

Entwicklung von Systemen zur Fahrzeugidentifikation mit den Mitteln der Bildverarbeitung

1 Einleitung

In der heutigen Zeit ist der Straßenverkehr durch eine hohe und ständig wachsende Dichte gekennzeichnet. Das führt zu den verschiedensten Problemen, für die Lösungen gefunden werden müssen. Mit Hilfe der Bildverarbeitung können einige schwierige Aufgaben überhaupt erst in Angriff genommen oder wenigstens besser als bisher bewältigt werden. Dazu gehören:

– **Verkehrsflußanalyse:**

Für ein räumlich begrenztes Gebiet werden an ausgewählten Punkten die vorbeifahrenden Fahrzeuge registriert. Daraus können Quell-, Ziel- und Durchgangsverkehr bestimmt werden. Die Ergebnisse einer solchen Auswertung können entweder sofort zur Steuerung des Verkehrs (durch zeitweilige Umleitung der Verkehrsströme) oder mittelbar über die Verkehrsplanung (durch eine dauerhafte Umgestaltung des Straßennetzes) verwertet werden.

– **Zutrittskontrolle:**

Bestimmte Teile des Verkehrsnetzes sollen nicht für alle Verkehrsteilnehmer zugänglich sein, z.B. Firmenparkhäuser, Anwohnerparkplätze etc. Wünschenswert ist eine automatische Überwachung bzw. Registrierung von Regelverstößen.

– **Geschwindigkeitskontrolle/ Rotlichtüberwachung:**

Hier soll eine Erfassung des Fahrzeuges bei Überschreitung der zulässigen Geschwindigkeit bzw. bei Nichtbeachtung einer Ampel erfolgen.

– **Gebührenerfassung:**

Die Benutzung vieler Parkplätze und -häuser ist gebührenpflichtig. Denkbar und in anderen Ländern üblich sind Straßenbenutzungsgebühren. Mit Hilfe von Bildverarbeitungssystemen kann eine fahrzeugbezogene Gebührenberechnung erfolgen.

In allen diesen Applikationen ist die Identifikation der Fahrzeuge anhand ihres Kfz-Kennzeichens notwendig. Durch Anwendung von Systemen und Methoden der Bildverarbeitung kann diese Kennzeichenerkennung teilweise oder vollständig automatisiert werden.

In unserem Beitrag wird im folgenden zweiten Abschnitt eine Übersicht von Systemkomponenten gegeben, aus denen mögliche Bildverarbeitungssysteme für die angesprochenen Aufgaben zusammengesetzt werden können. Zusätzlich werden einige für die Anwendung relevanten Eigenschaften der Komponenten diskutiert.

Im dritten Abschnitt erfolgt die Beschreibung zweier von der Fa. TechnoTeam entwickelter Systeme zur Unterstützung der Verkehrsflußanalyse und zur Kontrolle der automatischen Gebührenerfassung im Rahmen des Feldversuchs „Automatische Gebührenerfassung“, der vom TÜV Rheinland im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr durchgeführt wird.

Im vierten Abschnitt werden zentrale Algorithmen vorgestellt, die zur Kennzeichenerkennung in den aufgenommenen Bildern angewendet werden und in gleicher oder ähnlicher Form Bestandteil aller Fahrzeugidentifikationssysteme sind.

Der fünfte Abschnitt enthält eine Zusammenfassung.

2 Systemkonzepte

Für die automatische Identifikation eines Fahrzeuges anhand seines Kennzeichens müssen vier Teilaufgaben gelöst werden:

- Fahrzeugdetektion
Feststellung der Fahrzeugpräsenz im Erfassungsbereich der Aufnahmeeinrichtung.
- Bildaufnahme
Erfassung der Szene. Häufig ist der Einsatz von Zusatzbeleuchtung notwendig, z.B. Blitzgeräte im sichtbaren oder infraroten Spektralbereich.
- Bildauswertung
Extraktion der Kfz-Kennzeichen aus den Bildern (siehe Abschnitt 4).
- Datenauswertung
Die Verwendung der Kennzeichen hängt ab vom Anwendungsfall (siehe Abschnitt 3).

Für die einzelnen Teilaufgaben stehen sehr unterschiedliche, weitgehend frei miteinander kombinierbare Realisierungsmöglichkeiten zur Verfügung, die in der folgenden Grafik auszugsweise dargestellt werden.

Fahrzeugdetektion

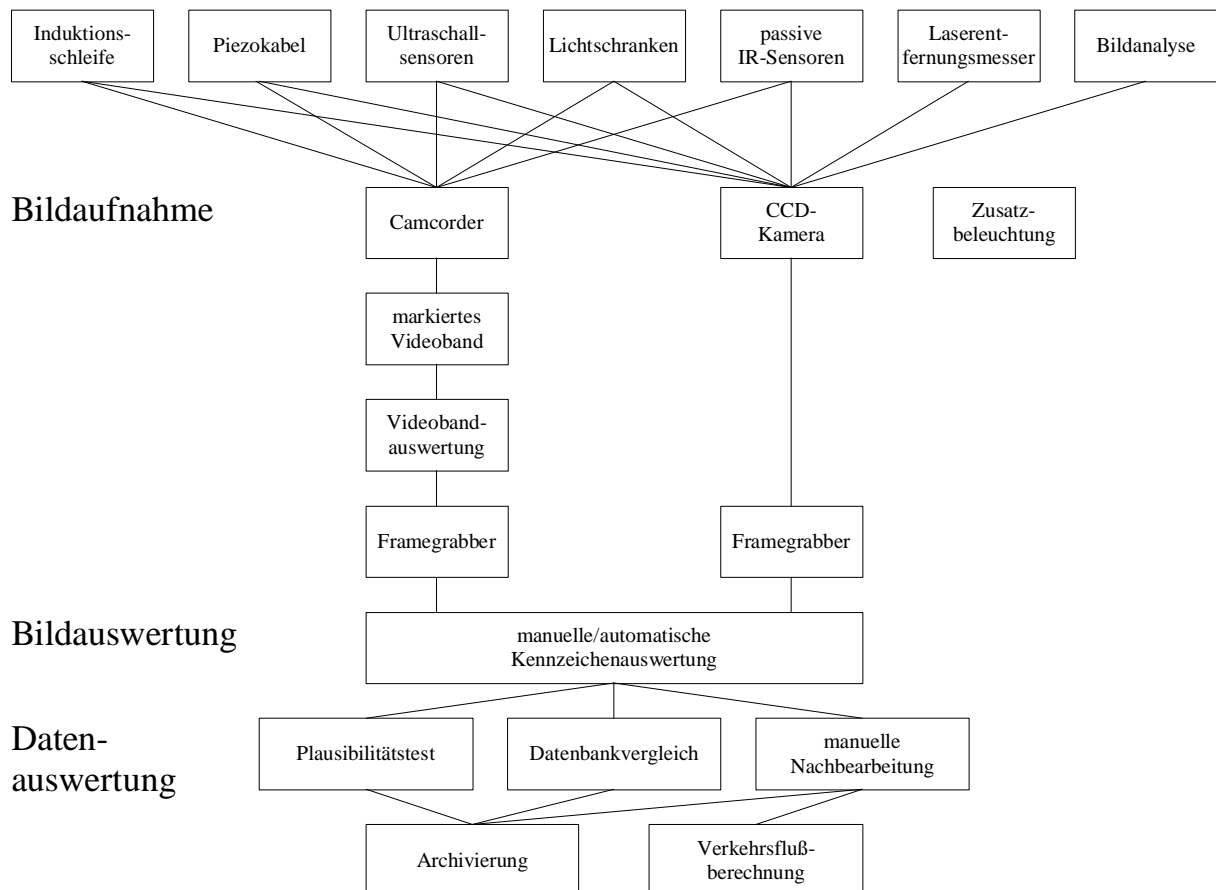


Abb. 1: Realisierungsmöglichkeiten der einzelnen Teilkomponenten eines möglichen Gesamtsystems

Die für die Fahrzeugdetektion zur Verfügung stehenden Sensoren unterscheiden sich in ihrer Reichweite, Justierbarkeit, Mobilität, Robustheit und ihrem Preis. Es hat sich gezeigt, daß die Fahrzeugdetektion durch eine Analyse der Straßenszene aus dem Livebild der CCD-Kamera unter Realweltbedingungen (Sonnenstand, Helligkeitsschwankungen, Variation der Aufnahmeverhältnisse) und mit der zum Einsatz kommenden Technik (PC) nicht möglich ist. Sehr gute Erfahrungen haben wir mit einem Laserentfernungsmesser („Laveg“ Fa. Jenoptik) und mit Piezokabeln gemacht.

Die Bilderfassung mit Hilfe von CCD-Kameras kann auf sehr unterschiedliche Art und Weise erfolgen. Durch den geringen Dynamikumfang der CCD-Matrizen ist man unter Umständen gezwungen, mehrere Kameras zu verwenden, um bestimmte Aufgabenstellungen zu lösen (z.B. Erfassung des Kennzeichens und der Umgebung des Fahrzeuges).

Wird ein Blitzgerät synchron zur Shutterzeit der CCD-Kamera gesteuert, so kann die Retroreflexion der deutschen Kennzeichen /DIN82/ ausgenutzt werden, so daß die entstehenden Kennzeichenbilder sehr kontrastreich und arm an störenden weiteren Bildanteilen sind.

Die aus der Bildanalyse ermittelten Kennzeichendaten können Grundlage verschiedener Auswertungen sein.

– Plausibilitätstest

Der Plausibilitätstest wird verwendet, um die aus der Bildanalyse gewonnenen Kennzeichendaten mit anderen Informationen über das Fahrzeug zu vergleichen. Siehe zum Beispiel Abschnitt 3.2.

– Datenbankvergleich

Beim Datenbankvergleich wird das ermittelte Kennzeichen mit den Informationen aus einer Datenbank (zufahrtsberechtigte Kfz) verglichen. Je nach Ergebnis können verschiedene Aktionen erfolgen.

– Nachbearbeitung

Mit Hilfe der manuellen Nachbearbeitung kann die Ausgangsbasis für weitere Analysen auf der Grundlage der erkannten Kennzeichen verbessert werden.

Bei der Nutzung der gewonnenen Daten sind die einschlägigen Bestimmungen des Datenschutzes zu beachten.

3 Realisierte Systeme

3.1 Verkehrsflußerfassung

Zur Verkehrsflußerfassung werden an den Aufnahmestellen Camcorder installiert, die die vorbeifahrenden Fahrzeuge auf ein Videoband aufzeichnen. Auf der Fahrbahn wird ein Piezokabel angebracht (Abb. 2). Über eine Auswertschaltung wird ein Zweifrequenzsignal zur Aufzeichnung auf der Tonspur bereitgestellt und damit die Überfahrt jedes Kfz auf der Tonspur markiert. Die markierten Bilder des Videobandes werden in der Auswertephase im Labor detektiert und digitalisiert.



Abb. 2: Beispielbild aus einer Verkehrsflußanalyse.

Die Auswertung besteht aus einer automatischen Kennzeichenerkennung, die manuell nachbearbeitet wird, wenn die Wahrscheinlichkeit für ein richtig erkanntes Kennzeichen zu klein ist. Durch den Vergleich der Kennzeichenlisten verschiedener Erfassungsstellen können mit Hilfe eines unscharfen Vergleichsalgorithmus die Verkehrsflüsse ermittelt werden.

Entscheidend für die Wahl der erläuterten Systemkonzeption war, daß für eine Verkehrsflußerfassung meist 10-20 Erfassungsstellen benötigt werden. Deshalb müssen die Kosten je Erfassungstelle so klein wie möglich gehalten werden. Die bisher verwendeten Erfassungsstellen für die manuelle Verkehrsflußerfassung mußten nur durch Sensoren zur Fahrzeugdetektion (Piezokabel mit Auswertschaltung) ergänzt werden. Zur Auswertung werden die Videobänder aller Stationen nacheinander an einem PC bearbeitet.

3.2 Kontrolle der automatischen Gebührenerfassung (AGE)

In Zusammenarbeit mit dem Konsortium „TELEDRIIVE“ /TT94/ wurde im Feldversuch zur AGE des Bundesministeriums für Verkehr an der Bundesautobahn A555 ein Kontrollsystem erprobt. Dieses System nimmt Fahrzeugbilder auf, aus denen Kennzeichendaten ermittelt werden und vergleicht diese mit den Informationen, die aus einer On-Board-Unit des Fahrzeuges über einen Infrarot-Kanal gesendet wurden. Der Vergleich der beiden Datensätze wird als Plausibilitätstest bezeichnet. Es werden die Fahrzeuge registriert, die kein Infrarotsignal senden oder deren Infrarotsignal wahrscheinlich nicht mit dem aus dem Bild ermittelten Kennzeichen übereinstimmt.

Das eingesetzte Erfassungssystem besteht aus einem Aufnahmekopf (mit Laserentfernungsmesser, Blitzgerät und 2 CCD-Kameras) und aus einem Steuerrechner (PC mit Framegrabber/ Kompressionskarte und Blitzsteuerung). Der Datenaustausch mit der Auswertstation erfolgt über den Austausch einer Wechselfestplatte.

Je eine Kamera erfaßt ein Übersichtsbild zur Beurteilung der Gesamtsituation und ein Bild zur Kennzeichenermittlung. Für die Aufnahme des Kennzeichenbildes wird mit einem Infrarotblitzgerät gearbeitet. Das geblitzte Bild dient als Grundlage für die sofortige Analyse des Kennzeichens im steuernden Rechner und dem Vergleich mit dem Datensatz der On-Board-Unit.



Abb. 3: Ausgangsbild für die Kennzeichenerkennung bei der Kontrolle der AGE

4 Algorithmen zur Bildauswertung

Die für die Bildauswertung benötigten Algorithmen können in die Komponenten Kennzeichensuche, Kennzeichenbinarisierung, Zeichenseparation, Zeichenerkennung und Nachbearbeitung unterteilt werden. Ergebnis der Algorithmenentwicklung sind Verfahren, die auf einem PC-486 ohne Hardwareunterstützung in 1.5 s (AGE) bzw. 3 s (Verkehrsflußerfassung) das Kennzeichen ermitteln. Der Zeitunterschied zwischen den Varianten ergibt sich überwiegend aus den unterschiedlichen Algorithmen zur Kennzeichensuche.

4.1 Kennzeichensuche

Kennzeichen, die mit Hilfe von Zusatzbeleuchtung aufgenommen wurden (Beispielbild siehe Abb. 3), können sehr schnell bearbeitet werden:

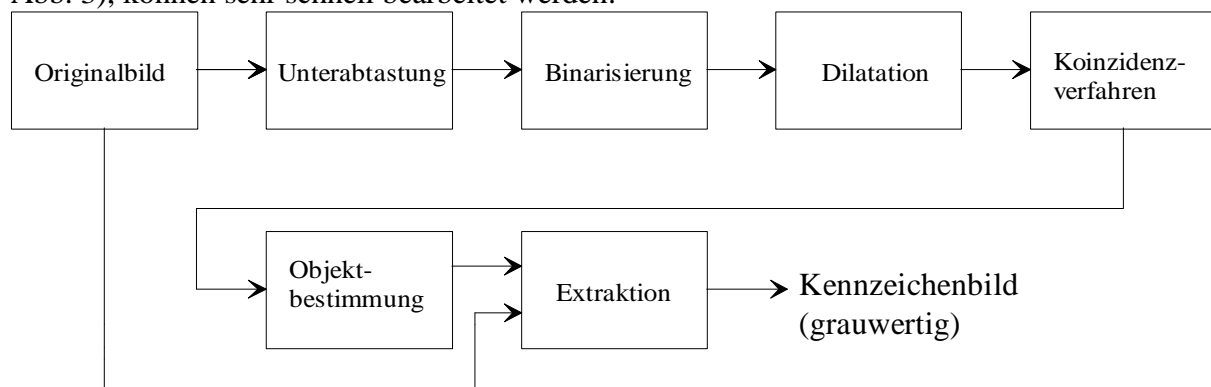


Abb. 4: Kennzeichenextraktion in geblitzten Aufnahmen (Prinzipdarstellung)

Kennzeichen, die ohne Zusatzbeleuchtung aufgenommen wurden (Beispielbild siehe Abb. 2), erfordern einen aufwendigeren Algorithmus. Es werden Techniken der Texturanalyse angewendet.

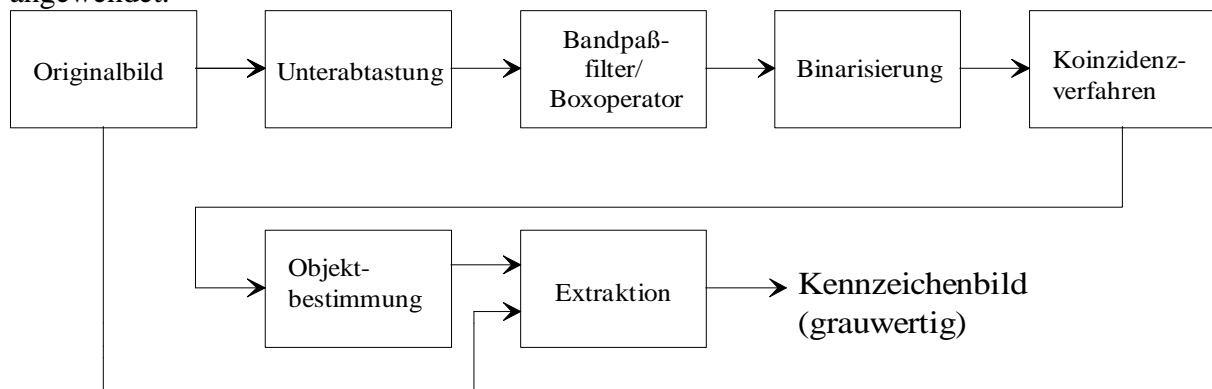


Abb. 5: Kennzeichenextraktion in Aufnahme ohne Zusatzbeleuchtung (Prinzipdarstellung)



Originalbild (stehendes Fahrzeug)



Unterabgetastetes Bild nach der Bandpaßfilterung



Teilergebnis nach der Boxoperation



Binärbild (Ausgangspunkt des Koinzidenzverfahrens)

Abb. 6: Kennzeichenextraktion bei Aufnahmen ohne Zusatzbeleuchtung (Beispielbild)

Nach der Bestimmung des ungefähren Kennzeichenortes ist der genaue Kennzeichenrand zu ermitteln, um für die Binarisierung und die anschließende Zeichenseparation günstige Voraussetzungen zu schaffen.

4.2 Binarisierung

Mit Hilfe einer adaptiven Schwellersuche aus dem Histogramm des ermittelten Kennzeichenbildes wird eine globale Binarisierungsschwelle für das Kennzeichen ermittelt. Als günstig hat sich dabei ein Verfahren herausgestellt, das auf der Basis der Diskriminanzanalyse arbeitet. Es wird die Between-Class-Variance maximiert (harte Clusteranalyse mit zwei Clustern im Histogramm) /OTSU79/. Lokale Binarisierungsverfahren können aus Zeitgründen nicht eingesetzt werden.

4.3 Zeichenseparation

Die Zeichenseparation bestimmt aus dem Binärbild mit Hilfe eines Zeilenkoinzidenzverfahrens die umschreibende Rechtecke der Zeichenkandidaten. Da die Binarisierung durch strukturelle Kennzeicheneigenschaften (Schrauben, TÜV-Marke etc.) und durch Verschmutzung Ergebnisse liefert, bei denen einige Zeichen zusammenkleben, werden zwei Binärbilder verwendet. Das erste Bild ist das Ergebnis der obigen Binarisierung. Im zweiten Bild wird auf der Grundlage der Projektion des Grauwertbildes in Spaltenrichtung versucht, die Zeichen zu trennen /KRÜG94/.

4.4 Zeichenerkennung

Die einzelnen Zeichenkandidaten werden in einer OCR-Bibliothek in ASCII-Zeichen umgewandelt. Die von uns verwendete Bibliothek „Famulus“ der Fa. RE-Recognition /FAMU93/ arbeitet auf der Basis der Winkelschnittanalyse /SCHW93/ und einem neuronalen Netzwerk als Klassifikator und ist daher weitgehend unempfindlich gegen Störungen (Konturverlauf, Pixelausfälle). Für jeden Zeichenkandidaten können mehrere ASCII-Codes (sogenannte Alternativen) mit den zugehörigen Wahrscheinlichkeiten ermittelt werden.

4.5 Nachbearbeitung

Die ermittelten Einzelzeichen werden zu Zeichenketten zusammengefaßt. Dabei werden Alternativen, Wahrscheinlichkeiten und uns bekannte Eigenheiten der OCR-Bibliothek berücksichtigt. Sollen deutsche Kennzeichen ausgegeben werden, so kann regelbasiert das Ergebnis weiterbearbeitet werden.

5 Zusammenfassung

Mit den vorgestellten Systemen kann der Aufwand gegenüber bisher verwendeten manuellen Methoden erheblich reduziert werden.

Erreichbare Erkennungsraten liegen bei bis zu 80% vollständig richtig erkannter Kennzeichen. Bei den restlichen 20% sind in der Regel 1-2 Zeichen falsch. Diese Erkennungsraten sind für unsere Applikationen durchaus ausreichend. Sowohl bei der Verkehrsflußanalyse als auch beim Plausibilitätstest im Projekt „AGE“ ist eine Wahrscheinlichkeitsaussage beim Vergleich zweier Kennzeichen ausreichend. Ähnliche Forderungen treffen auch für weitere Anwendungsfälle zu, z.B. Parkhäuser/-plätze mit eingeschränktem Nutzerkreis.

Bei der Identifikation unbekannter Fahrzeuge ist eine manuelle Nachbearbeitung in jedem Fall erforderlich, um die hier geforderten hohen Sicherheiten zu gewährleisten.

Literaturquellen:

- /DIN82/ DIN 67520: Retroreflektierende Materialien zur Verkehrssicherung. Deutsche Norm, Teil 1 und 3, Sept. 1982, Teil 2 Juni 1989
- /FAMU93/ N.N.: Dokumentation zur Entwicklungsumgebung des Programmpaketes „FAMULUS“. RE Recognition Technology GmbH, 1993
- /KRÜG94/ Krüger, U.: Automatische und interaktive Auswertung von Fahrzeugkennzeichen. Diplomarbeit, TU Ilmenau, 1994
- /OTSU79/ Otsu, Nobuyuki: A Threshold Selection Method from Gray-Level Histograms. IEEE Trans. on Systems, Man, and Cybernetics, Vol. SMC-9, No. 1, Jan. 1979, pp. 62 - 66
- /SCHW93/ Schwarz, Hans-Ulrich: Schnittmuster - Handschrifterkennung mit der Winkelschnittanalyse. Magazin für Computer Technik (CT), 1993 Heft 11, S.248 - 252
- /TT94/ N. N.: TechnoTrend System TELEDRIIVE. Autobahn-Tech 2/94, S. 18-19

Autoren:

Dipl.-Ing. Krüger, Udo
Dr.-Ing. Poschmann, Ralf
TechnoTeam Bildverarbeitung GmbH
Langewiesener Str. 16
98693 Ilmenau
Tel.: 03677/ 663260
Fax.: 03677/ 663286