

Anpassung der adaptiven Hell-Dunkel-Grenze an die Straßenqualität

Johannes L. Foltin, Robert Bosch GmbH, Postfach 1661, D-71226 Leonberg, GERMANY, johannes.foltin@de.bosch.com

C. Venkatraman, Robert Bosch Engineering and Business Solutions Ltd., CHIL SEZ Unit, Keeranatham Village, Coimbatore - 641 035 Tamil Nadu, INDIA, venkatraman.chandramowleeswaran@in.bosch.com

Christoph Schierz, Technische Universität Ilmenau, Postfach 100565, D-98684 Ilmenau, GERMANY, christoph.schierz@tu-ilmenau.de

1 Problemstellung

Moderne Fernlichtassistenten im Kraftfahrzeug wie beispielsweise AHC (Adaptive High Beam Control, auch bekannt als „adaptive Hell-Dunkel-Grenze“ aHDG oder aCOL /KaSc07/) heben die Hell-Dunkel-Grenze so weit an, dass die Sichtweite für den Fahrer erhöht wird, die anderen Verkehrsteilnehmer aber nicht geblendet werden (Abb. 1).

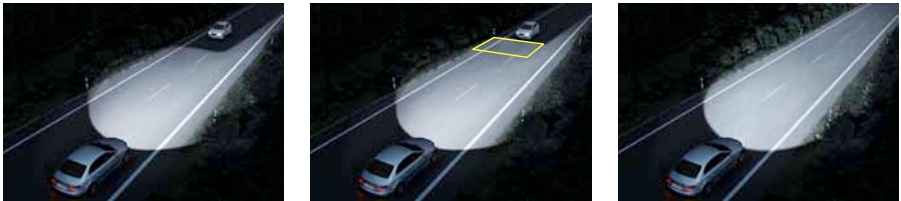


Abb. 1: Darstellungen von Abblendlicht (links), adaptivem System mit verbesserter Reichweite im Vergleich zu Abblendlicht (Mitte) und Fernlicht (rechts)

Eine in Fahrtrichtung gerichtete Kamera erkennt die anderen Verkehrsteilnehmer und schätzt deren Entfernung. Der Abstrahlwinkel der Hell-Dunkel-Grenze des Scheinwerfers wird aus der Position des anderen Verkehrsteilnehmers und einem zusätzlichen Winkelversatz (Winkel-Offset) berechnet (Abb. 3).

Der Winkel-Offset wird benötigt, um die Blendungsgefahr bei Bodenunebenheiten zu verringern. Die Nickbewegung des Fahrzeugs hat einen großen Einfluss auf die Hell-Dunkel-Grenze und dadurch auf die Sichtweite des Fahrers, sowie die Blendung anderer Verkehrsteilnehmer /Lehn01/. Wenn der Offset zu klein gewählt wird, kommt es bei Unebenheiten auf der Fahrbahn zur Blendung (Abb. 2). Die anderen Verkehrsteilnehmer können die Blendung als störendes „Aufblitzen“ der Scheinwerfer wahrnehmen. Wird der Winkel-Offset zu groß gewählt, hat der Fahrer nur einen geringen Sichtweitengewinn durch das AHC-System. Bisher wurde ein fester, statischer Winkel-Offset eingesetzt, weshalb bei der Entwicklung ein Kompromiss zwischen Sichtweitenerhöhung und Blendungsvermeidung für alle Situationen gemeinsam gefunden werden musste.

2 Verbesserung der Sichtweite durch Straßenanalyse

Die durchschnittliche Sichtweite des Fahrers kann erhöht werden, ohne die Blendung anderer Verkehrsteilnehmer zu vergrößern, indem der Winkel-Offset dynamisch an die Straßenqualität bzw. die Fahrzeugdynamik angepasst wird. Die prototypische Umsetzung des verbesserten Fernlichtassistenten ist bereits in einem Versuchsträger umgesetzt, wobei durch die Nutzung der kamera-basierten Fahrdynamikmessung auf zusätzliche Sensoren verzichtet werden kann.

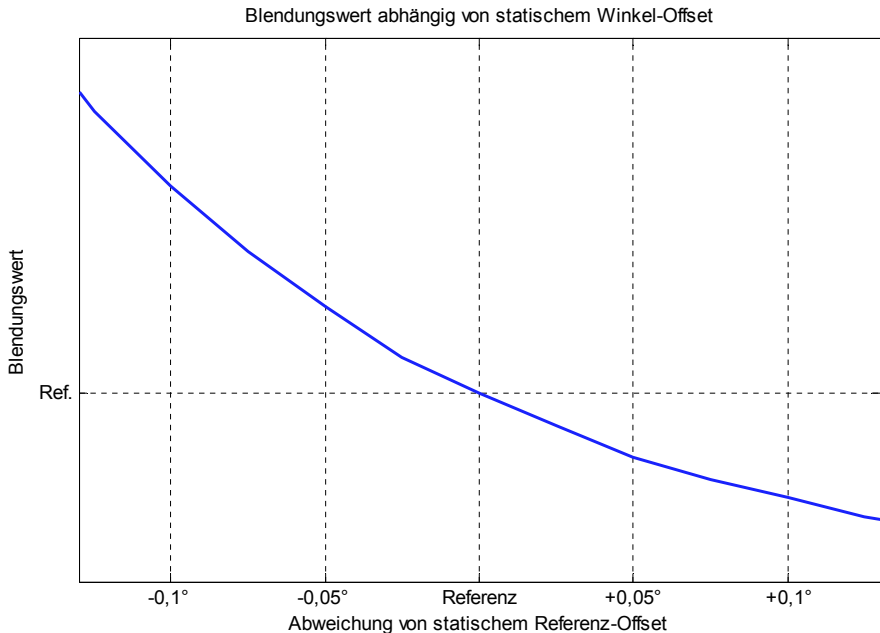


Abb. 2 : Blendungswerte abhängig von statischem Winkel-Offset

3 Systemaufbau

Im Versuchsfahrzeug ist eine serienreife Frontkamera verbaut, die ein Bild des Fahrzeug-Umfelds aufnimmt (Abb. 3). Dieses Bild wird analysiert, um beispielsweise andere Verkehrsteilnehmer bereits aus großer Entfernung zu erkennen.

Die Kamera ist fest an der Windschutzscheibe befestigt und führt daher bei Unebenheiten der Fahrbahn die gleiche Nickbewegung wie das Fahrzeug, sowie Scheinwerfer und Hell-Dunkel-Grenze durch. Neigt sich das Fahrzeug in Richtung der Fahrbahn („nach unten“), scheint sich die Umgebung in aufeinanderfolgenden Kamera-Bildern nach oben zu schieben und umgekehrt. Die Verschiebung des Fahrzeug-Umfelds im Bild kann ausgewertet werden, um die Nickrate des Fahrzeugs zu ermitteln.

Die Nickratenmessung und Berechnung des dynamischen Winkel-Offsets werden auf der Kamera durchgeführt. Zusätzliche Recheneinheiten und Sensoren werden nicht benötigt. Im Versuchsträger wurde ausschließlich für die Bewertung des verbesserten

AHC-Systems ein Inertialsensor eingebaut, der die physikalische Nickrate des Fahrzeugs für Referenzberechnungen misst (Abb. 3).

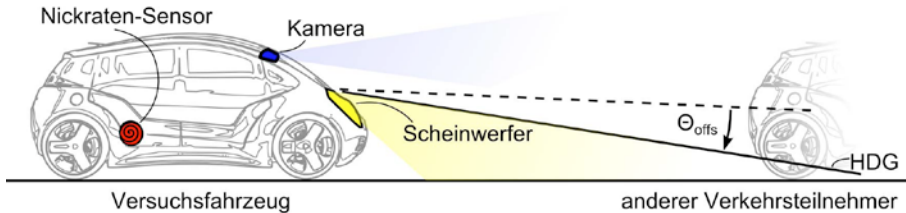


Abb. 3 : Versuchsfahrzeugs mit Kamera, Nickratensensor, Scheinwerfer mit Hell-Dunkel-Grenze (HDG) und Winkel-Offset Θ_{offs}

Das Versuchsfahrzeug ist mit Projektionsscheinwerfern ausgerüstet, die mit Hilfe einer Walze subtraktiv einen fließenden Übergang zwischen Abblendlicht und Fernlicht erzeugen können (vgl. /KaSc07/). Das elektro-mechanischen Systems besitzt eine spezifische Latenzzeit, die für eine optimale Anpassung des AHC-Systems bekannt sein muss. Die Latenzzeit der Scheinwerfer hat einen Einfluss auf die Systemauslegung und kann bei Serienscheinwerfern vom hier genutzten Wert abweichen.

Eine dynamische Leuchtweitenregulierung passt die Hell-Dunkel-Grenze selbstständig an die Fahrzeugdynamik an und hat daher, ebenso wie die Latenzzeit, einen Einfluss auf den benötigten Winkel-Offset. Im weiteren Verlauf wird davon ausgegangen, dass die Leuchtweitenregulierung des Fahrzeugs ausschließlich einen Ausgleich der Fahrzeugbelastung vornimmt.

4 Analyse der Fahrzeugdynamik für ein verbessertes AHC-System

Die relative Winkelposition des anderen Verkehrsteilnehmers ändert sich mit der Nickbewegung des Versuchsfahrzeugs. Die Kamera kann sich unmittelbar auf die sich ändernden geometrischen Verhältnisse einstellen und den neuen Winkel für die Hell-Dunkel-Grenze berechnen. Durch die Latenz des Scheinwerfers reagiert dieser immer mit einem gewissen zeitlichen Versatz. Bei kontinuierlicher Nickbewegung des Fahrzeugs entgegen der Fahrbahnoberfläche („nach oben“), sind längere Blendungsdauern als die Scheinwerfer-Latenzzeit möglich.

Der Winkel-Offset dient als Puffer, mit dem die Blendung des anderen Verkehrsteilnehmers vermieden werden soll. Bei einer ruhigen Nickbewegung des Fahrzeugs „nach oben“, reicht im Allgemeinen ein kleiner Winkel-Offset: Innerhalb der Reaktionszeit der Scheinwerfer legt das Fahrzeug nur eine kleine Winkeldifferenz zurück. Wenn hingegen das Fahrzeug eine schnelle Nickbewegung „nach oben“ durchführt, wird ein großer Winkel-Offset benötigt, um die Blendung zu vermeiden: Es wird innerhalb der Scheinwerfer-Latenzzeit ein großer Winkelunterschied zurückgelegt.

Das AHC-System kann verbessert werden, indem der Winkel-Offset an die Fahrzeugdynamik angepasst wird. Unter der Fahrzeugdynamik ist im Folgenden ausschließlich die Nickbewegung des Fahrzeugs gemeint, die beispielsweise aus der Historie der Nickraten oder Nickwinkel ermittelt werden kann. Bei einer hohen Fahrzeugdynamik wird ein großer Winkel-Offset gewählt, bei einer geringen Fahrzeugdynamik ein kleiner.

Die Fahrzeugdynamik des Fahrzeugs hängt mit der Straßenqualität (Güte der Straßenoberfläche) zusammen. Unter der Annahme, dass die Güte über einen gewissen Zeitraum konstant ist, kann der Winkel-Offset für diese Dauer konstant gehalten werden.

Aus der Historie der Nickraten (Fahrzeugdynamik) wird der in der Vergangenheit benötigte Winkel-Offset berechnet bzw. die Güte der Straßenoberfläche geschätzt und daraus der benötigte dynamische Winkel-Offset Θ_{dyn} berechnet (1). Eine Vorarbeit zur Anpassung des Winkel-Offsets an die Straßenqualität wurde in /Muel11/ bearbeitet.

Die Dauer t_{hist} der auszuwertenden Historie muss so groß gewählt werden, dass mindestens zwei für die jeweilige Fahrbahnbeschaffenheit charakteristische Ereignisse vorkommen. Wird die Dauer der ausgewerteten Historie zu groß gewählt, ist die Reaktion von einem großen Winkel-Offset zu einem aktuell benötigten kleinen Offset träge, wodurch die Sichtweite geringer als nötig ist. Eine zu klein gewählte Dauer führt zu mehr Blendung anderer Verkehrsteilnehmer.

Die Dynamik des Scheinwerfers wird in der Auslegung des adaptiven Systems mit einbezogen (1), da für einen Scheinwerfer mit einer kurzen Latenzzeit t_{latenz} im Allgemeinen ein kleinerer Winkel-Offset nötig ist als für einen Scheinwerfer mit einer langen Latenzzeit.

$$\Theta_{dyn}(t) = \int_t^{t+t_{latenz}} \dot{\Theta}(\tau) d\tau \approx \int_{t-t_{latenz}}^t \dot{\Theta}(\tau) d\tau \approx \Theta_{dyn}(t-t_{hist}) \quad (1)$$

Der dynamische Winkel-Offset Θ_{dyn} wird immer nur dann vergrößert, wenn der Offset kleiner als benötigt war. Das dadurch entstehende Blendungsrisiko kann reduziert werden, wenn ein kleiner statischer Winkel-Offset Θ_0 zusätzlich zum dynamischen Offset Θ_{dyn} addiert wird (2). Die Blendungen, die für die Aufrechterhaltung und Vergrößerung des Winkel-Offsets nötig wären, können dadurch häufig vermieden werden. Abb. 4 zeigt die Abhängigkeit des Blendungswertes vom diesem zusätzlichen Offset als Kurvenschar. Je größer der Offset Θ_0 ist, desto weniger Blendung tritt auf.

$$\Theta_{offs}(t) = \Theta_{dyn}(t) + \Theta_0 \quad (2)$$

5 Bewertung des Systems mit dynamischem Winkel-Offset

Die Verbesserung des AHC-Systems kann gemessen werden, indem ein Vergleich des dynamischen Winkel-Offsets mit dem ursprünglichen System (statischer Winkel-Offset) durchgeführt wird. Es wurde auf unterschiedlichen Streckentypen und Fahrbahnbeschaffenheiten Messungen der bildbasierten und der physikalischen Nickrate aufgezeichnet. Aus der Nickrate des Inertialsensors und der bekannten Latenz des Scheinwerfers t_{latenz} wird für jeden Zeitpunkt der optimale Winkel-Offset Θ_{opt} berechnet. Der optimale Winkel-Offset ist der minimale Offset, der für die Vermeidung von Blendung nötig ist. Aufbauend auf den Kamera-Daten wird der dynamische Winkel-Offset Θ_{offs} berechnet und mit dem tatsächlich benötigten optimalen Winkel-Offset Θ_{opt} verglichen. Wenn der berechnete (statische oder dynamische) Winkel-Offset kleiner als der optimale Winkel-Offset ist, kommt es zu Blendung. Ein ideales System würde jegliche Blendung anderer Verkehrsteilnehmer vermeiden. Bei einem realen System, wie dem Vergleichssystem mit statischem Winkel-Offset, kann die Blendung je nach Fahrzeugdynamik nicht vollständig vermieden werden.

Aus Blendungs-Ereignissen („Aufblitzen“ der Scheinwerfer) und der Dauer der Blendung wird ein Blendungswert berechnet. Der Blendungswert dient dem Vergleich der Systeme.

Es wird die Blendung für unterschiedliche Kombinationen aus Historien-Dauer und zusätzlichem Offset für die aufgezeichneten Daten berechnet. Die Blendungswerte werden mit dem Blendungswert des statischen Systems verglichen. Die Kombinationen, die zu dem gleichen Blendungs-Wert führt (z.B. Abb. 4 System ohne Offset, Offset α und β), und

6 Diskussion

Es wird eine vereinfachte Berechnung durchgeführt, um nur wenige Ressourcen des Steuergerätes zu verbrauchen. Durch komplexere Berechnungen kann das System noch besser an die Straßenverhältnisse angepasst werden. Die hier vorgeschlagene Basis-Lösung bietet insbesondere bei großen statischen Winkel-Offsets Vorteile (Abb. 5). Durch Erweiterung der Auswertung der Straßenbeschaffenheit können noch weitere Verbesserungen erzielt werden. Damit könnten die Vorteile des adaptiven Systems auch für sehr kleine statische Winkel-Offsets für den Fahrer nutzbar gemacht werden.

Bei einem System, das keine Nickratenmessung vornehmen kann, könnte prinzipiell aus der Positionsänderung des anderen Fahrzeugs im Bild auf den benötigten Winkel-Offset geschlossen werden. Dabei würde es jedoch verstärkt zu Blendung kommen, bis ein passender Winkel-Offset eingestellt ist. Durch die hier vorgestellte Auswertung der Nickrate über einen längeren Zeitraum kann im Begegnungsfall mit einem anderen Fahrzeug unmittelbar ohne Blendung ein optimaler Winkel-Offset eingestellt werden. Auf die Nutzung von zusätzlichen Inertialsensoren kann bei Verwendung der Kamera-Messdaten verzichtet werden.

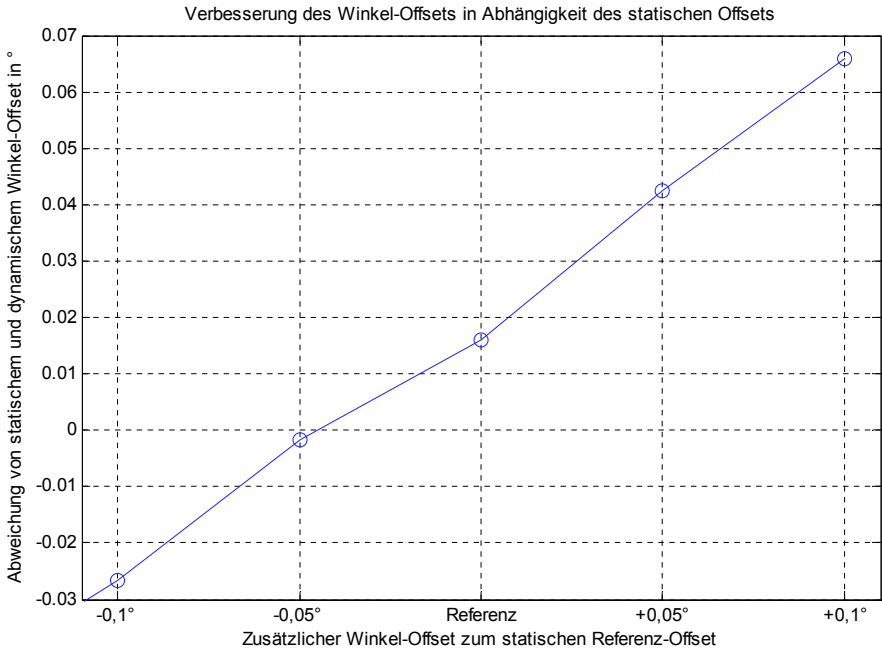


Abb. 5: Änderung des durchschnittlichen dynamischen Winkel-Offsets im Vergleich zum statischen Referenz-Offset

Die Sichtweite für den Fahrer kann, durch Nutzung der Fahrzeugdynamik in der Ansteuerung von AHC (Adaptive High Beam Control), bei gut ausgebauten Straßen im Vergleich zu einer festen Einstellung des Winkel-Offsets erhöht werden, wobei die Blendung anderer Verkehrsteilnehmer bei schlechter Straßenqualität reduziert wird.

7 Literaturverzeichnis

- /KaSc07/ F.-J. Kalze, Ch. Schmidt, „Dynamic Cut-Off-Line geometry as the next Step in forward lighting beyond AFS“, 7th International Symposium on Automotive Lighting (ISAL), S.346-354, Darmstadt, 2007
- /Muel11/ C. Müller, „Erweiterung des Ansteueralgorithmus für den Fernlichtassistenten der adaptiven Hell-Dunkel-Grenze zur Optimierung von Sichtweite und Blendung“, Bachelorarbeit, Duale Hochschule Baden-Württemberg, 2011
- /Lehn01/ P. Lehnert, „Auswirkungen der Fahrzeugdynamik auf die Lichtverteilung von Scheinwerfern“, Dissertation, Technische Universität Darmstadt, Herbert Utz Verlag, 2001