

Aufwandsminimales Bildverarbeitungssystem zur Erkennung von schwachen Verkehrsteilnehmern im Straßenverkehr

R. Hoyer^{a,1} und R. Schönrock^a

^a ifak - Institut für Automation und Kommunikation Magdeburg,
Steinfeldstraße 3, 39179 Barleben, Tel.: (039203) 810-481

Kurzfassung: Schwierige Sichtverhältnisse oder die Unaufmerksamkeit von Kraftfahrern begünstigen Unfälle mit ungeschützten Verkehrsteilnehmern wie Zweiradfahrern und Fußgängern. Zukünftige Fahrerassistenzsysteme sollen einen Beitrag zur Verbesserung dieser Situation leisten. Hierbei ist zunächst die anspruchsvolle Aufgabe zu lösen, ungeschützten Verkehrsteilnehmer zuverlässig zu identifizieren und deren Position zu erkennen. Bekannte Verfahren zur Erkennung von Gegenständen und Personen im Kraftfahrzeugumfeld arbeiten auf der Basis von Video, Radar, Lidar und Ultraschall. Allerdings ist die sichere Identifikation von Fußgängern und Radfahrern und insbesondere deren Unterscheidung von anderen Gegenständen im Fahrzeugumfeld noch nicht zufriedenstellend gelöst. Der vorgestellte Lösungsansatz besteht darin, dass potenziell gefährdete Radfahrer und Fußgänger einen speziellen Retroreflektor mit sich führen, der von der kraftfahrzeugseitigen Sensorik unter den sonstigen im Straßenraum vorhandenen Retroreflektoren zweifelsfrei erkannt wird. Ein solches kooperierendes Identifikationssystem führt zu einer drastischen Senkung des Aufwands für Sensorik und Algorithmen auf der Kraftfahrzeugseite.

Schlagworte: Verkehrssicherheit, ungeschützte Verkehrsteilnehmer, Bildverarbeitung, Sensorik, Retroreflektoren

¹E-mail: rho@ifak.fhg.de, URL: <http://www.ifak.fhg.de>

1 Einleitung

Ungeschützte Verkehrsteilnehmer wie Fußgänger und Radfahrer sind bei Verwicklung in einen Unfall in der Regel schwer betroffen. Eine häufige Unfallursache besteht beispielsweise darin, dass Radfahrer nicht oder zu spät wahrgenommen werden, was insbesondere bei Abbiegevorgängen zu Kollisionen führt. Neben der fast klassischen Konfliktsituation zwischen einem rechts abbiegenden Kraftfahrzeug und einem auf dem Radweg geradeaus fahrenden Radfahrer spielt nicht selten auch das Fehlverhalten von Radfahrern eine Rolle, wie etwa das Fahren auf der falschen Straßenseite oder ohne Licht bei schlechten Sichtverhältnissen.

In den genannten Situationen würde eine Unterstützung des Fahrers in Form einer Warnung vor der herannahenden Gefährdung das Unfallrisiko verringern. Eine Voraussetzung zur Ermittlung des situationsbezogenen Gefährdungspotenzials ist zunächst die automatische Identifikation von wahrscheinlich gefährdeten ungeschützten Verkehrsteilnehmern im Kraftfahrzeugumfeld. Die Ergebnisse des vom Bundesforschungsministerium geförderten Verbundprojekts „VESUV – Videobasiertes Assistenzsystem zur Erhöhung der Sicherheit ungeschützter Verkehrsteilnehmer“ liefern einen essenziellen Beitrag zur Lösung dieser Aufgabe.

2 Aufwandsminimale Bildverarbeitung

Die zunächst prinzipiell geeignet erscheinenden Technologien für eine Identifikation des Fahrzeugumfeldes wie beispielsweise Video, Radar, Lidar und Ultraschall verursachen in der Regel hohe Kosten für die Sensorik und insbesondere für die anschließende Bild- bzw. Signalauswertung sowie -interpretation. Es stellt sich die Frage, ob die Identifikationsaufgabe durch Einführung eines Hilfsmittels, etwa in Form einer von den ungeschützten Verkehrsteilnehmern mitgeführten unverwechselbaren Marke, effizienter gelöst werden kann. Welcher Art diese Marke sein müsste, hängt vom gewählten physikalischen Ortungsprinzip und dem eingesetzten Sensor ab. Grundsätzlich stehen sowohl Ultraschall als auch elektromagnetische Wellen verschiedener Längenbereiche für die Identifikation und Ortung einer Marke im Raum zur Verfügung. Nach ersten grundlegenden Überlegungen erschien die Nutzung von Licht am aussichtsreichsten.

Optische Marken können verschieden ausgeführt sein. Denkbar wäre ein 2D-Barcode, der für die gewünschte Erkennungsdistanz allerdings eine beträchtliche Größe einnehmen müsste. In [1] und [3] wird ein System zur elektronischen Kopplung von Lastkraftwagen beschrieben, welches auf der bildverarbeitungsbasierten Erkennung einer auf dem vorausfahrenden Fahrzeug angebrachten optischen Marke beruht. Diese hat die ungefähre Ausdehnung von 1 x 1 m². Die Sichtbarkeit der Marke wird durch entsprechend im Muster angebrachte Infrarot-Lichtemitterdioden (IR-LED) verbessert. Es ist leicht einsichtig, dass ein 2D-Barcode wegen

seiner Mindestgröße nicht als Marke für einen ungeschützten Verkehrsteilnehmer in Frage kommt. Ein Alternative zur Identifikation von räumlichen Strukturen ist die Verwendung von Retroreflektoren mit einer eindeutigen "Farbe", deren Auftrittswahrscheinlichkeit im Straßenraum hinreichend klein ist.

Durch die Ausrüstung von ungeschützten Verkehrsteilnehmern mit preiswerten Retroreflektoren lässt sich der Aufwand für eine Sensorik auf der Fahrzeugseite deutlich verringern. Somit ergibt sich hinsichtlich der Verteilung zukünftiger Einführungskosten eine neue Situation: Nicht nur der Kraftfahrzeughalter allein wird mit den Kosten für die Erhöhung der Verkehrssicherheit belegt, sondern auch der potenziell Gefährdete beteiligt sich mit einem geringen Beitrag, was wegen der eintretenden erheblichen Kostenreduktion für ein zweiteiliges Gesamtsystem jedoch gleichwohl sinnvoll erscheint.

Im Straßenraum gibt es bereits eine Vielzahl von Retroreflektoren wie beispielsweise Verkehrszeichen, Kennzeichen, Leitpfosten oder Rückstrahler. Zur Abgrenzung von diesen müssen die speziellen Retroreflektoren optische Merkmale aufweisen, anhand derer die Identifikation zuverlässig gelingt. Untersuchungen ergaben, dass die bereits vorhandenen Retroreflektoren unabhängig von ihrer Farbe immer Licht über den gesamten nahen Infrarotbereich reflektieren. Somit lässt der nahe Infrarotbereich zwischen 750 und 1000 nm Wellenlänge genügend Spielraum zur Gestaltung spezifischer Reflexionseigenschaften, also zum Design der eindeutigen „Farbe“.

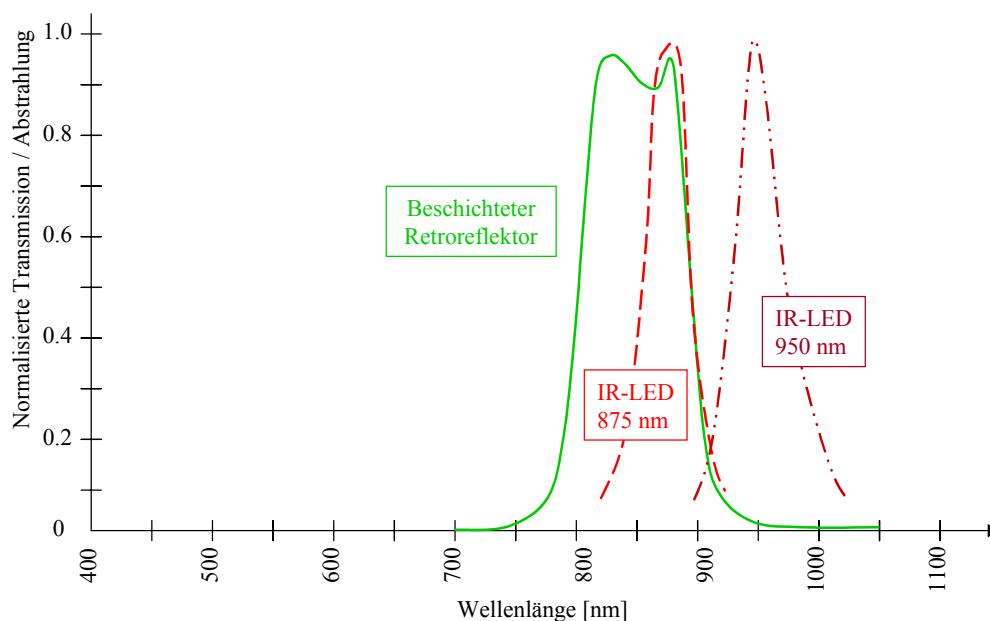


Bild 1: Optische Charakteristik der Reflektorbeschichtung und der abtastenden IR-LED

Bild 1 verdeutlicht das Funktionsprinzip [2]: Ein fahrzeugseitiges Sensormodul, bestehend aus einem IR-LED-Pool und einer Kamera, strahlt alternierend zwei Wellenlängen aus. Speziell beschichtete Retroreflektoren absorbieren das Infrarotlicht mit einer Wellenlänge von mehr als 900 nm und reflektieren Licht mit einer kürzeren Wellenlänge. Die Retroreflektoren sollen eine maximale Größe von 10 x 5 cm² haben und bis ca. 40 Meter sicher identifiziert werden können. Unter diesen Bedingungen ist sowohl die reflektierte Infrarotstrahlung als auch die Zahl der auf dem Videochip der Kamera belichteten Bildpunkte sehr klein. Der Schlüssel zur Lösung des Problems liegt in der alternierenden Aktivierung der IR-LED jeweils einer Wellenlänge synchron zum Belichtungsmoment der Bildzeilen.

Um den Signal-Rausch-Abstand zu erhöhen, wird die Belichtungszeit des Bildsensors in genau den Zeitabschnitten erhöht, in denen Infrarotlicht mit 950 nm Wellenlänge ausgestrahlt wird. Das hierdurch entstehende Abbild der natürlichen Umgebung sowie der beschichteten Spezial-Retroreflektoren und unbeschichteten Normal-Retroreflektoren auf dem Bildsensor gibt Bild 2 stark vergrößert wieder.

Fast der gesamte Bildinhalt erscheint wegen der wechselnden Belichtungszeiten gestreift, wobei natürliche Umgebung und Retroreflektoren klar zu erkennen sind. Das Kriterium zur Identifikation eines Retroreflektors mit den spektralen Reflexionseigenschaften nach Bild 1 kann nun problemlos formuliert und algorithmisch umgesetzt werden: lediglich der Phasenwechsel von hellen und dunklen Streifen muss im Kamerabild gesucht werden. Der Suchalgorithmus muss Bildzeilen i und Bildpunkte j mit einem Grauwert a_{ij} finden, welche die nachfolgenden Bedingungen erfüllen:

$$(a_{ij} - a_{(i-1)j}) > \Delta, \text{ für } i > 1) \wedge (a_{ij} - a_{(i+1)j}) > \Delta, \text{ für } i \leq m - 1), \quad (1)$$

wobei

$$0 < a_{ij} < 255, \quad 0 < i < m, \quad \text{mod}(i,2) = 0.$$

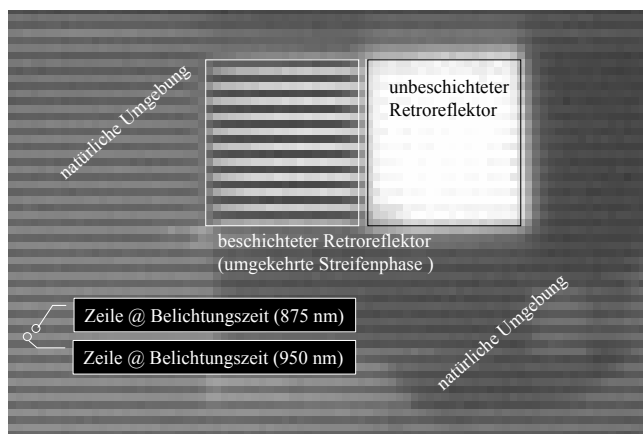


Bild 2: Kamerabild der natürlichen Umgebung mit unbeschichtetem und beschichtetem Retroreflektor

Da die Belichtungszeit am Ende der Bildzeile wechselt, kann der Schwellwert Δ sehr klein gewählt werden. Obwohl ein Schwellwert von beispielsweise $\Delta=5$ durch das menschliche Auge kaum wahrgenommen werden kann, reicht dieser Wert für eine zuverlässige Identifikation der gesuchten Retroreflektoren aus.

3 Systemarchitektur

Die Architektur des Sensorsystems zeigt Bild 3. Der Kern des Systems ist ein 16-Bit-Mikrocontroller, der folgende Funktionen erfüllt:

- die synchronisierte Ansteuerung der IR-LED,
- die Parametrisierung des Bildsensors beispielsweise für die Belichtungssteuerung,
- das Einlesen der Bilddaten vom Bildsensor,
- die Ausführung des Suchalgorithmus sowie
- die Berechnung und Ausgabe der Relativkoordinaten der identifizierten Retroreflektoren.

Es kommt ein Low-Cost-Bildsensor mit einer Auflösung von 356 x 292 Pixel zum Einsatz. Das digitale Bildsignal kann direkt vom Mikrocontroller verarbeitet werden. Alle Parameter des Bildsensors können über die integrierte I²C-Schnittstelle eingestellt und bei Bedarf online verändert werden. Der aufgebaute Prototyp erlaubt mit einem Mikrocontroller CR 167 eine Bildverarbeitungsgeschwindigkeit von 12 Bildern in der Sekunde bei einer CPU-Taktfrequenz von 40 MHz. Der vergleichsweise simple Algorithmus zum Mustervergleich kann prinzipiell auch direkt in Hardware realisiert werden, wodurch eine Verarbeitungsgeschwindigkeit von 30 Bildern pro Sekunde erreicht werden dürfte. Der nachgeschaltete Mikrocontroller übernimmt in diesem Fall nur noch Plausibilitätsprüfungen und ggf. eine Korrektur der Resultate.

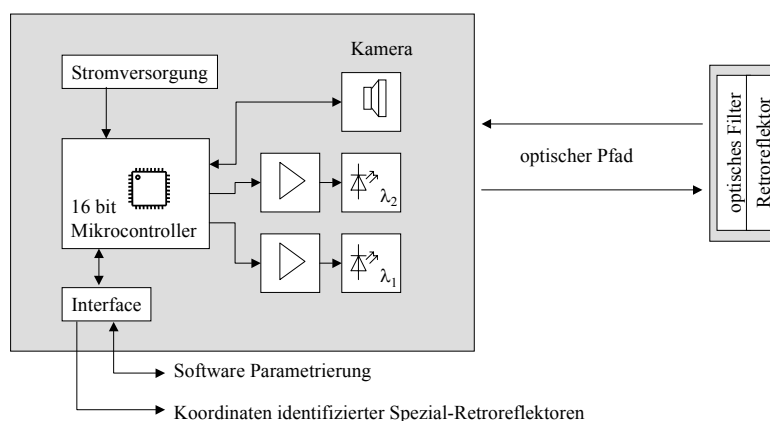


Bild 3: Systemarchitektur

Das vorgeschlagene Sensorsystem kann neben den speziell beschichteten Retroreflektoren auch aktive Marken erkennen, die ein moduliertes Infrarotlicht ausstrahlen. Aktive Marken haben den Vorteil, dass mit diesen eine größere Reichweite erzielt werden kann. Andererseits benötigen sie jedoch eine eigene Energieversorgung.

4 Feldversuch

Das entwickelte Verfahren zur Erkennung ungeschützter Verkehrsteilnehmer, welche mit einem speziell beschichteten Retroreflektor ausgerüstet sind, wurde mit dem in Bild 4 gezeigten Prototypen in realer Straßenumgebung erprobt und evaluiert.

Die Reichweite für die Identifikation eines $10 \times 5 \text{ cm}^2$ großen Retroreflektors liegt, im Einzelfall abhängig von der Umgebungshelligkeit, bei etwa 40 Metern. Mit diesem Wert konnte ein Fahrzeug unter Berücksichtigung der Reaktionssekunde beim Fahrer aus einer Geschwindigkeit von über 60 km/h rechtzeitig zum Stillstand gebracht werden.

Die Reichweite für die Identifikation eines modulierten IR-Strahlers liegt, im Einzelfall wieder abhängig von der Umgebungshelligkeit, bei etwa 70 Metern. Mit abnehmender Umgebungshelligkeit wird das System leistungsfähiger.

Die maximale Reichweite wird durch die Minimalgröße des Retroreflektors im Videobild von 3×2 Pixel bestimmt. Eine größer gewählte Dimension erhöht die Erkennungssicherheit noch einmal. Das Verfahren ist überaus robust gegenüber Blendung durch Gegenlicht und Regentropfen auf dem Objektiv.

Da für die eindeutige Erkennung von ungeschützten Verkehrsteilnehmern nur der Retroreflektor sichtbar sein muss, entdeckt das entwickelte Sensormodul auch weitgehend verdeckte Personen. Wie in Bild 5 zu sehen ist, werden alle Retroreflektoren im Detektionsbereich angezeigt.

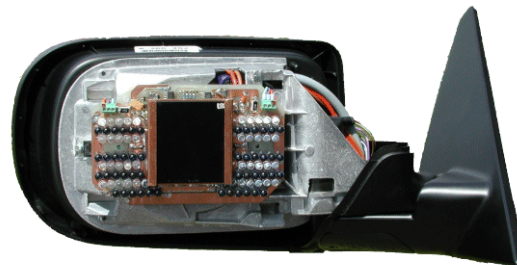


Bild 4: Integration in einen Seitenspiegel (infrarotdurchlässige Verkleidung abgenommen)



Bild 5: Erkennung von mehreren Personen

5 Zusammenfassung und Ausblick

Es wurde ein neuer Lösungsansatz zur Erkennung ungeschützter Verkehrsteilnehmer im Umfeld von Kraftfahrzeugen entwickelt, umgesetzt und umfassend erprobt. Dieser besteht darin, dass schwache Verkehrsteilnehmer wie Fußgänger und Radfahrer einen Retroreflektor mit speziellen optischen Eigenschaften bei sich tragen, den eine fahrzeugseitige Sensorik zweifelsfrei erkennt. Hiermit wird das Problem der Informationsflut gelöst, mit dem andere bildverarbeitende Verfahren üblicherweise zurecht kommen müssen.

Der in den Grundlagen entwickelte Prototyp überraschte mit der Fähigkeit, auch zum großen Teil verdeckte Personen identifizieren zu können. Diese Möglichkeit ergibt sich dadurch, dass nur der Retroreflektor erkannt werden muss, die Person selbst aber verdeckt sein kann, beispielsweise durch ein parkendes Fahrzeug. Durch die Anordnung des Sensorsystems in Scheinwerferhöhe und eine Platzierung der Retroreflektoren beispielsweise an Schuhen oder in textiler Ausführung an Hosensäumen kann ein optischer Pfad unter Kraftfahrzeugen hindurch für die Identifikation ausgenutzt werden. Derzeit ist keine andere Methode bekannt, die eine Identifikation von optisch weitgehend verdeckten Personen leisten kann.

Das prototypische System erfüllte auch die Forderung nach einer drastischen Senkung der fahrzeugseitigen Hardwarekosten. Diese beliefen sich auf ca. 150 Euro Materialwert für den schaltungstechnisch noch nicht optimierten Prototypen, der die Bildaufnahme und Bildverarbeitung bis zur Richtungsanzeige realisierte. Dies ist ein Bruchteil von dem, was üblicherweise für die Sensorik zur Fahrzeugumfelderfassung durch Laserscanner, Radar oder Video- und Bildverarbeitungssysteme aufgebracht werden muss.

Die Funktionstüchtigkeit und Effizienz des Lösungsansatzes wurde anhand eines in einen Rückspiegel integrierten prototypischen Sensor nachgewiesen (Bild 4). Versuche im realen Straßenraum erbrachten vielversprechende Ergebnisse. Es konnte gezeigt werden, dass die Identifikation von ungeschützten Verkehrsteilnehmern unabhängig von deren typischen Bewegungscharakteristiken, deren Morphologie und Farbe im sichtbaren Wellenlängenbereich möglich ist.

Die zweite Systemkomponente des kooperativen Systems, der Retroreflektor, kommt ohne eigene Energieversorgung aus. Ergänzend oder alternativ kann ein aktiver Signalgeber die Reichweite ungefähr verdoppeln. Es wird dann allerdings eine Energiequelle auf der Seite des ungeschützten Verkehrsteilnehmers benötigt.

Nicht zuletzt erwies sich das Verfahren weitgehend robust gegenüber optischen Verzerrungen, unscharfen Abbildern auf dem Bildsensor oder starker Blendung durch Gegenlicht.

Danksagung

Dem Beitrag liegen Ergebnisse des vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) im Rahmen der Initiative „Die sichere Straße“ geförderten Verbundvorhabens „VESUV – Videobasiertes Assistenzsystem zur Erhöhung der Sicherheit ungeschützter Verkehrsteilnehmer; Teilprojekt Sensor-Reflektorsystem zur Erkennung nichtmotorisierter Personen“ (Förderkennzeichen 19 S 9811E 0) zugrunde.

Literatur

- [1] Fritz: Longitudinal and Lateral Control of Two Electronically Coupled Heavy-Duty Trucks in the CHAUFFEUR Project. Proceedings 6th World Congress on Intelligent Transport Systems, Toronto, 1999.
- [2] Hoyer, Schönrock: Approach to the Recognition of non-motorised road users. Proc. 7th World Congress on Intelligent Transport Systems, Sydney 2001.
- [3] Stiller, Lorei: Sensor Systems for Truck Coupling. Proceedings 6th World Congress on Intelligent Transport Systems, Toronto, 1999.