

Schnelle Berechnung von detaillierten Belegungsgeräten aus dichten Stereodisparitätsbildern

Henning Lategahn¹, Andreas Wege², Thorsten Graf³, Jan Effertz³, Bernd Kitt¹

1 Zusammenfassung

Der Entwicklung moderner Fahrerassistenzsysteme wurde in den letzten Jahren eine gesteigerte Aufmerksamkeit gewidmet. Ziel der aktuellen Entwicklung ist die Verbesserung des Fahrkomforts sowie eine Steigerung der aktiven Sicherheit. Besonders im städtischen Verkehr ist dazu eine umfeldwahrnehmende Sensorik von großer Bedeutung. Umfeldkarten können durch eine hohe Informationsdichte ideal Inferenz über Hindernisse der Fahrzeugumgebung, wie andere Verkehrsteilnehmer, strukturierende Randbebauungen etc. ermöglichen. Durch detaillierte Umfeldkarten können zukünftige Fahrerassistenzsysteme auf eine vollständige Wahrnehmung des Verkehrsgeschehens zurück greifen. Stereokamerasysteme liefern auf Grund ihrer hohen Bandbreite einen gut geeigneten Sensor zur Berechnung von Umfeldkarten (siehe z.B. [2, 1]).

Idealerweise muss ein System, welches Stereodaten verarbeitet, eine akkurate Umfeldkarte berechnen. D.h., die Karte muss eine Mindestauflösung bereit stellen. Gleichzeitig muss, insbesondere für große Entfernungen, das stark zunehmende Rauschen der stereo-rekonstruierten Punkte in der Berechnung mit berücksichtigt werden. Darüber hinaus muss in einem Zwischenschritt eine Klassifikation der rekonstruierten Punkte in Punkte innerhalb und oberhalb der Fahrbahn vorgenommen werden. Weiterhin sollten die verwendeten Verfahren auf Standardhardware echtzeitfähig sein.

In diesem Artikel stellen wir ein bei der VW-Konzernforschung entwickeltes gesamtheitliches System vor, welches aus externer Hardware rekonstruierten Punktwolken eine detaillierte Umfeldkarte berechnet. Das System erlaubt eine Berechnung mit feiner Zellaufösung, läuft mit Echtzeit und modelliert das Rauschverhalten des Kamerasystems.

Das vorgestellte System besteht aus einer Vorverarbeitungsstufe, gefolgt von einem 3-Schritt-Verfahren. Die Vorfilterung der Rohdaten (3D Punktwolken) dient der Datenreduktion sowie der Unterdrückung von Fehlmessungen (outlier rejection). Die vorgefilterten Daten werden dann in einer Schicht der Karte zeitlich aufintegriert welches ein Höhenprofil der Umgebung liefert. Aufbauend auf dem so gewonnenen Höhenprofil wird die aktuelle Messung in Hindernis- und Fahrbahnmessungen partitioniert. Der letzte Schritt berechnet dann, aufbauend auf den Klassifikationsergebnissen, eine Freiraumkarte mit eingetragenen Hindernissen. Die vorgestellten Einzelschritte werden im Folgenden genauer erläutert.

1.1 Vorverarbeitung

Die Vorverarbeitung dient zweierlei Dingen. Erstens, wird eine Datenreduktion vorgenommen, welche die 3D Punkte des FPGAs auf die Zellen des Karte verteilt. Zu jeder Zelle, der genügend 3D Punkte zugeordnet wurden, wird anschließend eine virtuelle Messgröße aus den zugeordneten Punkten berechnet. Alle Folgeschritte verwenden ausschließlich die virtuellen Messungen. Zweitens, findet eine Unterdrückung von potentiellen Falschmessungen (Ausreißern) statt.

Dazu wird zuerst die rekonstruierte Punktwolke in Weltkoordinaten transformiert. Jeder Punkt wird danach einer Zelle der Karte zugeordnet, so dass in jeder Zelle rekonstruierte Punkte gesammelt werden. Aus den Höhenwerten y_1, \dots, y_N der Punkte einer einzelnen Zelle wird nun die virtuelle Messung zu $z_{c,t} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N y_i$ berechnet. c bezeichnet dabei den Index der aktuell betrachteten Zelle und t bezeichnet den aktuellen Zeitpunkt. Werden einer Zelle keine oder zu wenig Punkte in einem Messschritt zugeordnet, so wird keine virtuelle Messung berechnet.

1.2 Höhenprofil

Aus den virtuellen Messungen wird die erste Schicht der Umfeldkarte gespeist, in der die Höhe über Grund zeitlich integriert wird. Jede Zelle dieser Schicht beinhaltet die aktuelle Höhenschätzung, sowie eine kurze Historie der letzten virtuellen Messungen. D.h. zum Zeitpunkt t beinhaltet Zelle c die Historie

¹Institut für Mess- und Regelungstechnik, Karlsruhe Institute of Technology (KIT)

²Carmaq GmbH, Berlin

³VW-Konzernforschung, Wolfsburg

der letzten T virtuellen Messungen $z_{c,t-1}, \dots, z_{c,t-T}$, sowie die aktuelle Höhengschätzung $\hat{h}_{c,t}$. Sobald eine neue Messung $z_{c,t}$ vorliegt wird die Höhengschätzung verbessert. Zum sequentiellen Schätzen des Höhenprofils wurden verschiedene Strategien implementiert und untersucht. Die Strategien sind:

1. Berechnung des Durchschnitts aller virtuellen Messungen

$$\hat{h}_{c,t} = \frac{1}{t} \sum_{\tau=1}^t z_{c,\tau} \quad (1)$$

$$= \hat{h}_{c,t-1} + \frac{1}{t} (z_{c,t} - \hat{h}_{c,t-1}) \quad (2)$$

2. Berechnung eines gewichteten Durchschnitts

$$\hat{h}_{c,t} = \frac{1}{\sum_{\tau=0}^{t-1} \alpha^\tau} \sum_{\tau=1}^t \alpha^{t-\tau} z_{c,\tau} \quad (3)$$

$$= \frac{1}{A_t} h_{c,t}^* \quad (4)$$

$$h_{c,t}^* = \alpha h_{c,t-1}^* + z_{c,t} \quad (5)$$

$$A_t = A_{t-1} + \alpha^{t-1} \quad (6)$$

3. Berechnung des Durchschnitts der letzten T Messungen

$$\hat{h}_{c,t} = \frac{1}{T} \sum_{\tau=t-T+1}^t z_{c,\tau} \quad (7)$$

$$= \hat{h}_{c,t-1} + \frac{1}{T} (z_{c,t} - z_{c,t-T}) \quad (8)$$

Der in der zweiten Strategie verwendete Parameter $\alpha \in [0, 1]$ bestimmt das Verhältnis der Gewichtung von alten zu neuen Messungen. Alle Höhengschätzungen können sequentiell berechnet werden, so dass die Komplexität der Höhenaktualisierung zeitlich konstant ist. Untersuchungen haben gezeigt, dass die dritte Strategie die besten Ergebnisse liefert.

1.3 Klassifikation der Höhenwerte

Um aus der aktuellen Messung eine Belegungsaktualisierung durchführen zu können, muss diese in Messungen des befahrbaren Grundes und Messungen, die zu Hindernissen gehören partitioniert werden. Die gute zeitliche Integration des Höhenprofils erlaubt dabei die virtuellen Messungen anhand des dazugehörigen Höhenprofils zu klassifizieren. Ist die Höhe der aktuellen Zelle oberhalb eines Schwellwertes, so wird die assoziierte Messung als Hindernis klassifiziert. Andernfalls wird die Messung als Fahrbahnebene klassifiziert. Aufbauend auf der so berechneten Klassifikation wird im letzten Schritt die dritte Schicht der Umfeldkarte aktualisiert.

1.4 Belegungslayer

Die Belegungswahrscheinlichkeiten der einzelnen Zellen des Belegungsschicht werden durch einen binären Bayesfilter geglättet ([3]). Jede Zelle repräsentiert dabei die Belegtwahrscheinlichkeit durch die Log-Odds-Repräsentation der Wahrscheinlichkeit die wie folgt definiert ist

$$l_t = \log \left(\frac{p(x = belegt)}{1 - p(x = belegt)} \right). \quad (9)$$

Ein Bayesupdate (siehe [3]) lässt sich effizient durch

$$l_t = l_{t-1} + \log \left(\frac{p(x|z)}{1 - p(x|z)} \right) - \log \left(\frac{p(x)}{1 - p(x)} \right) \quad (10)$$

berechnen. z kennzeichnet dabei die virtuelle Messung und x den Zustand der Zelle. Zellindizes sind der Übersicht halber ausgelassen. Entscheidend ist beim Updateschritt die Wahl des inversen Sensormodells $p(x|z)$. Das inverse Sensormodell beschreibt die Belegtwahrscheinlichkeit in Abhängigkeit vom tatsächlichen Zustand der Zelle. Im Folgenden wird die Log-Odds-Repräsentation $\log\left(\frac{p(x|z)}{1-p(x|z)}\right)$ genauer beschrieben.

Der Sichtkegel der Kamera wird vom Punkt der Kamera bis zum Sichtrand durchlaufen. Zellen die doppelt durchlaufen werden, werden hierbei jedoch nur einmal aktualisiert. Die Log-Odds-Repräsentation des inversen Sensormodells hängt nun von dem Klassifikationsergebnis der Zelle, sowie der Entfernung zur Kamera ab. Bild 1 zeigt zwei typische innerstädtische Verkehrsszenen.

2 Diskussion

In diesem Artikel wurde ein dreischrittiger Algorithmus vorgestellt, welcher aus dichten Stereodisparitätsbildern eine Umfeldkarte mit Belegungswahrscheinlichkeiten berechnet. Die von externer Hardware (FPGA) rekonstruierte Punktwolke wird dazu auf die einzelnen Zellen der Karte verteilt. Zu jeder Zelle wird in einer Vorverarbeitung eine virtuelle Messung berechnet, die für alle Folgeschritte verwendet wird. Die erste Schicht der Karte beinhaltet aktuelle Höhenschätzungen, die in einem zweiten Schritt zur Klassifikation der Messung in Fahrbahn- und Hindernispunkte verwendet wird. Drei verschiedene Aktualisierungsstrategien zur Höhenschätzung wurden implementiert und getestet. Im letzten Schritt werden die Belegtwahrscheinlichkeiten der dritten Schicht der Umfeldkarte aktualisiert.

Der vorgestellte Algorithmus ist für rein statische Szenen konzipiert. Fremdbewegte Objekte werden nicht explizit behandelt und haben Fehlbelegungen der Karte zur Folge. Eine vorgeschaltete Detektion von dynamischen Objekten kann den Umfeldkartenalgorithmus hierbei verbessern. Außerdem werden Abhängigkeiten zwischen den Zellen aus Komplexitätsgründen nicht behandelt.

Zukünftig ist eine kamerabasierte Dynamikklassifikation geplant. Aus dem Stereobildpaar soll dabei eine Liste von Objekthypothesen generiert werden. Dynamische Objekte sollen zeitlich verfolgt werden, um so die Genauigkeit zu erhöhen. Dynamikinformationen sollen in weiteren Schichten der Karte abgelegt werden, um so einer vollständigeren Umfeldbeschreibung näher zu kommen.

Literatur

- [1] H. Badino, U. Franke, and R. Mester. Free space computation using stochastic occupancy grids and dynamic programming. In *Dynamic Vision Workshop for ICCV*. Citeseer, 2007.
- [2] D. Murray and C. Jennings. Stereo vision based mapping and navigation for mobile robots. In *IEEE International Conference on Robotics and Automation*, pages 1694–1699. Citeseer, 1997.
- [3] S. Thrun, W. Burgard, and D. Fox. *Probabilistic robotics*. Intelligent robotics and autonomous agents. MIT Press, Cambridge, Mass., 3. print. edition, 2006.

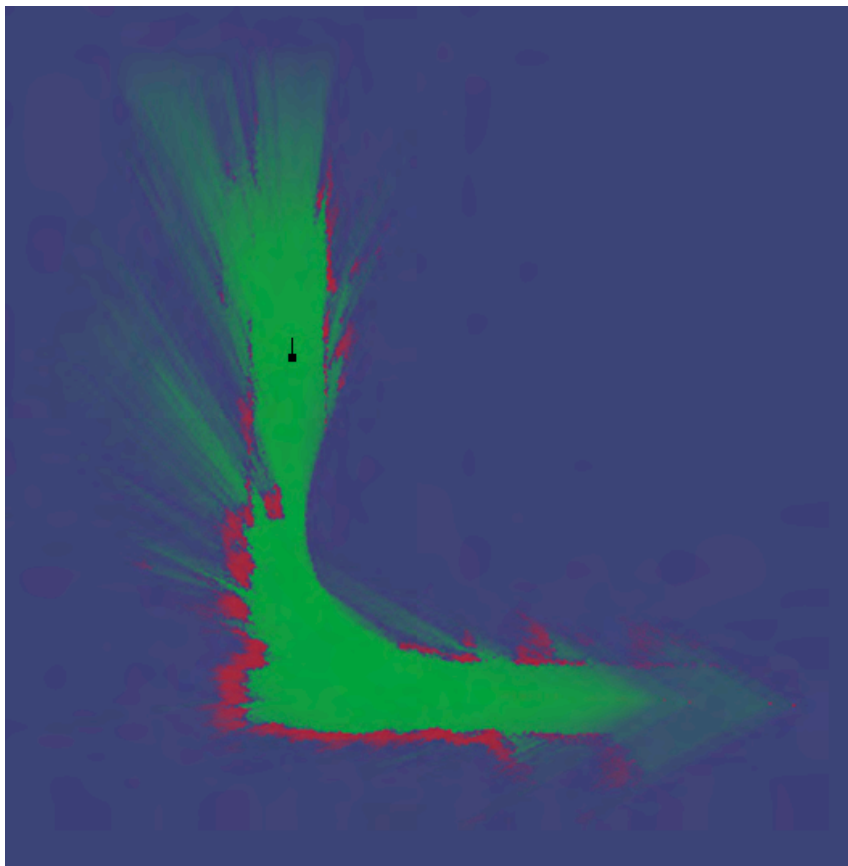
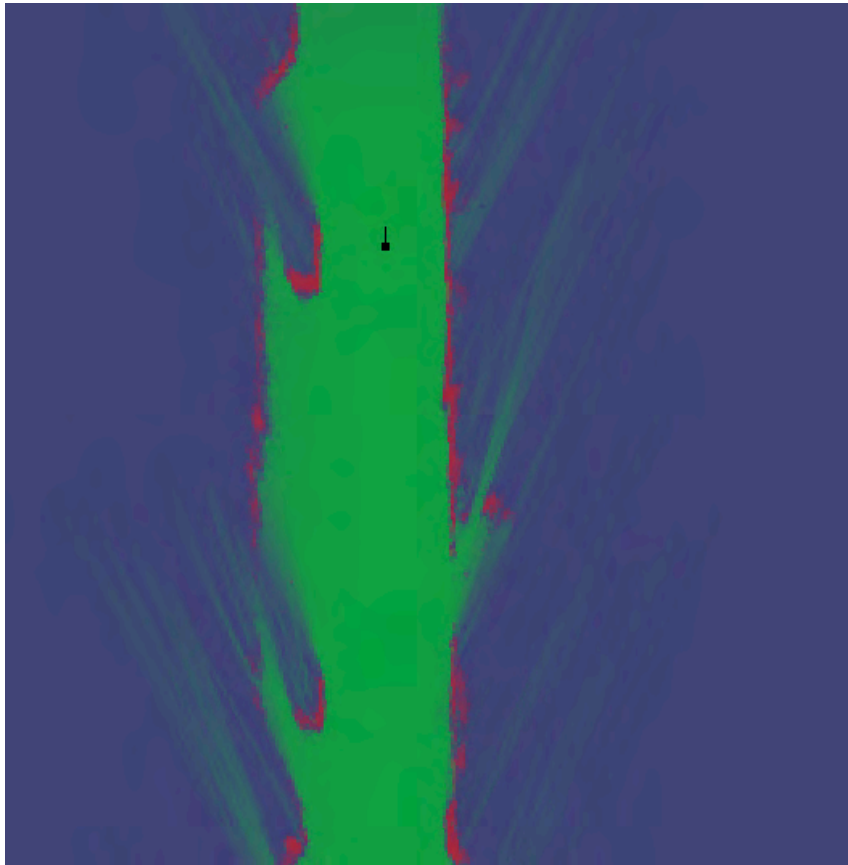


Abbildung 1: Beispiel zweier berechneter Belegungskarten

3 Autoren

Henning Lategahn
henning.lategahn@kit.edu
Karlsruhe Institute of Technology (KIT)
Department of Measurement and Control
Engler-Bunte-Ring 21
D-76131 Karlsruhe

Andreas Wege
andreas.wege@carmeq.com
Business Team Fahrerassistenzfunktionen II
Carmeq GmbH
Carnotstr. 4
D-10587 Berlin

Thorsten Graf
thorsten.graf@volkswagen.de
Volkswagen Aktiengesellschaft
Konzernforschung / Forschung Elektronik und Fahrzeug
Brieffach 1777
D-38436 Wolfsburg

Jan Effertz
jan.effertz@volkswagen.de
Konzernforschung / Forschung Elektronik und Fahrzeug
Fahrerassistenz und integrierte Sicherheit
Sensorik und Fusion K-EFFS/F
Volkswagen Aktiengesellschaft
Brieffach 1777
D-38436 Wolfsburg

Bernd Kitt
bernd.kitt@kit.edu
Karlsruhe Institute of Technology (KIT)
Department of Measurement and Control
Engler-Bunte-Ring 21
D-76131 Karlsruhe