

Entwicklung einer modellbasierten Eigenbewegungsschätzung eines Kraftfahrzeugs aus Fahrzeugbewegungsdaten und optischen Flussvektoren

NIKLAS CONEN¹

Ein gewöhnliches Rückfahrkamerasystem mit nur einer Kamera bietet nicht die Möglichkeit, das Fahrzeug an Straßenmarkierungen auszurichten. Beim Rückwärtseinparken sind diese Markierungen gerade zum Ende des Manövers nicht mehr sichtbar. In diesem Beitrag wird eine Funktion vorgestellt, die dem Fahrer trotzdem eine Art Rundumsicht um das Fahrzeug bietet und eine bessere Ausrichtung ermöglicht.

Dazu werden die zuvor aufgenommenen Kamerabilder in eine Straßendraufsicht umgebildet und entsprechend der Fahrzeugbewegung relativ zueinander orientiert. Ein ebenes Fahrzeugbewegungsmodell und Fahrzeugsensordaten ermöglichen die Schätzung der Fahrzeugeigenbewegung. Während der Rückwärtsfahrt entsteht schließlich ein Bildverband, der sich unter bzw. neben das Fahrzeug schiebt.

Sobald jedoch ein Hindernis überfahren wird, verändern sich die bislang als konstant angenommenen extrinsischen Kameraparameter und es treten Verzerrungen im Bildverband auf. Deshalb werden mithilfe von optischen Flussvektoren kontinuierlich die Höhenveränderungen der Kamera geschätzt und verarbeitet.

1 Motivation

Im Rahmen einer Masterarbeit vom August 2013 wurde eine zusätzliche Funktion für ein Rückfahrkamerasystem für Kraftfahrzeuge weiterentwickelt. Das Thema wurde im Hause der Robert Bosch Car Multimedia GmbH in Hildesheim erarbeitet und bei der Jade Hochschule Oldenburg zum Abschluss des Studiengangs *Geodäsie und Geoinformatik* vorgelegt.

In dem hiesigen Beitrag wird über die dort entwickelte Manöverassistentenfunktion berichtet. Sogenannte Surround View Systeme mit drei bis sechs Kameras, die am Heck, an den Außenspiegeln und ggf. an der Front angebracht sind, bieten eine gute Rundumsicht um das Fahrzeug. Die einzelnen Kamerabilder werden in einer gemeinsamen virtuellen Straßendraufsicht umgerechnet bzw. zusammengeführt und auf einem Display im Fahrzeug dargestellt. Diese Systeme ermöglichen dem Fahrer unter anderem, das Vehikel an Hindernissen oder Parkmarkierungen in unmittelbarer Umgebung des Fahrzeugs auszurichten.

Gewöhnliche Rückfahrkamerasysteme mit nur einer Kamera bieten nur die Sicht nach hinten und somit keine Möglichkeit, das Fahrzeug an umliegende Markierungen zu orientieren.

1) Niklas Conen, Ehernstraße 43, 26121 Oldenburg, E-Mail: conen.n@gmail.com

2 Problemstellung und Konzeptidee

In diesem Beitrag wird erläutert, wie trotz eines gewöhnlichen Ein-Kamera-Rückfahrsystems eine ähnliche Rundumsicht wie bei Surround View Systemen erzeugt werden kann. Die Grundidee ist, das aktuelle und die vorherigen Kamerabilder in eine gemeinsame Straßendraufsicht umzurechnen. Während der Fahrt werden die einzelnen Kamerabilder entsprechend transformiert und kontinuierlich gemäß der Fahrzeugbewegung zusammengesetzt (vgl. Abb. 1 gelbe Trapeze). Die zuvor aufgenommenen Bildinformationen wandern während einer Rückwärtsfahrt schließlich unter das Fahrzeug und ergeben eine zusammengesetzte Übersichtskarte. Beim Rückwärtseinparken kann sich der Fahrer dann an zuvor sichtbare Merkmale ausrichten.

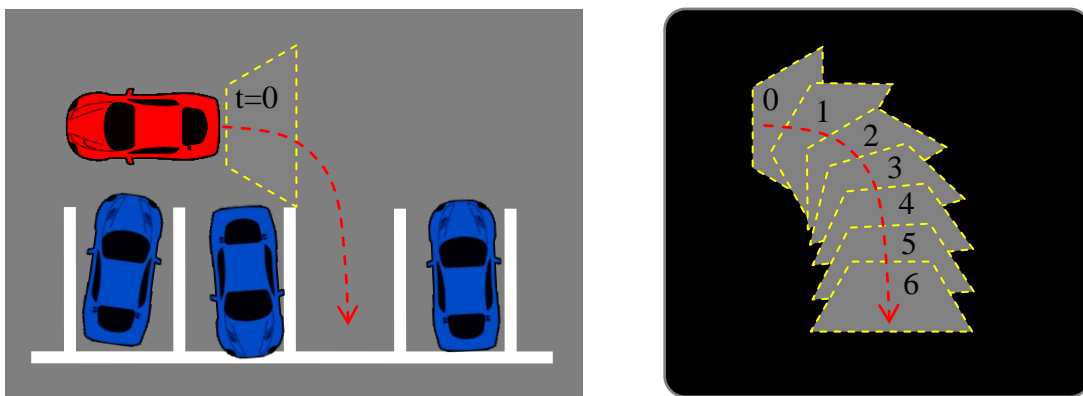


Abb. 1: Rückwärtseinparken (links), Zusammengesetzte Orthobilder (rechts)

Um eine treffende Positionierung der zuvor aufgenommenen Bildinhalte zu ermöglichen, ist eine Schätzung der Fahrzeugeigenbewegung erforderlich. Dazu werden die Fahrwerksgeometrie und Fahrzeugbewegungs- bzw. Sensordaten wie Geschwindigkeit und Lenkwinkel benötigt. Mit diesen Daten und einem Fahrzeugbewegungsmodell werden die vorherigen Positionen rekonstruiert und die Einzelbilder entsprechend ausgerichtet. Dabei werden eine ebene Fahrbahn und eine unveränderte Ausrichtung und Höhe der Rückfahrkamera zur Straße vorausgesetzt.

Sobald das Fahrzeug jedoch eine Fahrschwelle o. ä. überquert, misslingt unter Umständen der bisherige Ansatz, da sich die Ausrichtung und die Höhe der Kamera bezüglich der Straßenebene verändern (vgl. Abb. 2). Folglich werden falsche Transformationsparameter für die Umbildung der Einzelbilder angesetzt, wodurch in der zusammengesetzten Übersichtskarte unrealistische Verzerrungen entstehen. Daher wird hier auch untersucht, wie eine Höhenkorrektur für die Kamera hergeleitet wird und welche Vorteile dies bringt. Mithilfe von optischen Flussvektoren, die aus einer weiteren Verarbeitung der Bildfolge stammen, können die Höhenunterschiede näherungsweise ermittelt werden.



Abb. 2: Ebene Fahrzeugbewegung (links), Überquerung einer Fahrschwelle (rechts)

3 Erzeugung der erweiterten Rückfahransicht

3.1 Bildverarbeitung

Die vorhandenen Testsequenzen sind mit einer Rückfahrkamera mit Fisheye-Objektiv und einer Bildwiederholrate von 30 Hz aufgezeichnet. Des Weiteren steht die Bildebene schräg zur Straßenebene. Für die projektive Weiterverarbeitung wird zunächst die Fisheye-Verzeichnung des Rohbildes gemäß MEI & RIVES (2007) korrigiert. Durch eine zweidimensionale projektive Transformation zwischen Bild- und Straßenebene wird nach HARTLEY & ZISSERMAN (2003, S. 196) schließlich ein Orthobild erzeugt. Solange das Fahrzeug über eine ebene Fahrbahn fährt und sich die Kamerahöhe nicht verändert, werden die äußeren Kameraparameter als näherungsweise konstant angenommen.

3.2 Relative Orientierung gemäß Fahrzeugbewegungsmodell

Zur relativen Orientierung der einzelnen Orthobilder werden ein Einspurmodell und der Ackermannwinkel (vgl. SCHRAMM, 2010, S. 244ff) verwendet. Dieses Modell beschreibt relativ einfach die ebene Bewegung eines Fahrzeugs. Es werden insbesondere der Radstand, die Kameraposition, der aktuelle Lenkwinkel, die Geschwindigkeit und die Zeitdifferenz zwischen zwei Bildaufnahmen benötigt.

Mit diesem Vorwissen über eine idealisierte Fahrzeugbewegung kann gemäß CONEN (2013, S. 41ff) eine Transformationsvorschrift T_{Ack} aufgestellt werden, die eine Verschiebung zwischen zwei Zeitschritten beschreibt:

$$x_{t_{n+1}} = T_{Ack} \cdot x_{t_n} \quad (1)$$

Diese Transformationsvorschrift kann letztlich dazu genutzt werden, die einzelnen Orthobilder relativ zueinander zu orientieren (vgl. Abb. 3).

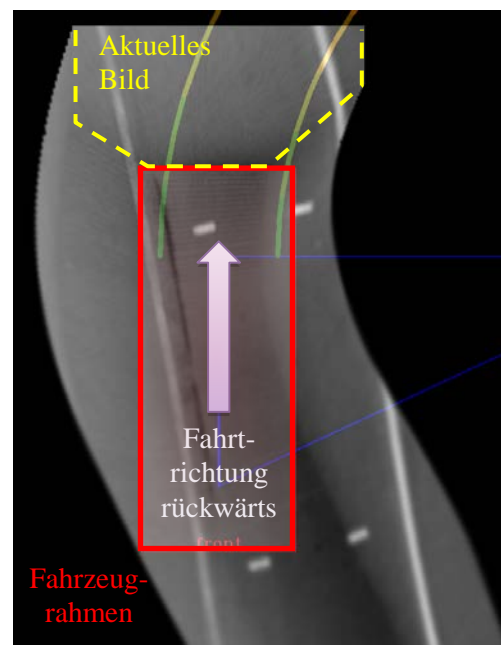


Abb. 3: Übersichtskarte ebene Fahrbahn

3.3 Höhenkorrektur bei Überquerung von Hindernissen

Sobald das Fahrzeug eine Fahrschwelle überquert, verändert sich die Höhe und Ausrichtung der Rückfahrkamera. Damit die Orthobilder, die während der Überfahrt aufgezeichnet werden, weiterhin zu den vorherigen Bildern passen und die Straßenebene korrekt abbilden, müssen die äußeren Kameraparameter für die projektive Transformation angepasst werden. Der Fokus liegt in der Berechnung einer Höhenkorrektur, da diese Komponente im Gegensatz zu den Ausrichtungswinkeln den größten Veränderungen unterliegt.

Optische Flussvektoren, die aus den unbehandelten Bildsequenzen der Rückfahrkamera berechnet werden, liefern zusätzliche Bewegungsinformationen. Im Gegensatz zu der modellierten ebenen Transformationsmatrix T_{Ack} ist das optische Flussfeld unter anderem auch

für horizontale Veränderungen sensibel. Durch einen Vergleich beider Bewegungsinformationen werden die Höhenänderungen wie folgt extrahiert:

Zunächst wird das optische Flussfeld in die orthogonale Straßenansicht überführt und bildet das Ist-Flussfeld. Mithilfe der Transformationsmatrix T_{Ack} können nun an denselben Positionen der optischen Flussvektoren Vergleichsvektoren erzeugt werden, die das Soll-Vektorfeld darstellen. Somit entstehen Vektorpaare mit einem Soll- und einem Ist-Vektor, wobei die Soll-Vektoren von dem ebenen Bewegungsmodell und die Ist-Vektoren aus dem optischen Fluss stammen (vgl. Abb. 4 links).

Wenn das Fahrzeug über eine ebene Fahrbahn fährt, sind die Vektorpaare nahezu identisch. Bei Höhenänderungen treten jedoch signifikante Differenzen auf, aus denen Höhenunterschiede abgeleitet werden können.

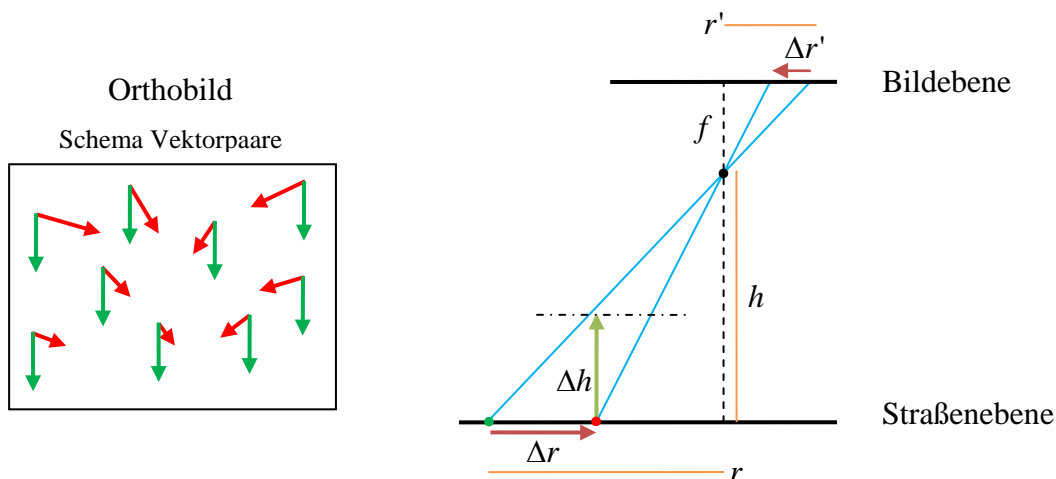


Abb. 4: Auswirkungen von Höhenänderungen (links), Höhenberechnung aus Lageversatz (rechts) (Opt. Flussvektoren = rot / Modellierte Vektoren = grün)

In der Abbildung 4 rechts wird das Prinzip der Höhenberechnung skizziert. Dabei handelt es sich um dasselbe Prinzip, das in LUHMANN (2010, S. 261) behandelt wird. Über einen Verhältnissatz zwischen der virtuellen Bildebene für das Orthobild und der tatsächlichen Straßenebene kann aus dem Lageversatz Δr ein Höhenunterschied Δh abgeleitet werden:

$$\frac{h}{r} = \frac{\Delta h}{\Delta r} \Leftrightarrow \Delta h = \frac{h}{r} \cdot \Delta r \quad (2)$$

Für jedes Vektorpaar wird somit ein Höhenunterschied berechnet und eine 3D-Koordinate konstruiert. An diesen Punkten wird nachfolgend eine Ebenengleichung (3) eingepasst.

$$z = f(x, y) = ax + by + c \quad (3)$$

Die ausgeglichenen Parameter a , b und c beschreiben die Ebene und geben Rückschlüsse auf die Neigungswinkel und die Höhe, die näherungsweise als Korrektur für die Rückfahrkamera angesetzt werden.

Da die Berechnung einer Höhenkorrektur im Fokus liegt, werden die ermittelten Neigungswinkel weniger intensiv untersucht. Erste Korrekturversuche zeigen jedoch noch keine

zufriedenstellenden Ergebnisse. Die Resultate einer alleinigen Höhenkorrektur sind hingegen vielversprechender und werden im nachfolgenden Kapitel dargelegt.

4 Ergebnisanalyse anhand einer Beispielsequenz

Die gesamte Höhenkorrektur ergibt sich aus der Summe der einzelnen Höhenunterschiede, die je Verarbeitungsschritt bzw. Bildpaar berechnet werden. Um kleinere Störungen herauszufiltern, wird außerdem ein Schwellenwert eingeführt, ab dem signifikante Höhenänderungen auftreten. Die Abbildung 5 zeigt das Ergebnis einer Testsequenz, bei der rückwärts eine Fahrschwelle mit beiden Hinterrädern überfahren wird (vgl. Abb. 2 rechts / CONEN, 2013, S. 62ff). Ab etwa 1,5 Sek. ist ein deutlicher Anstieg zu erkennen, bei ca. 1,8 Sek. befinden sich die Hinterräder auf der Schwelle und zwischen Sek. 2,25 und 2,5 ist ein Einfederungseffekt zu erkennen, der durch das Eigengewicht des Fahrzeugs entsteht. Die reale Höhe der Fahrschwelle beträgt 8 cm.

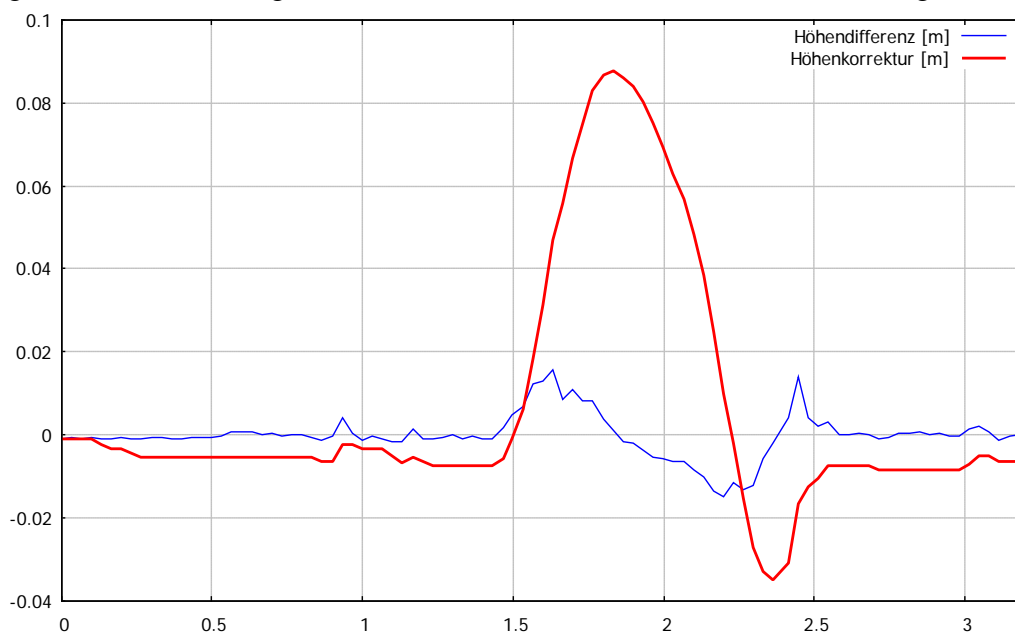


Abb. 5: Diagramm Testsequenz Fahrschwelle Höhenkorrektur

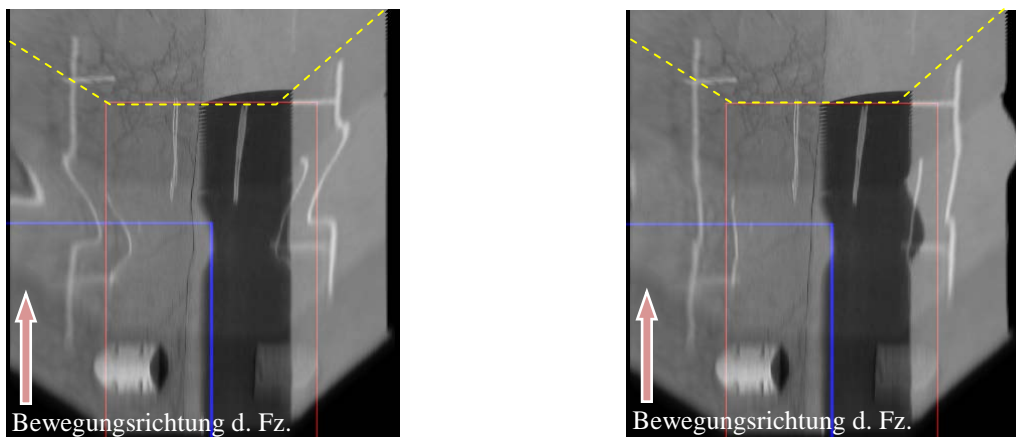


Abb. 6: Übersichtskarte Fahrschwelle ohne (links) und mit (rechts) Höhenkorrektur

Es ist zu erkennen, dass mit dem vorgestellten Verfahren eine plausible Höhenkorrektur berechnet wird, wenn das Fahrzeug eine Schwelle überquert. Die Abbildung 6 veranschaulicht das Ergebnis anhand der zusammengesetzten Übersichtskarte. Ohne Korrektur werden die weißen Linien stark verzerrt (links), mit Korrektur werden die Linien nahezu gerade abgebildet.

5 Zusammenfassung und Ausblick

Das vorgestellte Manöverassistenzsystem verbindet Methoden der Computergrafik, Photogrammetrie und Fahrzeugdynamik zu einer Gesamtlösung. Es wurde ein relativ autarkes System geschaffen, das lediglich mithilfe der Kamerabilder, der Fahrzeuggeschwindigkeit und des Lenkwinkels das bisher übliche Sichtfeld eines Rückfahrkamerasystems erheblich erweitert. Zudem werden Höhenveränderungen der Kamera erkannt und kompensiert, sodass in der zusammengesetzten Übersichtskarte fast keine Verzerrungen mehr auftreten. Mithilfe dieser Übersichtskarte kann sich der Fahrer an Parklinien oder Hindernissen neben dem Fahrzeug orientieren und sogar auf die Fahrbahn unter dem Auto blicken.

Wenn die Spezifikationen es zulassen, könnten selbst die bisherigen Rückfahrkamerasysteme um diese Funktion erweitert werden, da lediglich ein Softwareupdate notwendig wäre.

6 Danksagung

Die kompetente Unterstützung seitens Bosch hat wesentlich zum Gelingen der Arbeit beigetragen. Insbesondere war die Betreuung durch Herrn Dr. Hartmut Loos und Herrn Dr. Steffen Abraham sehr lobenswert. Ein weiterer Dank geht an Herrn Prof. Dr. Thomas Luhmann für sein Engagement seitens der Jade Hochschule.

7 Literaturverzeichnis

- CONEN, N., 2013: Entwicklung einer modellbasierten Eigenbewegungsschätzung eines Kraftfahrzeugs aus Fahrzeugbewegungsdaten und optischen Flussvektoren. Masterarbeit, Jade Hochschule Oldenburg.
- HARTLEY, R., & ZISSERMAN, A., 2003: Multiple View Geometry in Computer Vision. Cambridge University Press, Cambridge. 2. Auflage.
- LUHMANN, T., 2010: Nahbereichsphotogrammetrie. Wichmann, Berlin. 3. Auflage.
- MEI, C. & RIVES, P., 2007: Single View Point Omnidirectional Camera Calibration from Planar Grids. INRIA, Robotics and Automation, IEEE International Conference. Sophia-Antipolis, Antibes, Frankreich.
- SCHRAMM, D.; HILLER, M. & BARDINI, R., 2010: Modellbildung und Simulation der Dynamik von Kraftfahrzeugen. Springer Verlag, Berlin Heidelberg.