit Hilfe einer verlustbehafteten JPEG Komprimierung mit unterschiedlichen Kompressionsgraden, die zu einer Reduktion der Dateigröße führen. Abb. 5 zeigt das Ergebnis einer Klassifikation mit einem Datensatz, der gegenüber dem Original auf 1.5% der Dateigröße komprimiert wurde. Dabei wurden alle Kanäle beibehalten. Die Klassifikation führt zu 10% falsch klassifizierten Pixeln, gegenüber der Klassifikation mit dem Originaldatensatz. Die Klassifikation erfolgte mit Diskriminanzanalyse in 6 Klassen: drei Soldaten-Klassen (rot, blau, gelb), Vegetation (grün), Weg (weiß) und Laternenpfahl (Schwarz).

Abb. 6 zeigt die Abhängigkeit des Klassifikationsfehlers sowohl von der Kanalzahl, als auch von der Dateigröße. Hierbei wurden beide beschriebenen Verfahren, Kanalreduktion und JPEG-Komprimierung, in Kombination angewendet. Eine Reduktion der Kanalzahl ohne zusätzliche JPEG-Kompression führt zu einer entsprechenden Reduktion der Dateigröße (rechter Rand der Darstellung Abb. 6). Abgesehen von dieser Außenlinie, beinhalten alle anderen Punkte eine zusätzliche JPEG-Komprimierung.

Die Abhängigkeit des Klassifikationsfehlers von der Dateigröße ist in Abb. 7 getrennt für eine Reduktion der Anzahl der benutzten Kanäle, als auch für die JPEG-Kompression ohne Reduzierung der Kanalzahl (linker Rand der Darstellung Abb. 6), dargestellt. Insgesamt liefert der Verzicht auf einzelne Kanäle bei gleicher Dateigröße einen höheren Klassifikationsfehler, als die Verringerung der Dateigröße durch JPEG-Komprimierung.

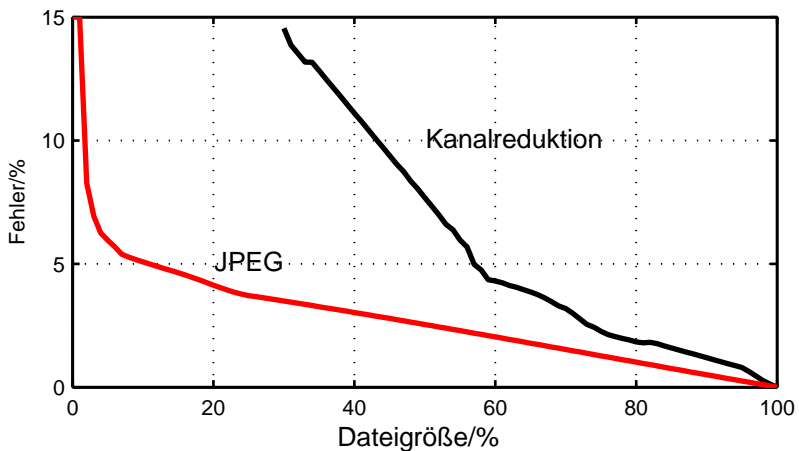


Abbildung 7: Klassifikationsfehler über der Dateigröße

Da eine Reduzierung der Dateigröße durch Selektion irrelevanter Kanäle

mittels innerer Bestimmtheitsmaße rechenaufwändiger ist, als die JPEG-Kompression, ist es sinnvoll, die nicht relevanten Kanäle nicht für jeden Bild Datensatz erneut zu bestimmen, sondern diese für mehrere Bilddatensätze beizubehalten. Dieses Vorgehen ist zulässig, da sich die Auswahl der irrelevanten Kanäle nur langsam z.B. durch eine Änderung der Aufnahmebedingungen ändert. Die irrelevanten Kanäle können dann bereits beim Durchstimmen der Filter übersprungen werden. Dadurch wird nicht nur der Prozess der Datenakquisition und -übertragung beschleunigt, sondern ebenso die anschließende Klassifikation der Datensätze.

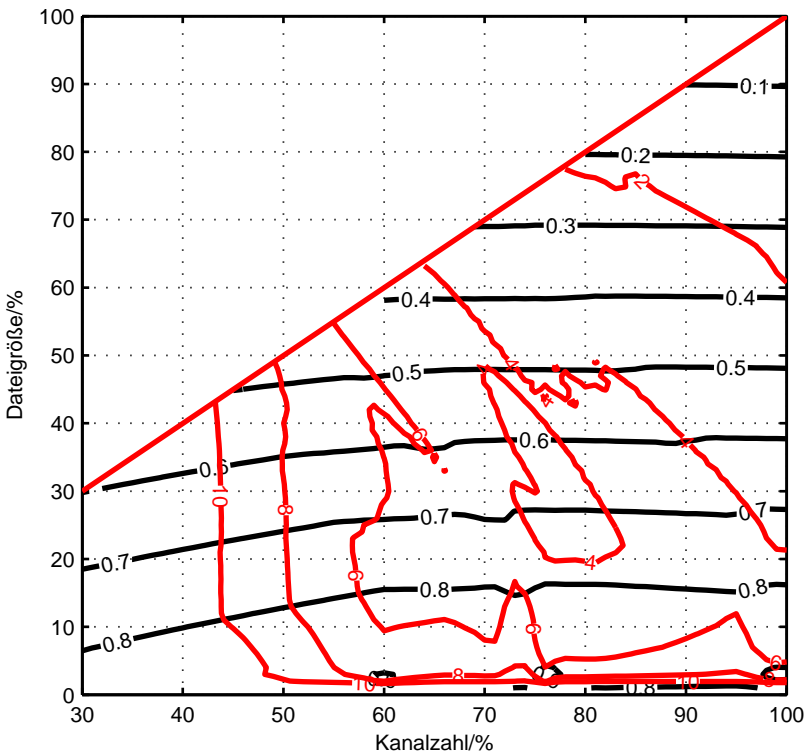


Abbildung 8: Dateigröße über der Kanalzahl

In Abb. 8 ist die Dateigröße über der Kanalzahl aufgetragen. Die rote Gerade zeigt den linearen Zusammenhang der beiden Größen. Zusätzlich sind in rot die Konturen der konstanten Klassifikationsfehler 2,4,6,...,10 % eingezeichnet. In schwarz sind die Konturen konstanter Gütekriterien G von 0.1, 0.2,...,0.9 dargestellt.

$$G = \left(1 - \frac{\text{Fehler}}{100\%}\right) \cdot \left(1 - \frac{\text{Dateigröße}}{100\%}\right) \quad (2)$$

Das Gütekriterium liefert Werte zwischen 0 und 1. Ein möglichst großes Gütekriterium liefert ein Optimum für einen bestimmten tolerierbaren Fehler.

Mit Hilfe von Abb. 8 kann schnell ein Optimum zwischen den sich widersprechenden Kriterien Klassifikationsqualität und Dateigröße gefunden werden. Kann z.B. ein Fehler von 8% tolleriert werden, so ist eine Reduktion der Kanalzahl auf 60% bei einer Dateigröße von 3% optimal in Bezug auf Datenakquisitions- und Datenübertragungsgeschwindigkeit.

Literatur

- [1] J.Y. Hardenberg, *Acquisition and Reproduction of Color Images: Colorimetric and Multispectral Approaches*, Dissertation.com, USA, 2001.
- [2] H. Rothe, *Skript zur Vorlesung Messtechnik*, Helmut-Schmidt-Universität, Hamburg, 2003.
- [3] W.R. Dillon, M. Goldstein, *Multivariate Analysis*, Wiley, 1984.
- [4] G. Motta, F. Rizzo, J.A. Storer, B. Carpentieri, "Real-Time Software Compression and Classification of Hyperspectral Images," in *Image and Signal Processing for Remote Sensing X*, L. Bruzzone, ed., *Proc. SPIE*, Volume 5573, pp. 182–192, 2004.
- [5] G.J. McLachlan, *Discriminant Analysis and Statistical Pattern Recognition*, Wiley, 1992.
- [6] S.T. Bow, *Pattern Recognition and Image Preprocessing*, Marcel Dekker, 2002.
- [7] S.M. Chai, A. Gentile, W.E. Lugo-Beauchamp, J.L. Cruz-Rivera, D.S. Wills, "Hyper-spectral image processing applications on the SIMD Pixel Processor for the digital battlefield" in *IEEE Workshop on Computer Vision Beyond the Visible Spectrum: Methods and Applications (CVBVS '99)*, *Proc. IEEE*, Vol., Iss., pp. 130-138, 1999.
- [8] S. Tominaga, E. Takahashi, "Spectral image processing by a multi-channel camera", in *International Conference on Image Processing, ICIP 99*, *Proc. IEEE*, Vol.3, Iss., pp. 575-579, 1999.