

# Echtzeitobjektverfolgung mit Aktiven Strahlen

J. Denzler, H. Niemann

Lehrstuhl für Mustererkennung (Informatik 5), Universität Erlangen–Nürnberg,  
Martensstr. 3, 91058 Erlangen, Germany

**Zusammenfassung** In diesem Beitrag wird ein neues Verfahren zur Konturextraktion und Verfolgung vorgestellt, das in seiner Grundidee auf den Prinzipien der aktiven Konturmodelle aufbaut, deren Vorteile für den Echtzeiteinsatz beinhaltet und deren Nachteile für die Echtzeitobjektverfolgung behebt.

Wir führen formal die sogenannten aktiven Strahlen ein, stellen den Zusammenhang zu aktiven Konturen her, und definieren davon ausgehend die Konturextraktion als ein 1D Energieminimierungsproblem. Das Verfahren erlaubt Hypothesen über Objektkonturpunkte zu verwalten und zeigt ein Any-Time Verhalten. Die Ergebnisse im Echtzeiteinsatz belegen, daß die Kontur eines bewegten Objekts auf Arbeitsplatzrechnern (SGI/Onyx) ohne Spezialhardware innerhalb der Videorate von 25 Bildern/sek verfolgt werden kann.

## 1 Einleitung und Motivation

In den vergangenen Jahren wurde innerhalb der neuen Verarbeitungsstrategie des aktiven Sehens die Konstruktion autonomer mobiler Systeme verstärkt vorangetrieben. Ein wichtiger Aspekt bei der Entwicklung von Verfahren auf diesem Gebiet ist die Echtzeitverarbeitung von Sensorinformation in einem geschlossenen Kreislauf mit der Aktion des autonomen mobilen Systems. Die Verfolgung bewegter Objekte in Echtzeit — auch unter der Randbedingung einer Eigenbewegung — steht im Mittelpunkt vieler aktueller Arbeiten im Bereich des Rechensehens.

Bei der Verfolgung bewegter Objekte wurden in den letzten Jahren mehrere erfolgversprechende Ansätze präsentiert. Zu unterscheiden sind dabei Arbeiten, die Wissen über den Problembereich oder die zu verfolgenden Objekte verwenden [9] sowie Ansätze die rein datenbasiert arbeiten [7]. Die meisten in Echtzeit arbeitenden System verwenden neben der Bildaufnahme-Hardware weitere Spezialhardware zur Signalverarbeitung [3, 10]. Die Rechenleistung von Standard-Arbeitsplatzrechnern rückt immer mehr in einen Leistungsbereich, der es erlaubt, ohne Spezialhardware auszukommen. Die Vorteile liegen dann in der leichten Übertragbarkeit entwickelter Verfahren auf neue Rechnergenerationen, sowie deren einfacheren Wartbarkeit und Erweiterbarkeit.

Zu den datenbasierten Objektverfolgungsverfahren zählen die sogenannten aktiven Konturen [6]. Die inhärent lokale Verarbeitung der Bildinformation in der Nähe der Konturelemente der aktiven Kontur stellt einen großen Vorteil für den Echtzeiteinsatz dar. Durch die in der Energiedefinition modellierte Verformbarkeit aktiver Konturen eignet sich dieser Ansatz besonders dann gut, wenn

Veränderungen in der Form der Kontur (z.B. auf Grund von Ansichtsänderung) zu erwarten sind, aber kein modellbasierter Ansatz verwendet werden soll. In mehreren Arbeiten konnte gezeigt werden, daß verschiedenste Objektkonturen bei relativ homogenem Hintergrund sehr robust in Echtzeit verfolgt werden können [2, 5]. Bei heterogenem Hintergrund wurden einige Algorithmen vorgeschlagen, die eine Erhöhung der Robustheit durch zusätzliches Wissen auf Kosten der Rechenzeit erreichten [4, 8].

In diesem Beitrag wird ein neuer Ansatz zur Extraktion und Verfolgung bewegter Objekte über deren Kontur beschrieben, der auf den Prinzipien der aktiven Konturen aufbaut, deren Nachteile jedoch an einigen Stellen beheben kann. Der Vorteil liegt in der Reduktion der 2D Energieminimierung auf ein 1D Suchproblem, in der definierten Ordnung der extrahierten Kontur im 2D, die bei aktiven Konturen nicht vorhanden ist, und in einem Any-Time Verhalten, das gerade für den Echtzeiteinsatz von großem Vorteil ist. Die definierte Ordnung verhindert, daß in der Kontur Überkreuzungen entstehen [11], und ermöglicht die Vorhersage der Position einzelner Konturelemente in einem der Energieminimierung vorgeschalteten Vorhersageschritt. Schließlich können Hypothesen über die Konturelemente verwaltet werden. Dies ist zur Erkennung von neu erscheinenden Objektkanten ohne Wissen über die 3D Form des Objekts notwendig.

In Abschnitt 2 werden aktive Strahlen formal eingeführt und die Konturextraktion als ein Energieminimierungsproblem formuliert, wobei auch Zusammenhänge zu aktiven Konturen hergestellt und Gemeinsamkeiten aufgezeigt werden. Dem schließt sich eine Diskussion der speziellen Anforderungen für eine Objektverfolgung in Abschnitt 3 an, bevor in Abschnitt 4 Echtzeitexperimente vorgestellt werden, die auf Standard-Arbeitsplatzrechnern und ohne Spezialhardware durchgeführt werden. Der Beitrag schließt mit einer Zusammenfassung und einem Ausblick auf zukünftige Arbeiten mit aktiven Strahlen.

## 2 Aktive Strahlen

### 2.1 Formale Beschreibung

Ein aktiver Strahl  $\varrho_{\mathbf{m}}(\phi, \lambda)$  ist in der Bildebene  $(x, y)$  als eine eindimensionale Funktion derjenigen Grauwerte  $f(x, y)$  des Bildes definiert, die auf einer Gerade ausgehend vom Punkt  $\mathbf{m} = (x_m, y_m)^T$  in Richtung  $\phi$  liegen:

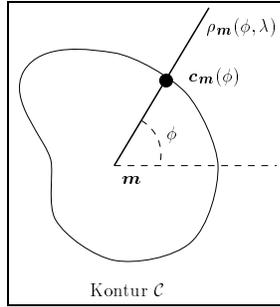
$$\varrho_{\mathbf{m}}(\phi, \lambda) = f(x_m + \lambda \cos(\phi), y_m + \lambda \sin(\phi)), \quad 0 \leq \lambda \leq n_\phi, \quad (1)$$

wobei  $n_\phi$  durch die Bildgröße gegeben ist. Ein Konturpunkt in Richtung  $\phi$  bezogen auf einen Referenzpunkt  $\mathbf{m}$  kann nun durch den Parameter  $\lambda^*(\phi) \geq 0$

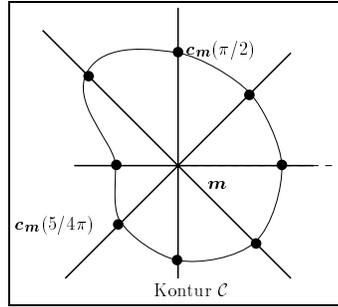
$$\begin{aligned} \lambda^*(\phi) &= \operatorname{argmin}_{\lambda} \left( -|\nabla f(x_m + \lambda \cos(\phi), y_m + \lambda \sin(\phi))|^2 \right) \\ &= \operatorname{argmin}_{\lambda} \left( -\left| \frac{\partial}{\partial \lambda} \varrho_{\mathbf{m}}(\phi, \lambda) \right|^2 \right), \quad 0 \leq \phi < 2\pi, \end{aligned} \quad (2)$$

beschrieben werden, d.h. wir suchen Punkte des aktiven Strahls, an denen die Kantenstärke maximal ist. Der Konturpunkt  $\mathbf{c}_{\mathbf{m}}(\phi)$  (siehe Bild 1) ist dann

$$\mathbf{c}_{\mathbf{m}}(\phi) = (x_m + \lambda^*(\phi) \cos(\phi), y_m + \lambda^*(\phi) \sin(\phi)), \quad 0 \leq \phi < 2\pi \quad (3)$$



**Bild1.** Ein aktiver Strahl



**Bild2.** Konturrepräsentation durch aktive Strahlen

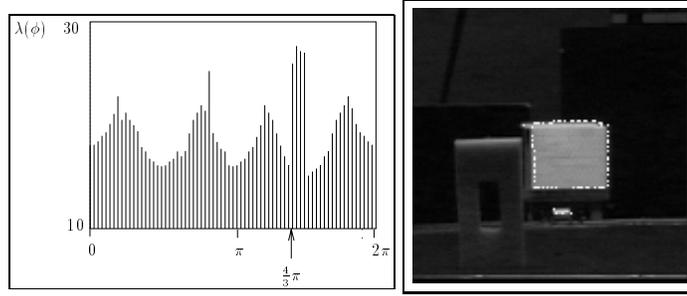
Im diskreten kann nun die gesamte Kontur berechnet werden, indem man eine Abtastschrittweite  $\Delta\phi$  für  $\phi$  definiert. Die Abtastschrittweite bestimmt die Genauigkeit der Konturrepräsentation. Ein Beispiel für eine Kontur, die über aktive Strahlen repräsentiert wird, findet man in Bild 2. Als Abtastschrittweite  $\Delta\phi$  wurde  $\pi/4$  gewählt.

Ein bisher nicht betrachteter Aspekt ist die Wahl des Referenzpunktes  $\mathbf{m}$ . Prinzipiell ist jeder Punkt innerhalb der Objektkontur geeignet. Um jedoch die Eindeutigkeit des Referenzpunktes sicherzustellen, wird im folgenden der Schwerpunkt der Konturpunkte  $\mathbf{c}_m(\phi)$  als Referenzpunkt gewählt. Somit muß die Gleichung  $\mathbf{m} = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} \mathbf{c}_m(\phi) d\phi$  vom Referenzpunkt erfüllt werden. Der Referenzpunkt  $\mathbf{m}$  stimmt für konvexe Konturen mit dem Schwerpunkt der Objektkontur überein. Erfüllt nun nach Berechnung der Konturelemente der Referenzpunkt nicht die obige Gleichung, so kann aufgrund der Konturelemente und der Gleichung der Referenzpunkt  $\mathbf{m}$  aktualisiert werden. An diesen Schritt schließt sich dann erneut eine Berechnung der Konturelemente an.

## 2.2 Definition eines Energieterms

Nach Gleichung (2) wird jeder Konturpunkt unabhängig von den anderen Konturpunkten berechnet, ohne das globale Aussehen der gesamten Kontur in Betracht zu ziehen. Deshalb werden auf realen Bildern auf Grund von Rauschen Fehler bei der Konturextraktion auftreten. Gleichermäßen können starke Kanten von Hintergrundobjekten zu fehlerhaften Konturelementen führen. Ein Beispiel dafür kann man in Bild 3 (links) sehen. Dort findet man den Verlauf der Funktion  $\lambda^*(\phi)$  für die Kontur aus Bild 3 (rechts). Für die Winkel  $\phi \in [4/3\pi, 3/2\pi [$  wird eine starke Kante extrahiert, die offensichtlich nicht zur Kontur, d.h. zu den Punkten  $\lambda^*(\phi), \phi \notin [4/3\pi, 3/2\pi [$  des Objekts gehört. Als Ergebnis erhält man in Bild 3 vier Konturelemente ( $x$ -Achse:  $\frac{4}{3}\pi - \frac{3}{2}\pi$ ), die Ausreißer im Verlauf der Funktion  $\lambda^*(\phi)$  darstellen.

Eine vielfach angewendete Methode, um Probleme der eben beschriebenen Art zu beheben, ist die Definition einer Energie (z.B. Glattheitsbedingung beim optischen Fluß), die im Falle aktiver Strahlen die Konturelemente miteinander koppelt. Bei aktiven Konturen, die hier als Vorbild dienen sollen, wird in fast allen Arbeiten folgende Definition der internen Energie  $E_i(\mathbf{v}(s))$  für ein Kontu-



**Bild3.** Die Funktion  $\lambda$  (links) der Kontur der Eisenbahn (rechts): ein Punkt auf der  $x$ -Achse entspricht fünf Grad.

relement  $\mathbf{v}(s) = (x(s), y(s))$ ,  $s \in [0, 1]$  verwendet [6]:

$$E_i(\mathbf{v}(s)) = \frac{\alpha(s) \left| \frac{\partial}{\partial s} \mathbf{v}(s) \right|^2 + \beta(s) \left| \frac{\partial^2}{\partial s^2} \mathbf{v}(s) \right|^2}{2}, \quad (4)$$

wobei  $\mathbf{v}_s(s)$  und  $\mathbf{v}_{ss}(s)$  die erste und zweite Ableitung von  $\mathbf{v}(s)$  entlang der Kontur sind. Die Ableitungen sind durch zwei Parameter  $\alpha(s)$  und  $\beta(s)$  gewichtet, die das Membran- und Plattenverhalten einer aktiven Kontur beschreiben [6].

Nun gilt  $\mathbf{v}(s) = \mathbf{c}_m(\phi)$  und damit durch Substitution für  $E_i(\mathbf{v}(s))$

$$E_i(\mathbf{v}(s)) = E_i(\mathbf{c}_m(\phi)) = \frac{\alpha(\phi) \left| \frac{d}{d\phi} \mathbf{c}_m(\phi) \right|^2 + \beta(\phi) \left| \frac{d^2}{d\phi^2} \mathbf{c}_m(\phi) \right|^2}{2}. \quad (5)$$

Diesen anschaulichen Zusammenhang kann man auch formal auf die Definition der internen Energie übertragen. Es gilt

$$\mathbf{v}(s) = \mathbf{c}_m(2\pi s), \quad s \in [0, \dots, 1], \quad \mathbf{v}(0) = \mathbf{v}(1) \quad (6)$$

Nun erhält man direkt

$$\left| \frac{\partial}{\partial \phi} \mathbf{c}_m(\phi) \right|^2 = (2\pi)^2 \left[ \underbrace{(\lambda(\phi))^2}_{\text{Abstandsterm}} + \underbrace{(\lambda'(\phi))^2}_{\text{Glattheitsterm}} \right] \quad (7)$$

$$\left| \frac{\partial^2}{\partial \phi^2} \mathbf{c}_m(\phi) \right|^2 = (2\pi)^4 \left[ \underbrace{4(\lambda'(\phi))^2 + (\lambda''(\phi))^2}_{\text{Glattheitsterm}} - \underbrace{2\lambda''(\phi)\lambda(\phi)}_{\text{gemischter Term}} + \underbrace{(\lambda(\phi))^2}_{\text{Abstandsterm}} \right] \quad (8)$$

und somit als interne Energie  $E_i(\mathbf{c}_m(\phi))$  des aktiven Strahls

$$E_i(\mathbf{c}_m(\phi)) = \frac{1}{2} \left\{ \alpha(\phi)(2\pi)^2 \left[ (\lambda(\phi))^2 + (\lambda'(\phi))^2 \right] + \beta(\phi)(2\pi)^4 \left[ 4(\lambda'(\phi))^2 + (\lambda''(\phi))^2 - 2\lambda''(\phi)\lambda(\phi) + (\lambda(\phi))^2 \right] \right\} \quad (9)$$

Bei Betrachtung der Gleichungen (7) und (8) kann man das Kontraktionsverhalten der aktiven Konturen sehen. In beiden Gleichungen befinden sich Abstandsterme, die bewirken, daß kleine Abstände der Konturelemente zu einem gegebenen Referenzpunkt einen kleineren Beitrag zur Gesamtenergie liefern, und damit bevorzugt werden. Desweiteren erkennt man, daß (7) und (8) wie erwartet unabhängig vom gewählten Referenzpunkt sind.

Verwendet man nun konstante  $\alpha$  und  $\beta$  und eliminiert die beiden Abstandsterme, um das Zusammenfallen der aktiven Strahlen zu verhindern, so erhält man die interne Energie  $E_i(\mathbf{c}_m(\phi))$  zu

$$E_i(\mathbf{c}_m(\phi)) := E_i(\lambda(\phi)) = \frac{\alpha \left| \frac{d}{d\phi} \lambda(\phi) \right|^2 + \beta \left| \frac{d^2}{d\phi^2} \lambda(\phi) \right|^2}{2}. \quad (10)$$

Dabei wurde der gemischte Term vernachlässigt, da gezeigt werden kann, daß sich dadurch die Struktur der Lösung der Euler-Lagrange Differentialgleichung nicht ändert. Diese in (10) erhaltene Energiedefinition gleicht in ihrer Struktur der Definition der aktiven Konturen aus Gleichung (4).

Als externe Energie  $E_e(\mathbf{c}_m(\phi))$  wird üblicherweise der Grauwertgradient

$$E_e(\mathbf{c}_m(\phi)) = -|\nabla f(\mathbf{c}_m(\phi))|^2 = -\left| \frac{d}{d\lambda} \varrho_m(\phi, \lambda) \right|^2 \quad (11)$$

verwendet. In Gleichungen (10) und (11) muß jeweils nur ein 1D Signal berechnet werden, verglichen mit der Energiedefinition aktiver Konturen. Gerade für Echtzeitanwendungen wird sich die als vorteilhaft herausstellen (siehe Abschnitt 4).

Die Konturextraktion kann nun als ein Energieminimierungsproblem formuliert werden, das im Gegensatz zu aktive Konturen im 1D gelöst werden kann. Hierzu können prinzipiell alle Mechanismen, die bereits auf aktive Konturen angewendet wurden, eingesetzt werden (z.B. die Dynamische Programmierung [1]). In dieser Arbeit wird die Lösung des Energieminimierungsproblems über die Lösung der Euler-Lagrange Differentialgleichungen bestimmt. Auf eine Herleitung der Gleichungen wird aus Platzgründen an dieser Stelle verzichtet. Sie erfolgt analog zur der in [6] beschriebenen Vorgehensweise.

### 3 Objektverfolgung mit aktiven Strahlen

Der Ansatz der aktiven Strahlen hat neben der Reduktion auf 1D Such- und Minimierungsprobleme gegenüber aktiven Konturen den weiteren Vorteil, daß Hypothesen für die Objektkontur aufgestellt und auch mehrere Objektpunkte auf einem Strahl verwaltet werden können. Dazu muß für einen Winkel  $\phi$  nach den  $i$  besten Lösungen der Gleichung (2) gesucht werden, d.h. man erhält für jeden Winkel  $\phi$  eine Menge  $A(\phi)$  der  $i$  besten Hypothesen über die Objektkontur

$$A(\phi) = \left\{ \lambda_k(\phi) \mid \lambda_k(\phi) = \underset{\lambda, \lambda \neq \lambda_l, l < k}{\operatorname{argmin}} \left( - \left| \frac{\partial}{\partial \lambda} \varrho_m(\phi, \lambda) \right|^2 \right), 0 \leq k < i \right\} \quad (12)$$

statt nur eines einzigen Konturpunktes. Mit diesem Mechanismus können auch mehrere Konturelemente, die auf einem Strahl liegen, verwaltet werden. Das ist

<b>INIT:</b>	
weite = $2\pi$ , sendeStrahl(0), sendeStrahl( $\pi$ )	
<b>ITERIERE:</b>	
weite = weite/2, winkel = 0	
WHILE winkel kleiner $2\pi$	
	sendeStrahl(winkel+weite/2)
	winkel=winkel+weite

$\Delta\phi$	msec/Bild (msec)
$\pi/180$	38
$\pi/36$	19
$\pi/18$	16
$\pi/9$	16

**Bild4.** Links: Iteratives Any-Time Verfahren zur Ermittlung der aktiven Strahlen: Initialisierung (**INIT**) und Iterationen (**ITERIERE**). Rechts: Rechenzeit (msec) für ein Bild bei unterschiedlichen  $\Delta\phi$ .

gerade bei konkaven Objekten eine wichtige Voraussetzung, um die tatsächliche Objektkontur extrahieren zu können.

Das Prinzip des Any-Time Verhaltens ist in jedem Echtzeiteinsatz ein wichtiges Element. Wenn mehr als ein Objekt mit den selben Ressourcen an Rechenleistung verfolgt werden soll oder sich ein Objekt besonders schnell bewegt, dann ist es vorteilhaft, wenn das Verfahren nach jedem Iterationschritt unterbrochen werden kann und ein Ergebnis liefert, die Ergebnisse aber besser werden, wenn mehr Zeit zur Verfügung steht.

Dies wird bei aktiven Strahlen durch die selektive Abtastschrittweite  $\Delta\phi$  realisiert. Initialisiert wird das Verfahren mit zwei Strahlen in Richtung  $\pi$  und  $2\pi$ . In den folgenden Iterationsschritten wird jeweils immer die fehlende Winkelhalbierende zwischen den beim letzten Iterationsschritt ermittelten Strahlen ergänzt (siehe Bild 4).

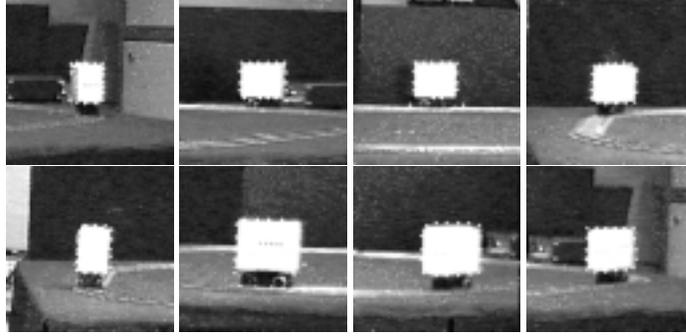
Während der Verfolgung einer Objektkontur wird Information über die Konturform gesammelt. Somit kann man die Suche nach der Objektkontur auf dem aktiven Strahl in Richtung  $\phi$  auf einen kleinen Bereich  $I(\phi)$  von  $\varrho_m(\phi, \lambda)$  einschränken und man erhält statt (2)

$$\lambda^*(\phi) = \operatorname{argmin}_{\lambda \in I(\phi)} \left( - \left| \frac{\partial}{\partial \lambda} \varrho_m(\phi, \lambda) \right|^2 \right), \quad 0 \leq \phi < 2\pi. \quad (13)$$

Die führt zu einer weiteren Reduktion des für Echtzeitanwendungen kritischen Rechenaufwandes.

## 4 Experimente und Ergebnisse

Die Versuchsumgebung für die Echtzeitexperimente besteht aus einer Spielzeugschienebahn, die mit einer Geschwindigkeit von 24 cm/sek in einer Entfernung von 1.5 m bis 2.5 m vor einer Pan-Tilt Kamera (Canon VCC1) auf einem Schienenkreis fährt. Die Kamera wird auf Grund der Differenz zwischen Objektschwerpunkt und Bildmittelpunkt gesteuert. Gleichzeitig wird ein  $256 \times 256$  großes Fenster bearbeitet, dessen Mittelpunkt mit dem Objektschwerpunkt übereinstimmt. Das Gesamtsystem ist in [5] beschrieben, wobei die dort verwendeten aktiven Konturen durch aktive Strahlen ersetzt wurden. Die retinale Geschwindigkeit des Objekts liegt zwischen 4 und 6 Pixeln/pro Bild bei einer Auflösung im Fenster von  $128 \times 128$ . Bei homogenem Hintergrund und bei bisher ausgewerteten 45000 Bildern (entspricht ca. 30 Minuten Verfolgung) wurde die Kontur



**Bild5.** Echtzeit-Objektverfolgung: Zu sehen sind die Bilder 100, 150, 200, 250, 300, 350, 400 und 450 eines Echtzeitexperiments  $\Delta\phi$  beträgt  $2\pi/15$ .

des Objekts nach einer automatischen Initialisierung in allen Fällen korrekt verfolgt. Alle Algorithmen laufen auf einer SGI Onyx mit zwei R4400 Prozessoren innerhalb der Videorate (25 Bilder/sek).

Die Rechenzeiten für die Extraktion einer Kontur in Abhängigkeit der Abtastschrittweite  $\Delta\phi$  sind in Bild 4 (rechts) zu sehen, Ergebnisse für eine komplette Umrundung des Schienenkreises in Bild 5. Zur Demonstration der Einsatzmöglichkeit aktiver Strahlen in natürlichen Szenen wurde eine Bildfolge aus der Anwendung Straßenverkehr offline bearbeitet (siehe Bild 6).

## 5 Zusammenfassung und Ausblick

In diesem Beitrag wurde ein neuer Ansatz zur Konturextraktion und -verfolgung, sogenannte *aktive Strahlen*, vorgestellt. Der Ansatz bedient sich dabei verschiedener Mechanismen aktiver Konturen (lokale Bearbeitung des Bildes; elastische, verformbare Kontur; Konturextraktion und -lokalisation innerhalb einer Energieminimierung), die sich in der Vergangenheit als vorteilhaft für den Echtzeiteinsatz erwiesen haben. Zusätzlich dazu werden Probleme und Nachteile (fehlende Ordnung der Konturelemente, Energieminimierung im 2D) behoben, sowie ein Any-Time Verhalten und die Verwaltung von Hypothesen über die Objekt-kontur ermöglicht. Dies, sowie die Reduktion der 2D Energieminimierung auf ein 1D Suchproblem, führt zu einer erheblichen Geschwindigkeitsteigerung und Erhöhung der Robustheit der Verfolgung. Echtzeitexperimente in einem geschlossenen Kreislauf aus Sensorik und Aktorik habe gezeigt, daß dieser Ansatz ohne Spezialhardware auf Arbeitsplatzrechnern in Videorate (25 Bilder/sek) durchgeführt werden kann. Die Möglichkeiten dieses neuen Ansatzes umfassen, wie formal gezeigt werden konnte, die volle Funktionalität aktiver Konturen, die in der Literatur schon für komplexere Szenen und Objekte eingesetzt wurden. Dies demonstrierte ein Beispiel aus dem Straßenverkehrsbereich. In naher Zukunft wird dieser Ansatz um eine Prädiktionskomponente erweitert, die auf Grund der definierten Ordnung der Konturelemente zu einer deutlicheren Steigerung der Güte der Objektverfolgung führen sollte, als es bei aktiven Konturen bisher



**Bild6.** Ergebnisse der Verfolgung eines Fahrzeugs auf der Autobahn (Bilder 4, 24, 64, 84, 104 einer Folge von 123 Bildern mit Videorate aufgenommen):  $\Delta\phi$  beträgt  $\pi/18$ .

möglich war. Denkbar sind neben der Konturextraktion auf Grund starker Grauwertübergänge auch die Verwendung von regionenbasierten Merkmalen (Texturen, Homogenität innerhalb der Kontur), die bereits bei aktiven Konturen, allerdings mit einem deutlich erhöhten Rechenaufwand, vorgeschlagen wurden [8]. Diese Merkmale könnten auf Grund der 1D Strahlen ermittelt, und Bereiche in denen sie sich ändern, als mögliche Positionen für die Objektkontur markiert werden.

## Literaturverzeichnis

1. Amini, A.; Weymouth, T.; Jain, R.: *Using Dynamic Programming for solving variational problems in vision*, *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Bd. 12, Nr. 9, 1990, S. 855–867.
2. Curwen, R.; Blake, A.: *Dynamic Contours: Real-time Active Splines*, in Blake, A.; Yuille, A. (Hrsg.): *Active Vision*, MIT Press, Cambridge, Massachusetts, London, England, 1992, S. 39–58.
3. Daniilidis, K.; Hansen, M.; Krauss, C.; Sommer, G.: *Auf dem Weg zum künstlichen aktiven Sehen: Modellfreie Bewegungsverfolgung durch Kameranachführung*, in *DAGM 1995, Bielefeld*, 1995, S. 277–284.
4. Delagnes, P.; Benois, J.; Barba, D.: *Active Contours Approach to Object Tracking in Image sequences with Complex Background*, *Pattern Recognition Letters*, Bd. 15, 1995, S. 171–178.
5. Denzler, J.; Niemann, H.: *Combination of Simple Vision Modules for Robust Real-Time Motion Tracking*, *European Transactions on Telecommunications*, Bd. 5, Nr. 3, 1995, S. 275–286.
6. Kass, M.; Wittkin, A.; Terzopoulos, D.: *Snakes: Active Contour Models*, *International Journal of Computer Vision*, Bd. 2, Nr. 3, 1988, S. 321–331.
7. Murray, D.; Basu, A.: *Motion Tracking with an Active Camera*, *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Bd. 16, Nr. 5, 1994, S. 449–459.
8. Ronfard, R.: *Region-Based Strategies for Active Contour Models*, *International Journal of Computer Vision*, Bd. 13, Nr. 2, 1994, S. 229–251.
9. Schmid, M.: *3D-Erkennung von Fahrzeugen in Echtzeit aus monokularen Bildfolgen*, Dissertation, Universität der Bundeswehr, München, 1994.
10. Thomanek, F.; Dickmanns, E.: *Autonomous Road Vehicle Guidance in Normal Traffic*, in *Second Asian Conference on Computer Vision*, Singapore, 1995, S. III/11–III/15.
11. Yokoya, N.; Araki, S.: *Splitting Contour Models Based on Crossing Detection*, in *Proceedings of the 1995 Real World Computing Symposium*, Tokyo, 1995, S. 29–30.

This article was processed using the  $\text{\LaTeX}$  macro package with LLNCS style