

# Parallelisierte Steuerung hochauflösender Matrix-Scheinwerfer

## Parallelized Control of High-Definition Matrix-Headlights

Mirko Waldner und Torsten Bertram, TU Dortmund, Lehrstuhl für Regelungssystemtechnik, 44221 Dortmund, Deutschland.

### Kurzfassung

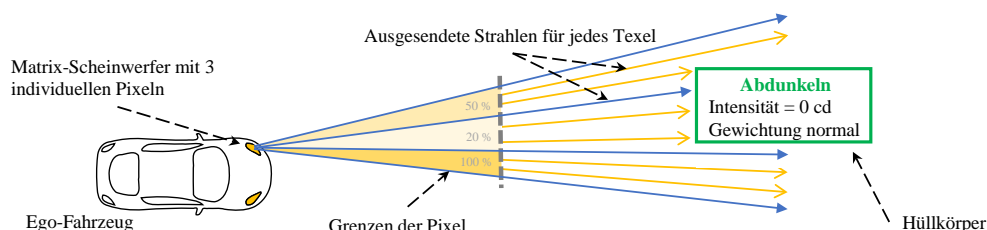
Die Wahrnehmung von Gefahrenstellen durch den Fahrer eines Kraftfahrzeugs hängt von der Qualität der Beleuchtung der aktuellen Verkehrssituation ab. Bei ungünstigen Wetterbedingungen (z.B. Regen) und/oder Dunkelheit ist die Qualität der Anpassung der Scheinwerferbeleuchtung daher sicherheitsrelevant. Ein Matrix-, Pixel- und/oder digitaler Scheinwerfer [2] muss so schnell, selektiv und vorteilhaft wie möglich auf die Situation reagieren, um den Fahrer optimal zu unterstützen und seine Wahrnehmung zu verbessern. Eine hohe Auflösung (Anzahl der einzelnen Matrix-Lichtquellen) ermöglicht ein hohes Maß an Selektivität und Adaption, erfordert aber aufgrund der großen Anzahl von Stellgrößen (Intensitäten der einzelnen Matrix-Pixel) prinzipiell mehr Rechenoperationen als niedrige Auflösungen.

Bisherige Methoden wie [1] verwenden Approximationen und Datenbanken, um die Echtzeitanforderungen zu erfüllen. Daher muss der Algorithmus für jede Strahlungscharakteristik gesondert optimiert und parametrisiert werden. Dieser Beitrag stellt einen Algorithmus zur Steuerung der adaptiven Ausleuchtung von Matrix-Scheinwerfern vor, der die optimale Beleuchtung für die aktuelle Verkehrssituation fast ohne Verwendung von offline erstellten Dimmwert-Nachschlagetabellen (außer Adaptive Front Lighting Systems (AFS) Basisklassen) und Vereinfachungen (außer der Modellierung des Scheinwerfers als Punktlichtquelle) der Abstrahlcharakteristik ermittelt. Somit kann der Algorithmus ohne Anpassung für verschiedene Scheinwerfer verwendet werden. Um die Echtzeitfähigkeit zu erreichen, wird die Steuerung der Matrix-Lichtquellen auf Subpixelebene parallelisiert. Ein Pixel bezeichnet das Strahlungsmuster einer Matrix-Lichtquelle und Subpixel eine gleichmäßige Diskretisierung dieses Musters. Das Verfahren ist bei Berechnung auf einer GPU echtzeitfähig und löst direkt die Probleme der Objektverdeckung und Kantenglättung. Damit eignet sich die Methode für die Projektion von Symbolen auf der Straße und für die Realisierung verschiedener Lichtfunktionen in Echtzeit. Mögliche Anwendungsgebiete sind das Rapid Prototyping und die Optimierung von Scheinwerferdesigns in der Systementwicklung und, falls eine GPU verfügbar ist, die Anwendung der Methode im Fahrzeug.

Der neuartige Steuerungs-Algorithmus basiert auf dem Raycasting (Strahlenausendung) zur Bildberechnung in der Computergrafik [3]. Die Bestimmung der aktuellen Intensität jedes Pixels erfolgt in zwei sequenziellen Schritten, die ihre Berechnung jeweils auf Subpixelebene parallelisieren. Nach [4] wird die Strahlungscharakteristik des Matrix-Scheinwerfers durch ebene Texturen dargestellt, deren Texel (Texturelement) den unter verschiedenen Winkeln abgestrahlten Intensitäten der einzelnen Pixel und damit diskreten Subpixeln entsprechen. Der Beitrag [4] nutzt diese Form für die Echtzeitsimulation der Beleuchtung, in dem vorliegenden Beitrag dient sie als Grundlage für die Steuerung.

In einem ersten Schritt wird für jedes Texel parallel ein Strahl ausgesandt und auf Treffer mit der Welt getestet. Jedes reale Objekt wird durch einen Hüllkörper (z.B. einen Quader) repräsentiert. Im Falle eines Treffers mit dem Hüllkörper gibt die Klasse des Objekts die Zieldaten des Texels (entspricht einer Strahlungsrichtung) an, z.B. für blendfreies Fernlicht eine Intensität von 0 cd mit einer Gewichtung von  $\infty$  für alle Matrixlichter, welche in die entsprechende Richtung des Strahls leuchten. Durch Verwendung der vorgestellten Pixel-Datenbank muss pro Richtung nur ein Strahl ausgesendet werden, da über die Textur eine effiziente Zuordnung auf die einzelnen Pixel möglich ist. Im zweiten Schritt werden alle Texel eines Pixels ausgewertet und aus ihren Daten die Soll-Intensität des Matrixlichts bestimmt. Dabei handelt es sich um eine parallelisierte gewichtete Mittelung der Sollwerte aller Texel des Pixels. Damit wird direkt eine Kantenglättung realisiert, weil der Anteil an Überdeckung zwischen Hüllkörper und Ausleuchtebereich in die Berechnung einbezogen wird.

Das Verfahren ist in Bild 1 vereinfacht dargestellt. Die Standard-Ausleuchtung des Egofahrzeuges wird hier als Reaktion auf den grünen Hüllkörper modifiziert.

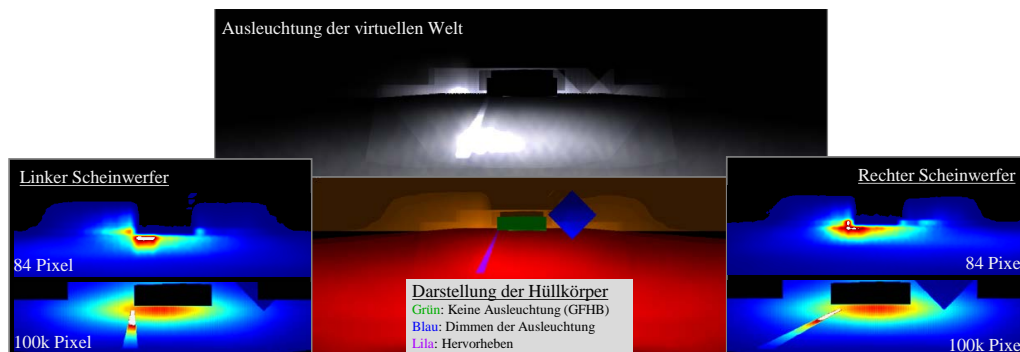


**Bild 1** Strahlenausendung (Raycasting) zur Steuerung von Matrix-Scheinwerfern.

Da in dem Beispiel die Gewichtung der Vorgabe des Hüllkörpers der Gewichtung der übrigen Umgebung entspricht, werden die Pixel proportional zum Grad der Überdeckung der Ausleuchtung mit dem Hüllkörper gedimmt. Je mehr Texel-Strahlen den Körper Treffen, desto stärker ist die Dimmung.



Der vorgestellte Ansatz wurde mit CUDA [5] zur Ausführung auf einer GPU implementiert. Bild 2 zeigt die Ergebnisse eines Szenarios, in dem ein Hüllkörper komplett ausgeblendet, ein anderer abgedunkelt und der letzte hervorgehoben bzw. stärker beleuchtet wird. Der Algorithmus wurde ohne Modifikationen für die verschiedenen Abstrahlcharakteristiken der beiden untersuchten Lichtmodule (84 und 100k Pixel) verwendet.



**Bild 2** Darstellung der Ausleuchtung einer simulierten Welt (oben Mitte) und der Intensitäten der beiden Scheinwerfer (links und rechts) in Falschfarben. Jeder Scheinwerfer besteht aus zwei Modulen (oben und unten) mit gleichem Ursprung und gleicher Ausrichtung, aber unterschiedlicher Auflösung. Die Scheinwerfer sind 1,4 m voneinander entfernt und befinden sich 0,75 m über dem Boden. Die blaue Hülle (unten Mitte) ist in der oberen Simulation unsichtbar. In einem Abstand von 150 m befindet sich eine Wand.

Die steilen Kanten um die Objekte herum und das Wiedereinschalten der Beleuchtung über dem auszublendenden Objekt zeigen, dass das Lichtmodul mit 100k Pixeln mit seiner angepassten Beleuchtung die geometrischen Zielvorgaben reproduzieren kann. Die 84 Pixel in drei Zeilen des anderen Moduls können das Szenario nicht mit der gleichen Qualität ausleuchten, was an dem unscharfen Markierungslicht (insbesondere vom rechten Scheinwerfer) zu erkennen ist. Die Überlagerung der Markierungslinien der niedrigauflösenden Lichtmodule erzeugt im Gegensatz zu den hochauflösenden Modulen keine klare Markierungslinie.

Zusätzlich zur Überprüfung der Funktionalität wurden die Berechnungszeiten auf einer RTX 2080 Ti mit einem i9-9980XE gemessen. Tabelle 1 zeigt statistische Kenngrößen für drei Lichtmodule mit 84, 30k und 100k Pixeln. Der Kolmogorov-Smirnov-Test weist die Nullhypothese einer Standardnormalverteilung für jedes vorgestellte Experiment mit einem Signifikanzniveau von 5% zurück.

**Tabelle 1** Auswertung der Berechnungszeiten in  $\mu\text{s}$  mit 800 Datenpunkten.

Anzahl Pixel	Minimum	Maximum	Mittelwert	St. Abweichung	Median	5% Quantil	95% Quan.
84	145	968	262,1	88,3	257	183,5	306,0
30k	143	821	251,2	46,5	256	176,0	299,5
100k	227	871	336,8	55,6	344	250,0	386,0

Der Median ist von 84 zu 30k Pixeln fast konstant, aber von 30k zu 100k steigt er um  $\approx 34,4\%$ . Dies wird durch Hardware-Beschränkungen verursacht, da die Hardware-Architektur nur eine begrenzte Anzahl von GPU-Threads und Speicherzugriffen „wirklich“ parallel ausführen kann.

Der vorgestellte Ansatz ist echtzeitfähig mit durchschnittlichen Berechnungszeiten unter 0,5 ms und kann für verschiedene Strahlungsmuster verwendet werden, wie in Abbildung 2 gezeigt. Durch die Verwendung der Raycasting-Methode können Probleme wie Verdeckungen und zu glättende Kanten direkt gelöst werden.

Ein nächster Schritt in der Entwicklung ist die Realisierung der Projektion von Symbolen. Damit ist es möglich, komplexere Symbole als die bisher möglichen geraden Linien vor dem Fahrzeug zu visualisieren, so dass das Fahrzeug mit dem Fahrer oder anderen Verkehrsteilnehmern kommunizieren kann.

## Literatur

- [1] B. Hummels: *Blendfreies Fernlicht*. Universität Karlsruhe (TH). Dissertation. 2009
- [2] D. Brunne und F.-J. Kalze: *Outlook on high resolution pixel light*. 12th International Symposium on Automotive Lightning-ISAAL 2017
- [3] S. D. Roth: *Ray casting for modeling solids*. Computer Graphics and Image Processing. 1982
- [4] M. Waldner und T. Bertram: *Simulation of High Definition Pixel-Headlights*. 15th International Symposium on Visual Computing. 2020. Veröffentlichung Tagungsband vsl. Dezember
- [5] J. Nickolls, I. Buck, M. Garland und K. Skadron: *Scalable Parallel Programming with CUDA*. Queue. 2008. <http://doi.acm.org/10.1145/1365490.1365500>

# DuEPublico

Duisburg-Essen Publications online

UNIVERSITÄT  
DUISBURG  
ESSEN

*Offen im Denken*

ub | universitäts-  
bibliothek

## In: Siebte IFToMM D-A-CH Konferenz 2021

Dieser Text wird über DuEPublico, dem Dokumenten- und Publikationsserver der Universität Duisburg-Essen, zur Verfügung gestellt. Die hier veröffentlichte Version der E-Publikation kann von einer eventuell ebenfalls veröffentlichten Verlagsversion abweichen.

**DOI:** 10.17185/duepublico/74031

**URN:** urn:nbn:de:hbz:464-20210216-143533-7



Dieses Werk kann unter einer Creative Commons Namensnennung - Nicht kommerziell - Keine Bearbeitungen 4.0 Lizenz (CC BY-NC-ND 4.0) genutzt werden.