

## Kapitel 4

# Zusammenfassung und Ausblick

### 4.1 Zusammenfassung

Das in der vorliegenden Arbeit vorgestellte System zur Erkennung von Verkehrszeichen in natürlichen Szenen stellt einen ersten Ansatz zur Lösung dieses Problems dar. Trotz der fehlenden Möglichkeit zur Klassifikation von Piktogrammen, und der dadurch sehr stark eingeschränkten Menge von erkennbaren Verkehrszeichen, wird durch das vorgestellte System ein konzeptioneller Rahmen gegeben, der die nachträgliche Integration eines Piktogrammklassifikators durch die Definition einer geeigneten Schnittstelle vorsieht.

Durch die flexible Struktur der Wissensbasis kann diese jederzeit erweitert und verändert werden, so daß beispielsweise die Integration von Farbinformation denkbar ist<sup>1</sup>.

Besonders hervorzuheben ist die Möglichkeit der Rekonstruktion von fehlerhaften Konturen. Erst durch diese Möglichkeit kann ein System mit Eingabedaten aus natürlichen Szenen arbeiten. Mit den bisherigen Testbildern liefert die in dieser Arbeit vorgestellte Rekonstruktionsfunktion gute Ergebnisse, doch sie ist auf die Betrachtung einer einzelnen Kontur beschränkt. Um eine größere Sicherheit zu erlangen ist eine Erkennung und Rekonstruktion von Konturen unter Einbeziehung von angrenzenden und benachbarten Konturen denkbar.

Durch die starke Anlehnung an ineinanderliegende Konturen, ist die Menge der klassifizierbaren Verkehrszeichen auf bestimmte Typen begrenzt. Betrachtet man beispielsweise Hinweisschilder, so können diese bei fehlender äußerer Kontur prak-

---

<sup>1</sup>Ein Vorschlag zur Integration von Farbinformation wird in 4.2.2 gemacht.

tisch nicht erkannt werden<sup>2</sup>. Das System ist also um Kontrollstrukturen zu erweitern, die eine Behandlung von Verkehrszeichen dieses Typs erlauben.

## 4.2 Systemerweiterungen und Ausblick

Zwei wichtige Erweiterungen des Systems sollen hier noch etwas ausführlicher vorgestellt werden. Dies sind zum einen die Objektverfolgung und zum anderen die Integration von Farbinformation. Zur Objektverfolgung ist zu bemerken, daß sicherlich kein System zur Erkennung von Verkehrszeichen ohne eine solche Komponente eingesetzt werden wird. Das Wissen, welches aus den vorhergehenden Verkehrsszenen gewonnen werden kann, kann äußerst hilfreich bei der Auffindung und Klassifikation von Verkehrszeichen in der aktuellen Verkehrsszene sein.

### 4.2.1 Objektverfolgung

Ogleich der jetzige Stand der Technik es noch nicht erlaubt, Bildsequenzen mit dem vorliegenden System zu analysieren, soll an dieser Stelle ein Konzept zur Integration eines Systems zur symbolischen Objektverfolgung vorgestellt werden. Die technischen Probleme liegen sowohl auf der Hardwareseite, als auch auf der Softwareseite. Mit der vorhandenen Hardware ist es zum einen schwer, qualitativ gute Aufnahmen bei fahrendem Fahrzeug aufzunehmen, zum anderen geschieht die Analyse des Bildes nicht in Echtzeit. Die Implementierung des Systems zur symbolischen Klassifikation von Verkehrszeichen ist nicht darauf ausgelegt, eine schnelle Verarbeitung von Verkehrsszenen zu ermöglichen.

Zweck der Verarbeitung von Bildfolgen ist der mögliche Informationsgewinn durch Berücksichtigung der Bewegung von Objekten im Zeitverlauf. Dies setzt für die Analyse von Verkehrsszenen voraus, daß ein System vorhanden ist, welches die Bildinformation innerhalb eines Bildzyklus, also in Echtzeit<sup>3</sup>, auswerten kann. Für die folgenden Überlegungen wurde die Echtzeitfähigkeit des Systems, sowie die vollständige Integration in ein Fahrzeug angenommen.

Es stellt sich die Frage, in welcher Weise die Objektverfolgung in das Verkehrszeichenklassifikationssystem integriert werden kann. Welcher Nutzen kann aus der Analyse zweier aufeinanderfolgenden Szene gezogen werden? Dazu soll ein Konzept vorgestellt werden, welches eine Interpretation von Bildfolgen ermöglichen soll.

---

<sup>2</sup>Der im Anhang A.1 beschriebene Ansatz zur Klassifikation von Verkehrszeichen beschäftigt sich hauptsächlich mit Hinweisschildern.

<sup>3</sup>Ein Bildzyklus beträgt im europäischen Videoformat CCIR 40 ms

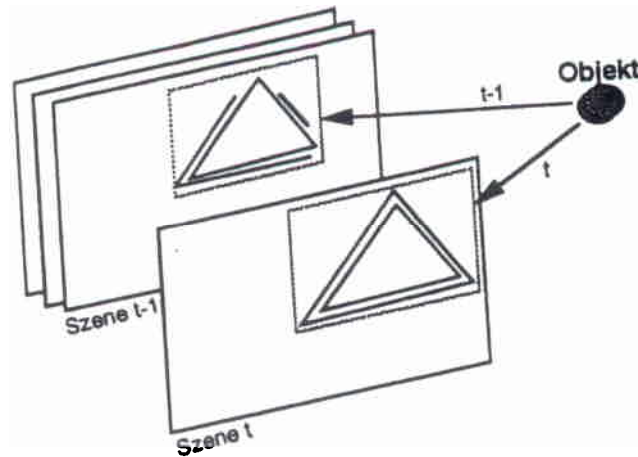


Abbildung 4.1: Wiedererkennung eines Objekts

**Modell eines symbolischen Objektverfolgungssystems** Die Detektion eines Objekts, welches in diesem Fall ein mögliches Verkehrszeichen sein soll, muß zum einen sehr schnell gehen, und zum anderen die Wiedererkennung eines bereits in der vorhergehenden Szene vorhandenen Objekts ermöglichen.

Als Kriterium für ein Objekt, also ein mögliches Verkehrszeichen, bietet sich das bereits zur Segmentierung einer Verkehrsszene benutzte Kriterium der ineinanderliegenden Konturen an.

Als Eingangsdaten liegen dem System die Fahrzeugdaten vor, sowie die aktuelle und die vorhergehenden Szenen. Die folgenden Aufgaben hat das System zu erfüllen:

- Detektion eines möglichen Verkehrszeichens
- Wiedererkennung eines Objekts der vorhergehenden Szene
- Berücksichtigung von Objekten, die zwischenzeitlich durch Verdeckung oder andere Gründe das Blickfeld verlassen.

Das hier konzipierte System besteht aus einer Objektdatenbasis, in der die Position und der Typ der in vorhergehenden Szenen erkannten Objekte gespeichert sind, und einer Informationskomponente, die ständig aktualisierte Fahrzeugdaten zur Verfügung stellt. Auf diese beiden Datenquellen greifen Funktionen zu, die eine Vorhersage der Position von Objekten in den folgenden Szenen erstellen. Abbildung 4.2 zeigt ein Schema des Systems. Jedem Objekt muß die Position, die erwartete

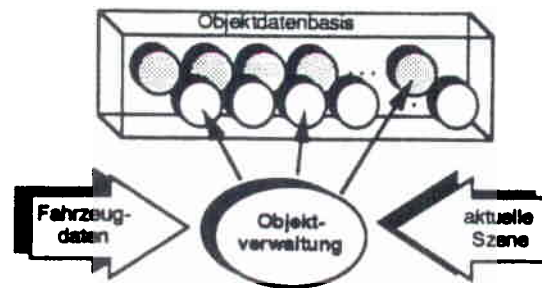


Abbildung 4.2: Schema einer Objektverfolgungskomponente

Position<sup>4</sup>, ein bereits zugeordnetes Klassifikationsergebnis und Information darüber, ob das Objekt sichtbar ist, zugeordnet werden. Die erwartete Position soll anhand eines umschreibenden Rechtecks beschrieben werden. Da die Bilder in sehr kurzen Abständen bearbeitet werden, sind die Änderungen nicht sehr groß, so daß man mit einer groben Schätzung auskommt. Die Objektverfolgung arbeitet in mehreren Phasen.

1. Die Detektion neuer Objekte. Kandidaten sind die von der Segmentierungskomponente 3.4.2.1 gelieferten Blöcke  $\{b_i | i = 1, \dots, n\}$ . Für jeden Block  $b_i$  wird überprüft, ob bereits ein Objekt geführt wird, welches diesen Block beschreibt. Dazu wird die Position des umschreibenden Rechtecks des Blocks  $b_i$  mit den erwarteten Positionen der geführten Objekte verglichen. Wird keine Übereinstimmung gefunden, so wird der Block als neues Objekt aufgenommen. Wird eine Übereinstimmung mit der erwarteten Position eines vorher unsichtbaren Objekts gefunden, so wird das Attribut  $v$  dieses Objekts auf die aktuelle Szene gesetzt.
2. Löschen von Objekten. Ist ein Objekt über einen größeren Zeitraum nicht sichtbar, so wird angenommen, daß es nicht mehr vorhanden, oder durch ein anderes Objekt identifiziert worden ist. Ein solches Objekt wird aus der Objektbasis gelöscht. Ebenso werden unsichtbare Objekte, die das Blickfeld nach den Berechnungen endgültig<sup>5</sup> verlassen haben, gelöscht.
3. Die Übergabe an das Klassifikationssystem. Dem Klassifikationssystem werden nicht die aus der Segmentierung hervorgehenden Blöcke übergeben, sondern

<sup>4</sup>Diese ist annähernd aus Fahrzeugdaten und alter Position berechenbar.

<sup>5</sup>Verkehrszeichen, die das Fahrzeug passiert hat.

die Objekte, die zum aktuellen Zeitpunkt geführt werden. Dabei werden die Objekte aufgrund ihrer Attributwerte auf verschiedene Art und Weise weitergegeben.

(a) Die sichtbaren Objekte

- i. Ist nur die Kontur bekannt, so wird der aktuelle Block, den das Objekt repräsentiert an die Klassifikationskomponente übergeben.
- ii. Ist bereits die Verkehrszeichenklasse bekannt, so wird das Objekt an eine Schnittstelle zur Piktogrammklassifikation übergeben, die die bereits früher detektierten *Areas of Interest* auf Bilder oder Text untersucht.
- iii. Ist das Verkehrszeichen bereits erkannt, so wird das Objekt, an der Klassifikationskomponente vorbei, direkt zur Ausgabe der Klassifikation weitergegeben. An dieser Stelle kann ein Mechanismus eingefügt werden, der aufgrund des Alters der Information, sowie der Ähnlichkeit des erkannten Zeichens dessen Überprüfung übernimmt.

(b) Die unsichtbaren Objekte

- i. Ist dem Objekt bereits ein Verkehrszeichen zugeordnet, so wird das Objekt wie ein sichtbares behandelt (siehe (a) (iii)).
  - ii. Ist das Objekt nicht klassifiziert, so wird es nicht weiter beachtet, d.h. in keiner Form an die nachfolgenden Komponenten weitergegeben.
4. Die Rückkopplung. Wird einem Objekt ein Verkehrszeichen oder eine Verkehrszeichenklasse durch die Klassifikationskomponente zugeordnet, so wird das jeweilige Attribut des Objekts aktualisiert.

Die Objektverfolgungskomponente, so wie sie oben beschrieben wurde, stellt eine Entlastung der Klassifikationskomponente des Systems dar. Dadurch, daß bereits getroffene Zuordnungen von Szenenelementen zu Verkehrszeichen gespeichert werden, wird verhindert, daß die Szenenelemente mehrfach analysiert werden.

Durch die aufgrund der Fortbewegung des Fahrzeugs ständig wechselnden äußeren Verhältnisse, können zu verschiedenen Zeitpunkten verdeckte, teilverdeckte und gestörte Objekte auftreten, die zu anderen Zeitpunkten besser erkennbar sind. Durch Verfolgung eines Objektes, kann dieses auch zu Zeitpunkten interpretiert werden, zu denen es in der aktuellen Szene verdeckt oder schwer zu erkennen ist.

Besonders störanfällig sind die Piktogramme. Hier können, durch eine geeignete Erweiterung des oben beschriebenen Systems, die zu untersuchenden Bereiche eines

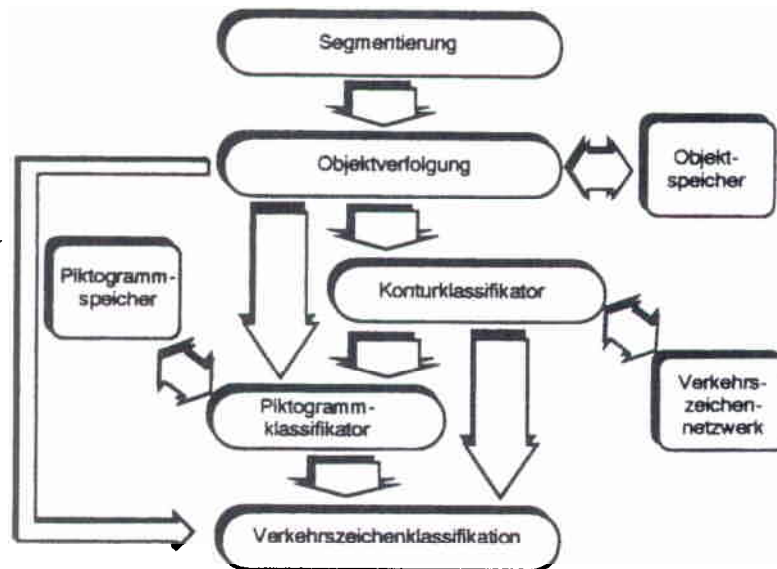


Abbildung 4.3: Integration der Objektverfolgungskomponente

Verkehrszeichenkandidaten aus mehreren Szenen zusammengefaßt werden um somit Rauschen zu unterdrücken<sup>6</sup>.

Weitere Informationen zum Themenbereich Objektverfolgung sind [BEE85, SZ86] zu entnehmen. Die bisher verfolgten Ansätze zur Objektverfolgung beruhten jedoch meist nicht auf symbolischen sondern auf ikonischen Bildbeschreibungen.

#### 4.2.2 Integration von Farbinformation

Die Integration von Farbinformation stellt sicherlich eine ebenso wichtige Erweiterung des Systems dar, wie die zuvor beschriebene Objektverfolgung. Allein durch die Kenntnis der Farbe können bereits Bereiche des Bildes als interessante Bereiche ausgewählt werden, auf die sich die weitere Klassifikation beschränkt.

Eine Möglichkeit besteht also darin, Farbflächen dazu zu benutzen, eine Segmentierung des Bildes in interessante Bereiche durchzuführen. Bei der nachfolgenden Klassifikation könnten dann diejenigen Verkehrszeichen betrachtet werden, die die Farbe des zu untersuchenden Segments aufweisen. Daraus würde sich eine starke Einschränkung des Suchraums ergeben.

Es stellt sich die Frage, wie die Farbinformation dargestellt werden kann. Dazu

<sup>6</sup> Dies kann beispielsweise durch Kombination von erkannten Teilstrukturen erreicht werden.

gibt es die Möglichkeit der Zuordnung einer Farbe zu einem Formprimitiv und die unabhängige Betrachtung von Farbe und Form.

Da ein Formprimitiv eine Begrenzungslinie zwischen zwei Flächen darstellt, kann angenommen werden, daß die beiden Flächen unterschiedliche Farben haben. Zu jeder Kante eines Formprimitivs müßte angegeben werden, welche Farbe links und welche rechts der Kante ist<sup>7</sup>. Bei der Modellierung von Verkehrszeichen ist eine Integration der Farbe in Form einer Kante denkbar, die die Farbe der Fläche zwischen zwei (ineinanderliegenden) Konturen beschreibt. Damit müßte die Struktur der Wissensbasis nicht geändert werden.

Betrachtet man Form und Farbe unabhängig, so kann der Zusammenhang nur durch den Vergleich der Bildkoordinaten der Farbfläche und des Formprimitivs erfolgen. Eine Möglichkeit dazu bietet eine Variante der HSC-Kodierung, die Farbe berücksichtigt. Durch die Lage der Farbwurzel und der Wurzel des Formprimitivs kann die benötigte Farbinformation schnell gewonnen werden. Dazu ist jedoch eine engere Kopplung (Rückkopplung) des Systems zur symbolischen Bildverarbeitung mit der Vorverarbeitung nötig.

Insgesamt bleibt festzuhalten, daß die Konzeption eines Modells, welches eine Kombination von Kontur- und Farbinformation benutzt, recht schwer ist. Ein Ansatz dazu wird in A.1 kurz vorgestellt.

#### 4.2.3 Ausblick

Durch das in dieser Arbeit vorgestellte System wird ein Konzept für zur Erkennung von Verkehrszeichen definiert. Um das endgültige Ziel, den Einsatz des Systems in einem Fahrzeug, erreichen zu können, müssen in Zukunft noch Probleme bezüglich der Auflösung der Kamera, Echtzeitanforderungen und als wichtiger Punkt noch die Erkennung von Piktogrammen in Angriff genommen werden. Zur Lösung des letzteren Problems ist eine Kopplung des Systems mit einem (künstlichen) neuronalen Netz denkbar.

Wenn es möglich ist, viele natürliche Szenen zu klassifizieren, so kann man eine dynamische Gewichtung der einzelnen Netzwerkkomponenten (*Lernen von Gewichten*) aus einer Folge von Trainingsszenen vornehmen.

---

<sup>7</sup>Dazu muß eine Orientierung der Kante festgelegt werden.