



Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg
Hamburg University of Applied Sciences

Seminararbeit

**Bildverarbeitung für das Projekt FAUST
Focus of Expansion / optischer Fluss**

John Alberts

*Fakultät Technik und Informatik
Department Informatik
Masterkurs Informatik
Betreuer: Prof. Dr.-Ing. Bernd Schwarz
Datum: 15. Februar 2007*

*Faculty of Engineering and Computer Science
Department of Computer Science*

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	2
1 Einleitung	3
2 Begriffsklärung	3
2.1 Optischer Fluss	3
2.2 Focus of Expansion	4
3 Forschungsbereiche	4
4 Verfahren zur Erfassung des optischen Flusses	5
4.1 Berechnung	5
4.2 approximative Bestimmung	6
4.2.1 Horn-Schunck-Verfahren	6
4.2.2 Schwachstellen des Horn-Schunck-Verfahrens	8
5 Anwendungen im Automobilbereich	9
5.1 Distronic-Systems	9
5.2 Aprosys sub project 6	10
6 Zusammenfassung	11
7 Ausblick	11
Literatur	13

Abbildungsverzeichnis

1	schematische Darstellung des optischen Flusses (aus [1])	4
2	schematische Sicht eines Piloten im Landeanflug (aus [3])	4
3	Schematische Darstellung des optischen Flusses	5
4	zulässige Wertepaare für die Belegung von u und v	7
5	Erfasste optische Flussvektoren (aus [4])	10
6	Situationen die im Aprosys sub project 6 unterschieden werden (aus [8])	10

1 Einleitung

Das Projekt Fahrerassistenz- und Autonome Systeme (FAUST) ist im Schwerpunkt Technische Informatik des Masterstudiengangs der HAW-Hamburg angesiedelt. Das Projekt dient als Plattform für Untersuchungen und Entwicklungsarbeiten im Bereich verteilter Embedded Systeme mit ereignis- und zeitgesteuerten Softwareimplementierungen.

Mit dem Beginn des Projektes wurde im Wintersemester 05/06 für eine elektrisch angetriebene und gelenkte Transportplattform ein ARM- μ C/PC104-Netzwerk implementiert, mit deren SW-Komponenten ein ferngesteuertes Fahren realisiert wurde. Diese Plattform schuf die Grundlage für die ersten Masterarbeiten. Zwei dieser Masterarbeiten nutzten einen Laserscanner, um einen Brems- [2] bzw. Ausweichassistenten [9] zu realisieren. Die Ergebnisse dieser Arbeiten verdeutlichen, dass die Weiterentwicklung der geschaffenen Systeme Vertiefungen in den Bereichen der Datenerfassung und Informationsgewinnung erfordern. Die Vertiefung dieser Themen bildet daher den Schwerpunkt für die Seminararbeiten der folgenden Masterstudenten. Im Zuge dieser Arbeiten sollten die Studierenden eigenständig ihre Kenntnisse in den Bereichen der Messwertfilterung und Informationsgewinnung aus Kamerabildern vertiefen, um so geeignete Verbesserungsansätze für das bestehende System aufzeigen zu können.

Im Zuge der Fragestellung welche Möglichkeiten eine Kamera mit sich bringt, wurden Verfahren der Bildbearbeitung und Ansätze der Informationsgewinnung beleuchtet. In diesen Kontext gliedert sich die vorliegende Arbeit ein. Sie beschäftigt sich mit der Fragestellung, welche technologische Funktionalität in den Termini optischer Fluss und Focus of Expansion enthalten ist und wie die Einsatzgebiete für diese in der Automobilindustrie aussehen.

2 Begriffsklärung

2.1 Optischer Fluss

Auf der Suche nach einer Definition für den optischen Fluss (OF), sind die Schwerpunkte dieser ebenso unterschiedlich, wie die Sachgebiete in denen man fündig wird.

Im Bereich der Wahrnehmungspsychologie z.B. sind Definitionen wie die folgende zu finden: Der optische Fluss, findet statt, wenn man sich oder wenn die Umwelt sich um einen bewegt (optisches Fließmuster). Im technischen Bereich hingegen ist die folgende Definition ein repräsentatives Beispiel: Der optische Fluss repräsentiert den Verlauf der Änderungen von Bildirradianzen¹ in Bildfolgen.

Vergleicht man die unterschiedlichen Definition stellt sich jedoch heraus, dass die Formulierungen sich zwar unterscheiden, der optische Fluss aber immer die gleiche Bedeutung hat. Anschaulich formuliert ist der optische Fluss der Eindruck von Bewegung, der durch Verschiebung von Grauwerten in aufeinander folgende Bilder einer Bilderfolge vermittelt wird. Zur Verdeutlichung dieser Aussage wird auf die Abbildung 1 verwiesen. Sie zeigt in 1a und 1b einen Bildausschnitt zu den angegebenen Zeiten und in 1c das aus den Bildern resultierende Flussfeld.

Der optische Fluss kann für beliebige Bildfolgen analysiert werden, wobei auch formveränderliche Objekte wie Wolken oder Bakterienkulturen keine Sonderrolle einnehmen. Auf diese Weise kann der optische Fluss universell eingesetzt werden, um eine Bewegungsabschätzung zu berechnen.

¹Irradianz = Bestrahlungsstärke

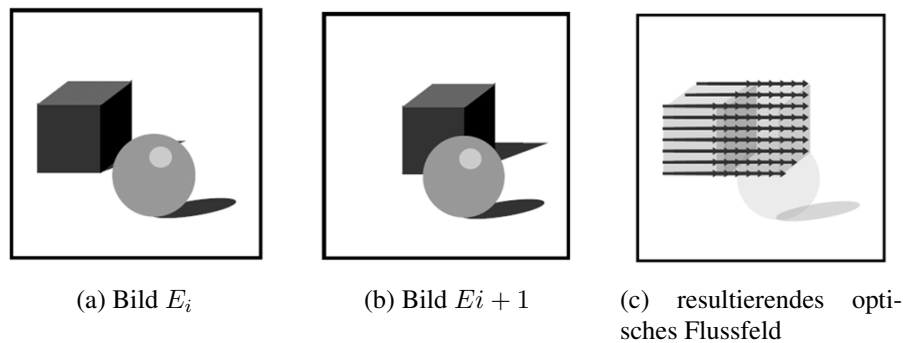


Abb. 1: schematische Darstellung des optischen Flusses (aus [1])

2.2 Focus of Expansion

Als Focus of Expansion (FoE) wird der Zentralpunkt des optischen Flusses bezeichnet. Es ist der Punkt aus dem der optische Fluss zu entstehen scheint bzw. in dem er zusammenläuft. Diese ist Abhängig von der Bewegungsrichtung. Bewegt der Betrachter sich auf den FoE zu, zeigen die Flussvektoren von diesem weg, wie die Abbildung 2 dargestellt. Bewegt man sich rückwärts auf den Zentralpunkt blickend, von diesem weg, zeigen die Vektoren alle auf dieses Zentrum. Mathematisch formuliert ist dies der Punkt, an dem die Bildiradianzen den Wert Null annehmen.

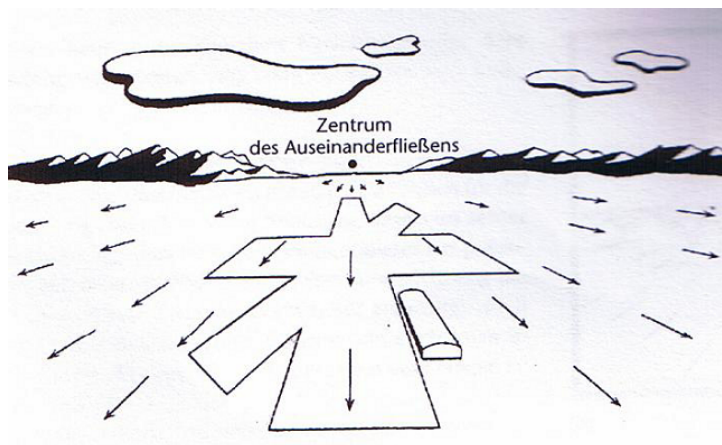


Abb. 2: schematische Sicht eines Piloten im Landeanflug (aus [3])

3 Forschungsbereiche

Im Folgenden wird aufgezeigt, in welchen Bereichen der optische Fluss von Bedeutung ist. Für das FAUST-Projekt und somit auch für diese Seminararbeit liegt der Fokus auf der technischen Bedeutung mit Hinblick auf Anwendungen in der Automobilindustrie.

- medizinische / biologische: In diesem Bereich ist der optische Fluss von Belangen, da das menschliche Gehirn in Zusammenspiel mit den Augen diesen „errechnet“ und dem Menschen so die Einschätzung von Bewegungsrichtung und Geschwindigkeit ermöglicht. Ohne diese Einschätzung wäre das Fangen eines Balles oder das Steuern eines Autos für den Menschen nicht möglich. Umfangreiche Veröffentlichungen über den Einfluss des optischen Flusses auf den Menschen sind im Bereich Wahrnehmungspsychologie unter dem Schlagwort „optisches Fließen“ zu finden.

- technische: In diesem Bereich ist der optische Fluss von Bedeutung, da durch die Erkenntnisse aus der medizinische / biologischen Forschung bekannt ist, wie der Mensch Bewegungsrichtung und Geschwindigkeit erkennen und diese einschätzen kann. Diese natürliche Fähigkeit des Menschen wird in der Technik versucht nachzubauen und in den Bereichen der Assistenz- und autonomen Systeme eingesetzt. Im Bereich des aktiven Sehens sind mit diesem Nachbau bereits sehr gute Ergebnisse erzielt worden. Veröffentlichungen findet man unter den Schlagwörtern „optical flow“, „active visions“ und „animate visions“.

4 Verfahren zur Erfassung des optischen Flusses

Bevor unter den folgenden Unterpunkten vorgestellt wird, wie der optische Fluss berechnet werden kann, wird an einem einfachen Beispiel aufgezeigt, was das Ergebnis des optischen Flusses aussagt. In der Abbildung 3 ist ein Bildausschnitt zum Zeitpunkt t und $t+1$ zu sehen. Zwischen den einzelnen Aufnahmen, kam es zu einer Verschiebung des Ausschnittes, so dass die Bildpunkte ihre Position zum Zeitpunkt $t+1$ gegenüber der Position zum Zeitpunkt t geändert haben. Der Verschiebungsvektor, der für jedes einzelne Pixel bestimmt werden kann, liefert ein Maß für diese Positionsänderung. In der Abbildung 3 ist für ein Pixel diese Verschiebung exemplarisch durch einen grünen Pfeil aufgezeigt und kann am Koordinatensystem abgelesen werden.

Die zeitliche Positionsänderung ergibt dann die Komponenten u und v des Verschiebevektors

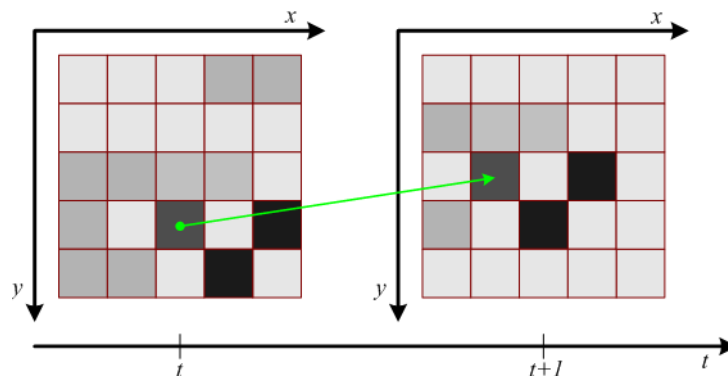


Abb. 3: Schematische Darstellung des optischen Flusses

und somit den optischen Fluss für dieses Pixel. Für das abgebildete Beispiel 3 ergibt sich so:

$$u = \frac{dx}{dt} = \frac{-1}{1} = -1 \quad (1)$$

$$v = \frac{dy}{dt} = \frac{-1}{1} = -1 \quad (2)$$

Im folgenden geht es nun um die Frage, wie die Verschiebung maschinell bestimmen werden kann.

4.1 Berechnung

Eine mathematische Berechnung des optischen Flusses ist nur unter der Randbedingung möglich, dass die Bewegungsrichtung parallel zum Helligkeitsgradienten verläuft. Da diese Situation unter normalen Umweltbedingungen selten bis gar nicht erfüllt ist, hat das exakte Berechnungsverfahren in der Praxis kaum eine Bedeutung und wird daher an dieser Stelle nicht näher betrachtet.

4.2 approximative Bestimmung

Sowohl das „klassische“ Horn-Schunck-Verfahren wie auch moderne Multigrid-Verfahren bestimmen den optischen Fluss auf approximativem Weg. Dieses geschieht unter der Annahme, dass die Änderung der Bildirradienzen zwischen zwei Bildern einer Bilderfolge durch eine relative oder absolute Objektbewegung verursacht wurde. Auch dieser Ansatz liefert unter bestimmten Randbedingungen fehlerhafte Ergebnisse, auf die im Kapitel 4.2.2 eingegangen wird, ist jedoch trotz der Schwachstellen das in der Praxis eingesetzte Verfahren. Repräsentativ für diesen Ansatz soll im Folgenden das Horn-Schunck-Verfahren vorgestellt werden, da es die Grundlage für die modernen Verfahren bildet.

4.2.1 Horn-Schunck-Verfahren

Im Zuge der folgenden Vorstellung des Horn-Schunck-Verfahren werden die Grundzüge des Verfahrens aufgezeigt. Für die mathematische Herleitung wird auf das Buch Computer Vision [6] oder Veröffentlichung [5] verwiesen.

Das Horn-Schunck-Verfahren nähert den optischen Fluss durch die Minimierung eines Fehlerterms, der sich aus dem Fehler der Glattheit des Vektorfeldes und der Horn-Schunck-Bedingung zusammensetzt, an. Für das Verständnis des Verfahrens ist es daher unablässig aufzuzeigen, was sich hinter der Glattheit des Vektorfeldes und der Horn-Schunck-Bedingung verbirgt, was im Folgenden geschieht.

Um die Horn-Schunck-Bedingung aufstellen zu können, müssen drei Annahmen getätigt werden:

1. Die Bildwerttreue, dies bedeutet, dass ein Pixel aus dem Bild zum Zeitpunkt t im Bild zum Zeitpunkt $t+1$ zwar seine Position nicht aber den Wert der Bildirradianz ändert.
2. Der OF-Vektor nur kleine Schritte beschreibt, so dass die Linearitätsannahme der Bildfunktion gerechtfertigt ist.
3. Ein konstantes normiertes Zeitintervall für die formale Vereinfachung.

Wenn diese Annahmen gelten, lässt sich die folgende Horn-Schunck-Bedingung für jedes Pixel aufstellen:

$$0 = E_x u + E_y v + E_t \quad (3)$$

Hierbei beschreiben u und v die unbekannten Komponenten des OF-Vektors. E_x, E_y beschreiben die örtliche und E_t die zeitliche Ableitung der Bildirradianz. Die Ableitungen der Bildirradianz kann bei der Betrachtung der Lösung vorausgesetzt werden, da für diese approximative Lösungen für Folgen diskreter Bilder existieren. Die Horn-Schunck-Bedingung schränkt die möglichen Werte des optischen Flusses somit auf einen Gerade des uv -Raumes ein, wie die Abbildung 4 verdeutlicht.

Geht man nun zusätzlich davon aus, dass benachbarte Oberflächenpunkte eines sich bewegendes Objektes in etwa die selben lokalen Verschiebungsvektoren besitzen, kann die Glattheit des Vektorfeldes des optischen Flusses als gegeben angenommen werden. Diese ist mathematisch gegeben, wenn die erste Ableitung des Vektorfeldes den Wert Null annimmt 4.

$$0 = \left(\frac{\partial u}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial u}{\partial y} \right)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial y} \right)^2 \quad (4)$$

In der Praxis ist für die Glattheit ein Wert "dicht bei Null" gefordert.

Formuliert man nun die Gleichungen 3 und 4 als Kostenfunktionen, erhält man die Gleichungen

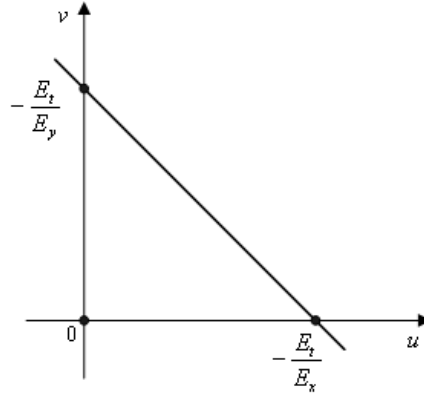


Abb. 4: zulässige Wertepaare für die Belegung von u und v

5 und 6. Als Kostenfunktionen werden die Gleichungen bezeichnet, da ihr Ergebnis ξ einen Wert für den entstandenen Fehler zurückliefert. Dieser Fehler ist auf die Wertebelegung für u und v zurückzuführen. Je kleiner der entstandene Fehler ist, umso besser repräsentiert die gewählte Belegung die reale Verschiebung.

$$\xi_b = E_x u + E_y v + E_t \quad (5)$$

$$\xi_c^2 = \left(\frac{\partial u}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial u}{\partial y} \right)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial y} \right)^2 \quad (6)$$

Eine Zusammenfassung der beiden Gleichungen ergibt die Gesamtkostenfunktion:

$$\xi = \int \int (\alpha^2 \xi_c^2 + \xi_b^2) dx dy \quad (7)$$

Der Wert α wird dabei so gewählt, dass das Rauschen des realen Messverfahrens kompensiert wird.

Durch die Minimierung des Gesamtfehlers können so die Komponenten u und v des OF-Vektors und somit der optische Fluss bestimmt werden.

Für die Optimierungsaufgabe

$$\xi(u, v) \rightarrow \text{Minimum} \quad (8)$$

bieten sich die diskrete Iteration und oder die Euler-Lagrange-Gleichungen an. Die diskrete Iteration würde leider den Rahmen dieser Arbeit sprengen, so dass an dieser Stelle nur auf die Euler-Lagrange-Gleichungen eingegangen wird. Bei Interesse ist die diskrete Iteration der Horn-Schunck-Gesamtkostenfunktion im Buch Computer Vision [6] oder der Diplomarbeit [1] nachzulesen.

Die Minimierung der Gesamtkostenfunktion erfordert die Lösung des folgenden Ausdrucks:

$$\min_{(u, v)} \int_x \int_y (\alpha^2 \xi_c^2 + \xi_b^2) dx dy \quad (9)$$

Diese ist durch die Euler-Lagrange-Gleichungen bestimmt, welche für ein Integral der folgenden Form

$$\xi u, v = \int_x \int_y J(x, y, u, v, u_x, u_y, v_x, v_y) dx dy \quad (10)$$

die folgenden Gleichungen ergeben:

$$\partial_x J_{u_x} + \partial_y J_{u_y} - J_u = 0 \quad (11)$$

$$\partial_x J_{v_x} + \partial_y J_{v_y} - J_v = 0 \quad (12)$$

Die tiefgestellten Symbole bezeichnen hierbei die Ableitung nach der jeweiligen Komponente. Für die Horn-Schunck-Glattheitsbedingung ergeben sich die einzelnen Terme als

$$J_{u_x} = 2\alpha u_x \quad (13) \quad J_{u_y} = 2\alpha u_y \quad (15)$$

$$J_{v_x} = 2\alpha v_x \quad (14) \quad J_{v_y} = 2\alpha v_y \quad (16)$$

und

$$J_u = 2E_x (E_x u + E_y v + E_t) \quad (17)$$

$$J_v = 2E_y (E_x u + E_y v + E_t) \quad (18)$$

Setzt man die Terme 13 bis 18 in die Euler-Lagrange-Gleichungen 11 und 12 ein und dividiert durch 2 ergeben sich die folgenden Ausdrücke:

$$\partial_x \alpha u_x + \partial_y \alpha u_y - E_x (E_x u + E_y v + E_t) = 0 \quad (19)$$

$$\partial_x \alpha v_x + \partial_y \alpha v_y - E_y (E_x u + E_y v + E_t) = 0 \quad (20)$$

Der konstante Faktor α kann dabei vor das Differential gezogen werden, womit sich unter der Berücksichtigung, dass $\partial_x u_x$ nichts anderes als u_{xx} ist, die folgenden Ausdrücke ergeben.

$$\alpha u_{xx} + \alpha u_{yy} - E_x (E_x u + E_y v + E_t) = 0 \quad (21)$$

$$\alpha v_{xx} + \alpha v_{yy} - E_y (E_x u + E_y v + E_t) = 0 \quad (22)$$

Ersetzt man nun $(u_{xx} + u_{yy})$ durch den Laplace-Operator

$$\delta u := \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \quad (23)$$

ergeben sich die folgenden von Horn-Schunck vorgestellten partiellen Differentialgleichungssysteme mit homogenen Dirichlet-Randbedingungen²:

$$\delta u - E_x (E_x u + E_y v + E_t) = 0 \quad (24)$$

$$\delta v - E_y (E_x u + E_y v + E_t) = 0 \quad (25)$$

Die Lösung dieser Gleichungssysteme liefert für jedes Pixel einen Verschiebungsvektor und somit eine Aussage über den optischen Fluss des jeweiligen Bildpunktes. Für die Randpunkte muss wie bereits erwähnt eine gesonderte Betrachtung erfolgen.

4.2.2 Schwachstellen des Horn-Schunck-Verfahrens

Die Schwachstellen des Verfahrens, über den optischen Fluss auf Bewegung zu schließen, liegen in der Forderung der Bildwerttreue begründet und lassen sich auch nicht eliminieren. Es gibt zwei Situationen, die zu Fehlinterpretationen führen können und auf die im Folgenden hin-

²Als Dirichlet-Randbedingung (nach Peter Gustav Lejeune Dirichlet) bezeichnet man im Zusammenhang mit Randwertproblemen bei Differentialgleichungen, Werte, die auf dem jeweiligen Rand des Definitionsbereichs von der Funktion angenommen werden sollen

gewiesen wird.

Die erste Fehlersituation tritt ein, wenn die Lichtquelle zwischen zwei Aufnahmen eines sich in Ruhe befindenden Gegenstand ihre Position verändert. Diese Veränderung der Beleuchtung führt zu einer Änderung der Bildirradianzen und wird bei der Auswertung durch das Horn-Schunck-Verfahren einen optischen Fluss ergeben. Schließt man nun vom optischen Fluss auf eine Bewegung des Gegenstandes, kommt es zu einer Fehleinschätzung der realen Umgebung. Auch die zweite Fehlersituation führt zu einer Fehleinschätzung und tritt ein, wenn eine Kugel mit konstanter Oberflächenbeschaffenheit vor der Kamera rotiert. In diesem Fall liefert die Kamera gleich bleibende Aufnahmen, so dass das Horn-Schunck-Verfahren keinen optischen Fluss ermitteln kann und somit die Interpretation zu der Aussage kommen würde, dass sich die Kugel in Ruhe befindet.

Beide Situationen sollten im Hinterkopf behalten werden, stellen aber in praktischen, technischen Anwendungen eher kein Problem da. Vielmehr werden diese Schwachstellen zum Teil sogar von Vorteil, da z.B. eine homogene Straße so keinerlei Verschiebungsvektoren liefert und so den auszuwertenden Datensatz überschaubar hält.

5 Anwendungen im Automobilbereich

In der Automobilindustrie gibt es stetig das Bestreben den Komfort und die Sicherheit zu erhöhen. In diesem Zusammenhang finden Assistenzsysteme immer mehr Einzug in die handelsüblichen Automobile. Am Beispiel einer Erweiterung für das bestehende Distronic-System von Daimler-Chrysler und dem Forschungsprojekt Aprosys sub project 6 (Side Impact Protection) der Europäischen Union soll im Folgenden aufgezeigt werden, wie die Bestimmung des optischen Flusses Einzug in den Straßenverkehr erhalten hat bzw. erhalten könnte.

5.1 Distronic-Systems

Das Distronic-System ist ein Assistenzsystem das bei der Marke Daimler-Chrysler im Oberklassensegment bereits zum Einsatz kommt. Es hat die Aufgabe, den nötigen Sicherheitsabstand durch eine Abstandsregelung einzuhalten und somit das Unfallrisiko zu vermindern. Hierfür greift das System auch aktiv ein und stellt den Sicherheitsabstand durch Verminderung der Geschwindigkeit wieder her. Die Abstandsüberwachung wird durch eine Radarmessung durchgeführt, hat jedoch auf Grund des geringen Öffnungswinkels von neun Grad eine Schwachstelle im Bereich der Früheinscherer. Als Früheinscherer wird in diesem Zusammenhang ein Fahrzeug bezeichnet, das auf die Fahrspur einschert ohne den Sicherheitsabstand einzuhalten. Ein solcher Früheinscherer würde von der Radarerfassung erst recht spät erfasst und zu einem abrupten Bremsmanöver führen. Dieses ist aus zweierlei Gründen unerwünscht. Zum einen kann das System bis zur Erfassung des Früheinscherers nicht auf diesen reagieren, so dass das System im Hinblick auf diese Gefahrenquelle quasi offline ist. Zum anderen würde der plötzlich erfasste Früheinscherer eine recht starke Geschwindigkeitsverminderung verursachen, was wieder ein potentiell Risiko darstellt. Auf Grund dieser Tatsache ist das System um eine Kamera erweitert worden, die durch einen wesentlich größeren Öffnungswinkel von etwa 48 Grad den Früheinscherer schon erfassen kann, wenn dieser sich noch auf seiner Fahrspur befindet. Über die Berechnung des optischen Flusses wird die Bewegungsrichtung der erfassten Fahrzeuge ermittelt und als zusätzliche Entscheidungshilfe an das Distronic-System weitergereicht. Kommt es nun zu einem Früheinschervorgang, bei dem die Bewegungsrichtung des Einscherenden signalisiert, dass dieser sich vom Fahrzeug wegbewegt, kann vom abrupten Bremsmanöver abgesehen werden und durch eine leichte Geschwindigkeitsreduktion der Sicherheitsabstand

schnell wieder hergestellt werden. Die Abbildung 5 verdeutlicht hierbei, dass sich die Menge der auszuwertenden Daten in Grenzen hält. Die farbigen Linien repräsentieren die durch den optischen Fluss ermittelten Verschiebungsvektoren, wobei in dieser Darstellung der Farbcode den Betrag des Vektors oder auf die Situation bezogen die Geschwindigkeitsdifferenz des Objektes im Vergleich zum Fahrzeug aufzeigt. Die gefundenen Vektoren werden zu Vektorfeldern zusammengeschlossen und bilden so ein Objekt welches überwacht wird. An Hand der in der Abbildung 5 aufgezeigten Vektoren ist deutlich der potentielle Früheinscherer auszumachen, so dass eine Auswertung seines Bewegungsverhaltens keinerlei Probleme mit sich bringen sollte.

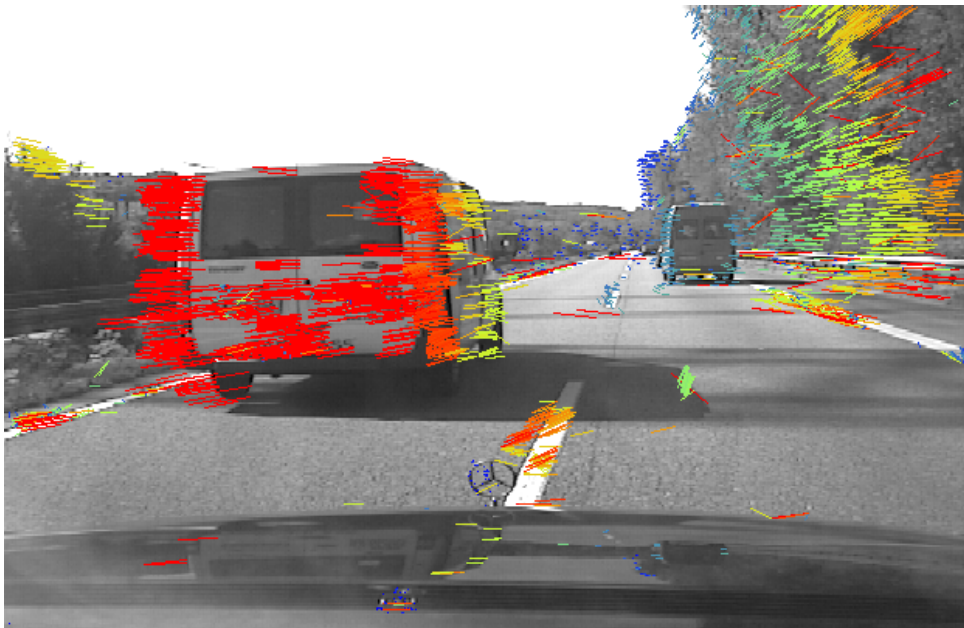


Abb. 5: Erfasste optische Flussvektoren (aus [4])

5.2 Aprosys sub project 6

Ein weiteres interessantes Projekt ist das Aprosys sub project 6 [8]. Es beschäftigt sich mit der frühzeitigen Erkennung von potentiellen Unfallsituationen. Hierbei werden die in der Abbildung 6 gezeigten Situationen unterschieden.

Im Projekt kommt eine Kamera zum Einsatz, die den Bereich links vor dem Fahrzeug über-



Abb. 6: Situationen die im Aprosys sub project 6 unterschieden werden (aus [8])

wacht. Aus den so erhaltenen Daten werden Information über die Bewegung mögliche Unfallgegner, Kollisionszeitpunkte und die Kollisionswahrscheinlichkeit errechnet. Hierbei kommen Verfahren zur Bestimmung des optischen Flusses zum Einsatz, um die Geschwindigkeit und Bewegungsrichtung der sich nähernden Gefahrenpotentiale zu bestimmen. Der Focus of Expan-

sion liefert dabei die eigenen Fahrtrichtung, so dass errechnet werden kann, welche Gefahrensituation wirklich auf der Fahrstrecke zum Passierzeitpunkt berücksichtigt werden müssen. Die gewonnen Informationen werden ständig überprüft und für den Fall, dass ein Unfall „vorhergesehen“ wird, genutzt, um geeignete Maßnahmen zur Unfallvermeidung einzuleiten. Angedacht ist zusätzlich die Erweiterung des Systems um einen Laserscanner, der genaue Abstandswerte zu den potentiellen Unfallpartnern liefern soll. Dass hier ein Laserscanner und nicht Radar zum Einsatz kommen soll, wird damit begründet, dass diese Technologie als unbedenklicher für die Umwelt eingestuft wird.

6 Zusammenfassung

Diese Seminararbeit erklärt die Bedeutung des optischen Flusses und des Focus of Expansion. Nach einer allgemeinen Begriffsklärung wird auf die Bereiche eingegangen, in welchen der OF von Bedeutung ist und aufgezeigt wie dieser bestimmt werden kann. Hierfür wird das Horn-Schunck-Verfahren detailliert vorgestellt und auf die Fälle in denen es versagt hingewiesen. Durch diese Verfahren besteht die Möglichkeit den optischen Fluss aus beliebigen Bilderfolgen zu ermitteln und so die Bewegungsrichtung und Geschwindigkeit der Objekte abzuschätzen. Dieses Verfahren findet bereits Einsatz im Kfz-Bereich bzw. in der aktuellen Forschung zur Verbesserung der Verkehrssicherheit, was an zwei Beispielen aufgezeigt wird. Diese Arbeiten weisen nach, dass eine Bewegungsschätzung auf Basis der Bestimmung des optischen Flusses mit der heutigen Technik möglich ist und somit einem Einsatz des Verfahrens nichts mehr im Wege steht.

7 Ausblick

Nachdem nun geklärt ist, was sich hinter dem optischen Fluss bzw. dem Focus of Expansion verbirgt, werden im Folgenden Einsatzbereiche für die Bestimmung des optischen Flusses im FAUST-Projekt aufgezeigt.

Nahe liegend wäre natürlich ein „Nachbau“ der vorgestellten Arbeiten aus der Automobilindustrie. Auch wenn dies sicher einen gewissen Reiz hat, würden diese Arbeiten das FAUST-Projekt nur bedingt vorantreiben. Es würden weitere Assistenzsysteme geschaffen, deren Entwicklung den Erfahrungshorizont der Entwickler sicher erweitern würde, jedoch für das Gesamtprojekt nur eine Einzelerweiterung darstellt.

Für das Gesamtprojekt würde die Erweiterung eines bestehenden Assistenzsystems um den Informationsgewinn des optischen Flusses mehr Nutzen bringen, da eine solche Arbeit neben den Erfahrungen im Bereich der Ermittlung des optischen Flusses auch Erfahrungen im Bereich der Datenfusion mit sich bringt. Arbeiten in diesem Bereich sind für den Praxisbezug essentiell notwendig, da jede Informationsquelle Schwachstellen mit sich bringt und die Fusion mehrerer Informationsquellen der einzige Weg ist, diese zu umgehen, wie das Beispiel des Distronic-Systems [4] verdeutlicht.

Einen weiteren Ansatzpunkt liefert der Bereich Autonomie. Bisher fährt die Transportplattform nur ferngelenkt und hat durch einige Assistenzsysteme teilautonome Möglichkeiten wie z.B. das Bremsen vor Hindernissen oder das eigenständige Einparken. Ein autonomes Fahren ist jedoch zurzeit nicht möglich, obwohl dieser Aspekt in der Industrie immer größere Bedeutung erlangt.

In diesem Bereich könnte mit einer Arbeit angesetzt werden, die über den optischen Fluss die Fahrtrichtung bestimmt und somit den Verbleib auf der Fahrspur sicherstellen könnte. Bei Ent-

wicklung eines solchen „Spurassistenten“ ist jedoch zu berücksichtigen, dass neben der Ermittlung der Fahrtrichtung auch eine Erkennung der Spur nötig ist, was den Umfang dieser Arbeit sicher um einiges erhöht, da zur Zeit keine Arbeiten an der HAW vorliegen, auf die zurückgegriffen werden kann. Prinzipielle Ansatzmöglichkeiten für die Erkennung der Fahrtrichtung und der Spurverfolgung könnte hierbei die Wahrnehmungspsychologie [3] liefern.

Neben den hier aufgezeigten Ansätzen, gibt es sicher noch eine Vielzahl anderer Möglichkeiten. Berücksichtigt werden sollte jedoch immer die Schwachstellen, die einerseits in Kapitel 4.2.2 vorgestellt wurden, andererseits schon in der Kamera begründet liegen, da zumindest eine „normale“ Kamera bei Dunkelheit oder Nebel nur bedingt verwertbare Informationen liefert.

Literatur

- [1] CHRISTADLER, Iris: *Mehrgitterverfahren für die Berechnung des Optischen Flusses mit Nicht-Standardregularisierungen*, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, Diplomarbeit, 2004. <http://www.lrz-muenchen.de/~christadler/da/ausarbeitung.pdf>
- [2] CORDES, Stefan: *Automatischer Bremsassistent auf Basis einer Laserscanner-Abstandserfassung für ein fahrerloses Transportsystem*, Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg, Masterarbeit, 2006
- [3] GOLDSTEIN, E.B.: *Wahrnehmungspsychologie*. Spektrum Akademischer Verlag, 2002. – ISBN 3–8274–1083–5
- [4] HOHAUS, Dominik: *Erkennung von Früheinscherern mittels monokularer Kamerasysteme*, Universität Siegen, Diplomarbeit, 2004. <http://www.ezls.fb12.uni-siegen.de/lehre/WebOne/index.htm>
- [5] HORN, B.K.P. ; SCHUNCK, B.G.: Determining Optical Flow. In: *A.I. Memo 572* Massachusetts Institute of Technology (1981)
- [6] KLETTE, Reinhard ; KOSCHAN, Andreas ; SCHLÜNS, Karsten: *Computer Vision*. Friedr. Vieweg Sohn Verlag/GWV Fachverlage GmbH, Wiesbaden, 1996. – ISBN 3–528–06625–3
- [7] MÖLLER, Christian: *Paralleler Optischer Fluss in 3D*, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, Studienarbeit, 2004. http://www10.informatik.uni-erlangen.de/Publications/Theses/2005/Moeller_SA.pdf
- [8] MS CAROLIEN BUTER, TNO S. ; INDUSTRY: *APROSYS Advanced PROtection SYStem*. Webseite, . – www.aprosys.com
- [9] PRÖHL, Andreas: *Automatischer Ausweichassistent auf Basis einer Laserscanner-Abstandserfassung für ein fahrerloses Transportsystem*, Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg, Masterarbeit, 2006
- [10] SAZBON, D. ; ROTSTEIN, H. ; RIVLIN, E.: Finding the focus of expansion and estimating range using optical flow images and a matched filter. In: *Machine Vision and Applications* Massachusetts Institute of Technology (2004)