

Videobasierte Navigation - Bildgestützte Winkelmessung und Zielbestimmung

Als Grundlage für eine videobasierte Navigationslösung wurde ein Verfahren entwickelt, das die Winkelbestimmung anhand von rotierten Bildsequenzen ermöglicht. Mit Hilfe von Verknüpfungspunkten in zwei nachfolgenden Bildern werden die Drehwinkel der Kamera berechnet. Die dafür benötigten Verknüpfungspunkte werden mittels KLT-Tracking ermittelt. In Genauigkeitsuntersuchungen wurde aufgezeigt, dass der Horizontalwinkel zwischen zwei Bildern mit einer Genauigkeit im Bereich von 0.003° bestimmt werden kann.

Motivation und Zielsetzung

In tragbaren Beobachtungsgeräten kann neben einem Laserdistanzmesser auch ein Magnetkompass integriert werden, was Polaraufnahmen und Rückwärtsschnitte direkt ermöglicht. Die Genauigkeit der polaren Aufnahmeelemente hängt stark von magnetischen Störeinflüssen auf den Magnetkompass ab. Als Alternative zum Magnetkompass könnten inertielle Messsysteme (IMU) auf MEMS-Basis verwendet werden, welche aber bei ähnlichem Gewicht auch heute noch wesentlich geringere Genauigkeiten liefern.

In dieser Arbeit soll untersucht werden, inwiefern eine bildgestützte Winkelmessung als Ergänzung zum Magnetkompass oder zur Stützung einer MEMS-IMU dienen kann.

Ausgangslage

Ein Bildsensor wird ungefähr horizontal um die Lotachse gedreht. Wenn das Projektionszentrum dabei annähernd am identischen Ort bleibt, kann die Rotation des Bildsensors über Verknüpfungspunkte der während der Drehung aufgenommenen Bilder bestimmt werden.

Konzept

Der verwendete Bildsensor muss vorgängig kalibriert werden. Dazu wurde ein Testfeld in Form eines regelmässigen Schachbrettmusters verwendet, welches flexibel gegenüber der Kamera angeordnet werden kann (Abb. 1).



Abb. 1 Flexibles Testfeld, rechts: Aufnahmekonstellation

Ein Schlüsselproblem für die bildbasierte Winkelmessung ist das Finden von geeigneten Verknüpfungspunkten. Eine Lösungsvariante bildet das sogenannte *KLT-Tracking* (Lucas und Kanade 1981), mit dem die Bewegung von Bildpunkten in einer Bildsequenz sehr effizient im Subpixelbereich bestimmt werden kann (Abb. 2).

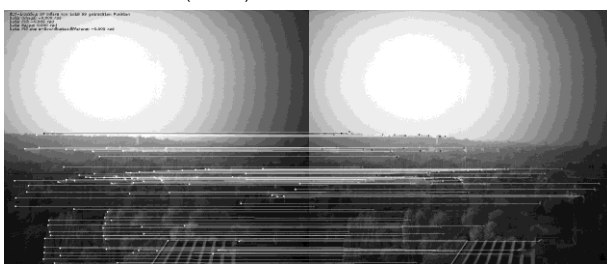


Abb. 2 Punktzuordnung mittels KLT-Tracking

Aus den Verknüpfungspunkten kann nun die relative Orientierung zwischen den beiden Bildern berechnet werden. Dies erfolgt über die *closed form solution* (Horn 1987) der eindeutigen Drehquaternion, aus der wiederum eine Rotationsmatrix abgeleitet werden kann. Mit dem *RANSAC*-Algorithmus (Fischler und Bolles 1981) können Ausreisser bei grosser Überbestimmung zuverlässig detektiert werden.

Die einzelnen Drehungen werden aufmultipliziert, um die Verdrehung eines beliebigen Bildes gegenüber eines Startbildes zu berechnen (Abb. 3).

Referenzen:

Lucas, B. & Kanade, T., 1981. An Iterative Image Registration Technique with an Application to Stereo Vision (IJCAI). In *Proceedings of the 7th International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI '81)*, S. 674-679.
Fischler, M.A. & Bolles, R.C., 1981. Random sample consensus: a paradigm for model fitting with applications to image analysis and automated cartography. *Communications of the ACM*, 24, S.381-395.
Horn, B.K.P., 1987. Closed-form solution of absolute orientation using unit quaternions. *J. Opt. Soc. Am. A*, 4(4), S.629-642.
Willow Garage, 2011. *OpenCV*. <http://opencv.willowgarage.com/wiki/>.

Autor/in: Fabian Huber
Examinator: Prof. Dr. Stephan Nebiker
Experte: Dr. Hannes Eugster

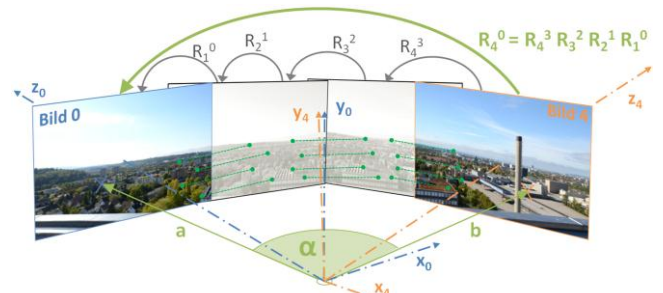


Abb. 3 Aufmultiplizieren von Rotationsmatrizen, Beobachtungsvektoren a und b

Umsetzung

Die frei verfügbare Computer Vision-Programmbibliothek *OpenCV* (Willow Garage 2011) beinhaltet neuste Algorithmen, die vor allem auf Geschwindigkeit optimiert sind. Mit Python-Wrappern ist die Möglichkeit gegeben, die OpenCV-Funktionen in Python-Skripts aufzurufen.

So wurde in Python eine Testanwendung implementiert, mit der in zwei beliebigen Bildern einer aufgenommenen Sequenz jeweils Start- und Endpunkt für die Winkelbestimmung gemessen werden kann (Abb. 3 und 4). Die Extraktion und das Tracking von Bildpunkten wurde mit dem Aufruf von OpenCV-Funktionalität gelöst, was eine sehr effiziente Suche nach Verknüpfungspunkten ermöglicht.

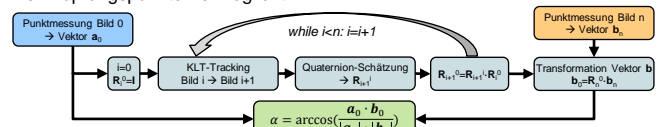


Abb. 4 Ablaufdiagramm Testanwendung für bildbasierte Winkelmessung

Resultate

Die erreichbaren Genauigkeiten der bildbasierten Winkelmessung wurden anhand von Fernzielen mit bekannter Richtung bestimmt. Der Horizontalwinkel konnte unter optimalen Bedingungen mit einer Genauigkeit von 0.015° (über 40 Bilder, $\sim 40^\circ$) berechnet werden. Die Genauigkeit nimmt aufgrund der Multiplikation der einzelnen Rotationsmatrizen mit zunehmender Anzahl Bilder ab.

Der horizontale Drehwinkel zwischen zwei nachfolgenden Bildern kann mit einer Genauigkeit von 0.003° bestimmt werden.

Die entwickelte Testanwendung erreicht bei einer Bildfrequenz von 10 Hz und bei einer Bildauflösung von 1.25 Megapixel auf einem herkömmlichen Notebook beinahe Echtzeitfähigkeit.

Fazit und Ausblick

Die bildgestützte Winkelmessung ermöglicht unter bestimmten Voraussetzungen eine sehr genaue Messung von räumlichen Winkeln zwischen beliebigen Zielpunkten. Um die Robustheit gegenüber Fehlern zu steigern, wäre die Integration der Winkelmessungen in ein Kalman-Filter sinnvoll. Beobachtungen von anderen Sensoren (Neigungsmesser, IMU) könnten ebenfalls in diesem Kalman-Filter fusioniert werden und so zur Steigerung der Genauigkeit und der Zuverlässigkeit dienen.

Eine zusätzliche systematische Extraktion und Speicherung von markanten Merkmalen könnte die Auswirkungen der ungünstigen Fehlerfortpflanzung durch das Aufmultiplizieren der Rotationsmatrizen vermindern.