

Fahrzeugdetektion und -erkennung mittels mehrdimensionaler Farbhistogrammanalyse

Uwe Knauer, Ralf Reulke und Beate Meffert

Humboldt-Universität zu Berlin
Institut für Informatik
Unter den Linden 6, 10099 Berlin
eMail: {knauer, reulke, meffert}@informatik.hu-berlin.de

Zusammenfassung. Die Farbe der Lackierung von Fahrzeugen ist ein Merkmal, das mit Überwachungskameras gemessen werden kann. Durch im Videobild platzierte Detektorbereiche kann zunächst die Anwesenheit eines Fahrzeugs automatisch erkannt werden. Das im Moment der Detektion aus dem Bild bestimmte Farbhistogramm des Fahrzeugs steht dann für die Wiedererkennung in anderen Bildbereichen zur Verfügung. Verschiedene Metriken für den Vergleich von Histogrammen werden hinsichtlich ihrer Eignung zur Unterscheidung der Fahrzeuge verglichen.

1 Einleitung

Für Telematikanwendungen im Straßenverkehr und für Zwecke der Verkehrsforschung stehen eine Reihe von Sensoren zur Verfügung, die Informationen über das Verkehrsgeschehen liefern können. Am weitesten verbreitet sind Induktionsschleifen, die insbesondere für Ampelsteuerungen verwendet werden. Allerdings kann mit ihnen der Verkehr nur lokal beobachtet und analysiert werden. Andere Ansätze, wie bspw. Floating Car Data (FCD), erlauben umgekehrt die flächenbasierte Einschätzung des Verkehrs [1]. Schlussfolgerungen für einen begrenzten Bereich (räumlich und zeitlich) lassen sich aus FCD nicht ohne weiteres ziehen. Demgegenüber können mit optischen Systemen sowohl lokale (querschnittsbezogene) als auch streckenbezogene Verkehrskenngrößen gleichzeitig ermittelt werden [2].

Für die automatisierte Verkehrsbeobachtung gibt es eine Reihe verschiedener Ansätze [3,4]. Während Verfahren, die auf dem Tracking der einzelnen Verkehrsteilnehmer basieren, noch Gegenstand der Forschung oder in der Erprobungsphase sind, werden sogenannte optische Schleifen schon seit einigen Jahren erfolgreich vermarktet und eingesetzt. Ein etabliertes System in diesem Bereich ist Autoscope Solo [5]. Ausgehend vom Messprinzip einer optischen Schleife, welches dem der Induktionsschleife nachempfunden ist, sollen durch die zusätzliche Ableitung fahrzeugspezifischer Farbmerkmale Möglichkeiten zur Wiedererkennung von Fahrzeugen in anderen Bildbereichen oder durch andere Kameras untersucht werden.

Weil die Ableitung streckenbezogener Verkehrsdaten immer dann möglich ist, wenn ein Fahrzeug mehrmals beobachtet und identifiziert werden kann, ist es eine zentrale Frage für die Bildanalyse, wie zuverlässig eine Wiedererkennung erfolgen kann. Den Schwerpunkt der hier beschriebenen Untersuchung bildet die Gegenüberstellung verschiedener Metriken zum Vergleich von Histogrammen.

Durch die Analyse von Videoaufzeichnungen soll eingeschätzt werden, wie eindeutig sich ein Fahrzeug allein durch das Farbhistogramm beschreiben lässt und welchen Einfluss unterschiedliche Vergleichsmethoden auf das Erkennungsergebnis haben.

Die automatische Detektion von Fahrzeugen als wesentliche Voraussetzung für die Extraktion ihrer Farbhistogramme und das der Untersuchung zugrundeliegende Videomaterial werden im Abschnitt 2 vorgestellt. Den Methoden, zwei Histogramme zu vergleichen, widmet sich Abschnitt 3. Die Ergebnisse des paarweisen Vergleichs der Farbhistogramme einer Stichprobe von 1000 Fahrzeugen werden im Abschnitt 4 dargestellt und diskutiert.

2 Detektion von Fahrzeugen

Dieser Abschnitt beschreibt die Funktionsweise der für die Untersuchungen implementierten erweiterten optischen Schleife (EOS). Als Vorlage diente die Funktionalität des Systems Autoscope Solo.

Abb.1 zeigt den Erfassungsbereich dieses Autoscope-Systems während einer Messung in Berlin an der Frankfurter Allee. Die Abbildung zeigt außerdem einen Teil der Konfiguration des Systems. Innerhalb der in Fahrtrichtung angeordneten virtuellen Schleifen (gelbe Vierecke) erfolgt die Messung der Geschwindigkeit. Diese wird dem Fahrzeug zugeordnet, wenn es den senkrecht zur Fahrtrichtung liegenden Zähl-detektor (gelbe Balken) passiert. Aus der Geschwindigkeit und der Belegungsdauer des Zähl-detektors wird die Fahrzeuglänge berechnet. Während der Messung mit dem Autoscope-System wurde simultan das Videobild aufgezeichnet.

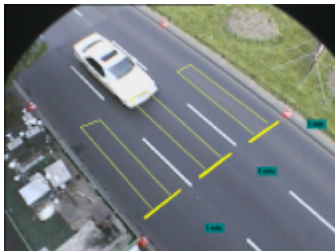


Abb.1: Erfassungsbereich der Kamera und Konfiguration von Autoscope Solo mit Geschwindigkeitsdetektoren (gelbe Vierecke) und Zähl-detektoren (gelbe Balken)

Abb.2 zeigt schematisch den Aufbau der EOS aus mehreren Erfassungsbereichen und ihre Projektion in das Kamerabild. Fahrzeuge können detektiert werden, wenn sie den Bildbereich in Pfeilrichtung passieren. Der in grüner Farbe dargestellte schmale Bereich links dient der Erkennung des Messbeginns. Umgekehrt wird mit dem rot gekennzeichneten Ausschnitt das Verlassen des Messbereichs erkannt. Die grau dargestellte Fläche in der Mitte ermöglicht die Erfassung der Belegungsdauer der Schleife durch ein Fahrzeug. Ist die Schleife durch ein Fahrzeug vollständig belegt, wird das Farbhistogramm berechnet und gespeichert. Zuvor findet eine Transformation der Daten vom RGB- in den HSV-Farbraum statt. Der Vorteil, dass Helligkeits- und Farbinformation bei dieser Transformation

voneinander getrennt werden, lässt sich bspw. vorteilhaft zur Erkennung des Fahrzeugschattens ausnutzen.



Abb.2: Modell der EOS und seine Projektion in das Kamerabild

Fahrzeuglänge						
	< 3 m	3 – 6 m	6 – 9 m	9 – 15 m	> 15 m	Gesamt
Autoscope	57	320	66	33	34	510
EOS	22	311	126	31	27	517
	Krad	PKW, Kleinbusse, Kleinlaster		LKW, Busse, evt. mit Anhänger		
Mensch	8	469		30		507

Tab.1: Vergleich der Zähldaten (Mittlere Spur, 36 Minuten)

Die in Tab.1 dargestellten Ergebnisse zeigen, dass die beiden Systeme Autoscope und EOS bei der Zählung von Fahrzeugen ähnliche Ergebnisse liefern. Die Differenzen bei der Gesamtzahl der Fahrzeuge liegen in erster Linie in der Platzierung der optischen Schleifen begründet (vgl. Abb.1 und Abb.2). Bei der Untersuchung des aufgezeichneten Videomaterials mit dem nachempfundenen Verfahren nimmt die Schleife die gesamte Breite der Fahrspur ein und wird aufgrund der Perspektive durch den Verkehr auf der rechten Fahrspur stärker beeinflusst. Große Unterschiede gibt es bei der Einteilung der Fahrzeuge entsprechend ihrer Länge, die auf Unterschiede bei der Geschwindigkeitsmessung zurückzuführen sind. Zum Vergleich sind auch die Zählergebnisse eines Beobachters, eingeteilt nach Fahrzeugkategorien, angegeben.

Wesentlich für die im Folgenden untersuchte Identifikation von Fahrzeugen anhand ihrer Farbe ist die zuverlässige Erkennung ihrer Anwesenheit durch die EOS. Im aufgezeichneten Video wurden die Fahrzeuge nunmehr an zwei Positionen pro Fahrspur detektiert. Die im Moment der Detektion extrahierten Farbhistogramme sind dreidimensionale diskrete Häufigkeitsverteilungen im HSV-Farbraum. Um ein Fahrzeug wiederzuerkennen, muss nun die Ähnlichkeit bzw. der Abstand zwischen den Farbhistogrammen bestimmt werden. Geeignete Verfahren werden im folgenden Abschnitt vorgestellt.

3 Ähnlichkeitsmaße für Farbverteilungen

Dieser Abschnitt stellt Abstandsmetriken zum Vergleich von jeweils zwei Histogrammen vor, welche die gleiche Anzahl von Einträgen besitzen. Die Auswahl und Systematisierung der Verfahren orientiert sich an [6]. In den Gleichungen (1)

bis (6) sind H sowie K die zu vergleichenden Histogramme. Eine einzelne Histogrammsäule wird mit h_i bzw. k_i bezeichnet.

Die **Minkowski-Abstände** (MIN_r) sind verschiedene häufig verwendete Metriken zum Vergleich von Farbbildern. Die Berechnungsvorschrift lautet:

$$d_{L_r}(H, K) = \left(\sum_i |h_i - k_i|^r \right)^{\frac{1}{r}}. \quad (1)$$

Die L_1 - und L_2 -Norm erhält man für $r=1$ bzw. $r=2$.

Der **Histogrammschnitt** (HS) vergleicht insbesondere im eindimensionalen Fall die gemeinsame Fläche zweier Histogramme. Er ist für seine Sensitivität bei teilweiser Übereinstimmung der Histogramme bekannt:

$$d_{\cap}(H, K) = 1 - \frac{\sum_i \min(h_i, k_i)}{\sum_i k_i}. \quad (2)$$

Die **Kullback-Leibler-** (KLD) und die **Jeffrey-Divergenz** (JD) haben eine informationstheoretische Begründung. Dies wird besonders an der Ähnlichkeit von Gl.(3) mit der Formel für die Berechnung der Entropie einer Verteilung deutlich. Während die Kullback-Leibler-Divergenz kein symmetrisches Abstandsmaß ist, gilt die Symmetrie für die auch gegenüber Rauschen und der Größe der Histogrammsäulen stabilere Jeffrey-Divergenz:

$$d_{KL}(H, K) = \sum_i h_i \cdot \log \frac{h_i}{k_i}, \quad (3)$$

$$d_J(H, K) = \sum_i \left(h_i \cdot \log \frac{h_i}{m_i} + k_i \cdot \log \frac{k_i}{m_i} \right) \text{ mit } m_i = \frac{h_i + k_i}{2}. \quad (4)$$

Ein aus der Statistik motiviertes Vergleichsmaß ist der **χ^2 -Abstand**:

$$d_{\chi^2}(H, K) = \sum_i \frac{(h_i - m_i)^2}{m_i}. \quad (5)$$

Die Anwendung des **Bhattacharya-Abstands** (BA) zum Vergleich von Farbverteilungen wird u.a. in [7] beschrieben. Ähnlich dem Histogrammschnitt liefert er ein Maß für die gemeinsame Fläche zweier Verteilungen:

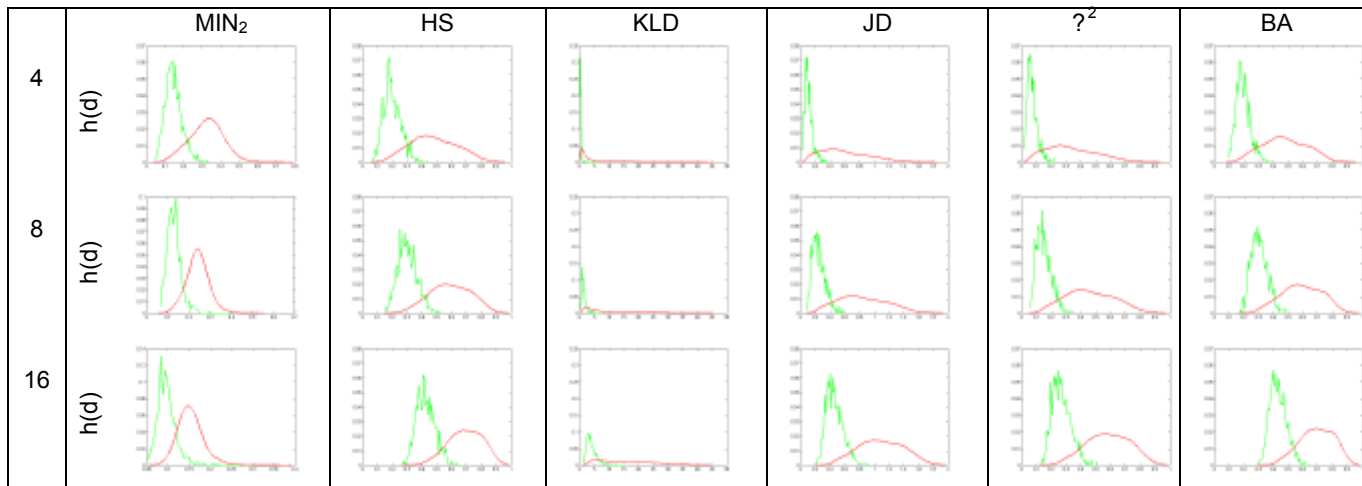
$$d_B(H, K) = \sum_i \sqrt{h_i \cdot k_i}. \quad (6)$$

Es kann prinzipiell zwischen Verfahren unterschieden werden, die Histogramme elementweise vergleichen, und solchen, die elementübergreifend arbeiten. Die getroffene Auswahl umfasst sechs Verfahren zum elementweisen Vergleich von Histogrammen. Weitere Verfahren, die auf kumulativen Histogrammen beruhen (Kolmogorov-Smirnov-Abstand) oder Nachbarschaftsbeziehungen zwischen den Histogrammelementen berücksichtigen (Quadratischer Abstand), existieren. Eine Sonderstellung kommt der Earth Mover Distance (EMD) zu, die im Kontext von Anfragen an Bilddatenbanken vorgeschlagen wurde [6]. Die Farbinformationen werden dabei nicht mehr durch Histogramme, sondern durch Signaturen repräsentiert, die aus der Häufigkeitsverteilung berechnet wurden. Obwohl die EMD auf die vorliegende Problemstellung anwendbar ist, wird sie hier nicht weiter untersucht, da kein Histogramm, sondern die Zentroide von Clustern im Farbraum berechnet werden müssen.

4 Experimente und Ergebnisse

Dieser Abschnitt beschreibt die Anwendung der Vergleichsmethoden aus Abschnitt 3 auf die Farbhistogramme von Fahrzeugen. Aus dem im Abschnitt 2 vorgestellten Videomaterial wurden dazu zwei Histogramme pro Fahrzeug an unterschiedlichen Orten extrahiert. Um den Berechnungsaufwand zu begrenzen, erfolgt ein paarweiser Vergleich der Histogramme nur für 1000 Fahrzeuge. Dabei werden immer zwei Histogramme miteinander verglichen, die in verschiedenen Bildbereichen extrahiert wurden. Das Ergebnis ist für jedes Abstandsmaß eine Matrix mit 10^6 Elementen. Nur die Hauptdiagonalen der Matrizen enthalten Abstandsmaße für ein und dasselbe Fahrzeug. Zur Verringerung des Berechnungsaufwands kann ausgenutzt werden, dass es sich mit Ausnahme der Kullback-Leibler-Divergenz bei den untersuchten Metriken um symmetrische Abstandsmaße handelt. Es muss nur entweder die obere oder untere Dreiecksmatrix berechnet werden. Da die Anzahl der Histogrammsäulen bzw. -elemente erwartungsgemäß einen Einfluss auf die Erkennungsrate hat, wurde jeder Vergleich außerdem für drei verschiedene Quantisierungen des Farbraums vorgenommen (4^3 , 8^3 bzw. 16^3 Histogrammsäulen).

Tab.2 zeigt die Häufigkeitsverteilungen der berechneten Abstände für die sechs im Abschnitt 3 vorgestellten Abstandsmaße. Die Ergebnisse für den Vergleich zweier Histogramme von verschiedenen Fahrzeugen (negative Beispiele) sind als rote Kurve dargestellt, diejenigen für den Vergleich desselben Fahrzeugs grün (positive Beispiele). Es ist zu erkennen, dass die Verteilungen in allen Fällen überlappen. Daher ist es nicht möglich, einen einfachen Schwellwert anzugeben, mit dem entschieden werden kann, ob es sich um dasselbe Fahrzeug handelt oder nicht. Die wesentliche Ursache für die Überlappung ist die farbliche Zusammensetzung der Fahrzeugflotte. Außerdem wächst proportional zur Zeitdifferenz zwischen den beiden Messungen die Wahrscheinlichkeit, dass Änderungen der Beleuchtung oder eine veränderte Perspektive auf das Fahrzeug zu Unterschieden im Histogramm führen. Unter dem Gesichtspunkt der Abhängigkeit der Ergebnisse von der Quantisierung zeigt sich ein ähnliches Verhalten der Paare BA/HS sowie χ^2 /JD. Um aus den Verteilungen auch eine qualitative Aussage zur Güte der einzelnen Verfahren abzuleiten, kann die Größe des überlappenden Bereichs untersucht werden. Es bietet sich an, den Schnittpunkt der beiden Häufigkeitsverteilungen als Schwellwert heranzuziehen. Der zu diesem Punkt gehörende Abstandswert d_s tritt beim Vergleich von Histogrammen eines Fahrzeugs bzw. zweier verschiedener Fahrzeuge gleich häufig auf. Als Falschakzeptanzrate (FAR, engl. false acceptance rate) wird der Anteil der negativen Beispiele bestimmt, für den gilt: $d(H,K) \leq d_s$. Die Falschrückweisungsrate (FRR, engl. false rejection rate) ist umgekehrt der Anteil der positiven Beispiele, für die ein Abstandswert größer als d_s berechnet wurde. Wird der Schwellwert d_s anders gewählt, so ergeben sich eine neue FRR und FAR. Es gilt allgemein, dass die Verringerung eines der beiden Fehler den anderen erhöht, sofern die Verteilungen sich überlappen, so wie es hier der Fall ist. Abb.3 und 4 zeigen FRR und FAR grafisch. Demnach wird die geringste FRR mit dem χ^2 -Abstand und einem Histogramm mit $16^3=4096$ Elementen erzielt. Die kleinste FAR erzielt der Minkowski-Abstand mit $r=2$ und einem Histogramm mit $8^3=512$ Elementen. Im Vergleich zu den anderen Verfahren ist allerdings seine FRR signifikant höher. Die beiden Größen FRR und FAR sind Erwartungswerte für den



Tab.2: Häufigkeitsverteilungen der Ähnlichkeitsmaße mit den verschiedenen Metriken (grün = identisches Fahrzeug, rot = verschiedene Fahrzeuge) bei äquidistanter Teilung der drei Farbkanäle in 4, 8 und 16 Intervalle

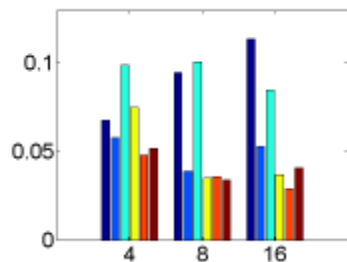


Abb.3: FRR

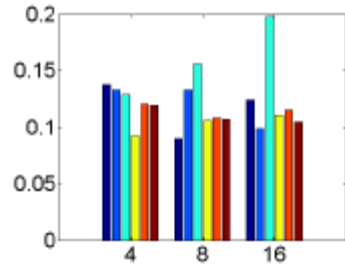


Abb.4: FAR

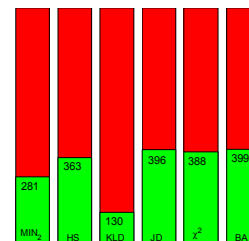


Abb.5: Korrekt zugeordnete Fahrzeuge

Fehler beim Vergleich von zwei Histogrammen, wenn die Entscheidung nur aufgrund des Schwellwertes getroffen wird. Im Kontext der Fahrzeugerkennung bedeutet dies, dass aus der Menge aller vom ersten Ort bekannten Histogramme $\{H_i\}$ diejenigen ausgewählt werden, die zum am zweiten Ort gemessenen Histogramm K einen kleineren Abstand als d_s haben. Die FRR ist der Erwartungswert, dass das gesuchte Fahrzeug nicht in dieser Vorauswahl enthalten ist und die FAR ein Erwartungswert dafür, dass ein falsches Fahrzeug in die Vorauswahl aufgenommen wurde.

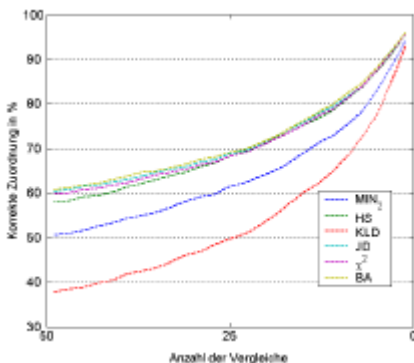


Abb.6: Erkennungsraten bei Verringerung der Anzahl der Vergleiche

Allerdings erfordert die Identifikation eines Fahrzeugs keine Vorauswahl von Kandidaten, sondern eine möglichst zutreffende Entscheidung für die Übereinstimmung zweier Histogramme. Diese kann anhand des minimalen Abstands von K zu einem Histogramm aus der Menge $\{H_i\}$ erfolgen.

In Abb.5 sind die mit den einzelnen Abstandsmaßen korrekt zugeordneten Fahrzeugzahlen gegenübergestellt. Anhand der Farbinformation konnten immerhin maximal 40 % der Fahrzeuge in der Testmenge erfolgreich identifiziert werden.

In der Praxis ist der Vergleich eines Histogramms von Messschleife 2 mit allen Histogrammen von Messschleife 1 nicht zweckmäßig. Wenn ein Fahrzeug zugeordnet wurde, braucht das entsprechende Histogramm bei zukünftigen Vergleichen nicht mehr einbezogen werden. Je nach Abstand der Messorte im Bild und Verkehrssituation ergibt sich damit eine wechselnde Zahl von notwendigen Vergleichen. Abb.6 zeigt, welche Erkennungsraten mit den einzelnen Metriken erzielt werden, wenn jedes durch die Messschleife 2 detektierte Fahrzeug mit einer variablen Anzahl von Histogrammen verglichen wird, die von Fahrzeugen stammen, welche die Messschleife 1 unmittelbar vor oder nach ihm passiert haben. Es sind nur die Ergebnisse für Histogramme mit $16^3=4096$ Elementen angegeben. Bei dieser Quantisierung wurden die besten Resultate erzielt. Die Rangfolge der Verfahren unterscheidet sich bei $4^3=64$ und $8^3=512$ Elementen nicht wesentlich.

5 Zusammenfassung und Ausblick

Optische Schleifen wurden eingesetzt, um zusätzlich zur Objektdetektion auch die Farbhistogramme von Fahrzeugen aus einer Videoaufzeichnung zu extrahieren.

Dies bietet den Vorteil, dass eine Information zur Identifikation der Fahrzeuge an einem anderen Ort zur Verfügung steht. Die Einschränkung von optischen Schleifen, Verkehrsdaten nur lokal zu messen, kann so teilweise überwunden werden. An Kreuzungen lässt sich bspw. die Aufteilung von Verkehrsströmen leichter nachvollziehen. Die aus der Identifikation erwachsende Möglichkeit, Fahrzeiten für längere Straßenabschnitte zu bestimmen, erlaubt außerdem die Berechnung von streckenbezogenen mittleren Geschwindigkeiten. Mit einer Stichprobe wurden verschiedene Metriken zum Vergleich von Histogrammen untersucht. Es zeigte sich dabei, dass der Bhattacharya-Abstand das geeignetste Verfahren für die Unterscheidung der Fahrzeuge ist. Die Unterschiede zwischen ihm sowie Jeffrey-Divergenz, Histogrammschnitt und χ^2 -Abstand sind jedoch gering. Die Kullback-Leibler-Divergenz und der Minkowski-Abstand (MIN_2) sollten jedoch nicht eingesetzt werden.

Die Ergebnisse zeigen auch, dass die Farbigkeit der Fahrzeuge kein eindeutiges Merkmal ist. Die Wiedererkennung eines Fahrzeugs durch eine zweite optische Schleife kann deshalb die Einbeziehung weiterer Informationen erfordern.

Das hier vorgestellte Prinzip der erweiterten optischen Schleife soll zukünftig als Applikationsmodul auf einer in das Kameragehäuse integrierten Recheneinheit eingesetzt werden. Die Entwicklung weiterer solcher Module, bspw. zur Fahrzeugverfolgung, sowie die Fusionierung von Daten, die von mehreren Kamerasystemen geliefert werden, sind aktuelle Arbeitsschwerpunkte.

Danksagung

Wir danken den Mitarbeitern des Instituts für Verkehrsforschung am DLR in Berlin-Adlershof für die Durchführung der Autoscope-Messung. Insbesondere gilt unser Dank Carsten Dalaff, Ibro Pandzo und Ronny Terzer. Das Projekt wird aus Mitteln des IBB-Förderprogramms ProFit finanziert.

Literatur

1. Mieth, P.; Schäfer, R.-P.; Lorkowski, S.; Wagner, P. : Road Map Generation and Extraction of Road Attributes Based on Vehicle Positioning Data. WCTR, Istanbul, Türkei, 2004.
2. Meffert, B.; Blaschek, R.; Knauer, U.; Reulke, R.; Schischmanow, A.; Winkler, F.: Monitoring Traffic by Optical Sensors. 2nd International Conference on Intelligent Computing and Information Systems, Kairo, Ägypten, 2005.
3. Dahlkamp, H.: Untersuchung eines Erwartungswert-Maximierung (EM) Kontur-Algorithmus zur Fahrzeugverfolgung. Diplomarbeit, Universität Karlsruhe (TH), 2004.
4. Dalaff, C.; Ruhé, M.; Reulke, R.; Schischmanow, A.; Schlotzhauer, G.: OIS - An optical Informationssystem for Road Traffic Measurement and Management. Joint Workshop of ISPRS Working Groups IV/3, IV/6 and IV/7, Uni Vechta Stuttgart, Deutschland, 2003.
5. Brokoph, V.: Verkehrsdatenerfassung mit einem Videoverkehrsmesssystem. Diplomarbeit, FH Braunschweig/Wolfenbüttel, 2003.
6. Rubner, Y.; Tomasi, C.; Guibas, L.J.: A Metric for Distributions with Applications to Image Databases. IEEE International Conference on Computer Vision, Mumbai, Indien, 1998.
7. Nummiaro, K.; Koller-Meier, E.; Svoboda, T.; Roth, D.; Van Gool, L.: Color-Based Object Tracking in Multi-camera Environments. DAGM Symposium, Magdeburg, Deutschland, 2003