

BILDZUORDNUNGSVERFAHREN FÜR DIE DIGITALE AUSWERTUNG VON BILDFOLGEN

Ralf R. Kories, Karlsruhe

1. Einleitung

Die automatische Auswertung von Bildfolgen hat das Ziel, Veränderungen innerhalb der abgebildeten Szene aufgrund der Bewegung von Objekten, aufgrund der Eigenbewegung des abbildenden Sensors oder der Beleuchtungsquelle zu erfassen und korrekt zu deuten. Anwendung kann die Bildfolgenauswertung finden bei Überwachungsaufgaben wie der Verkehrsüberwachung oder der Kollisionsverhütung von Industrierobotern, für medizinische Aufgaben wie die Motilitätsbestimmung des linken Herzventrikels, sowie für die Führung und Navigation autonomer Fahrzeuge. Weitaus mehr Anwendungen gibt Nagel (NAG 81) in seiner umfassenden Übersicht an.

Ein wesentliches Problem bei der Auswertung von Bildfolgen besteht in der Zuordnung korrespondierender Bildbereiche in aufeinander folgenden Bildern. Eine lokale Darstellung der Korrespondenz oder auch der lokalen Verschiebung von Bildbereichen gegeneinander stellen Verschiebungsvektorfelder dar. Sie können Hinweise auf bewegte Objekte geben, unter Umständen erlauben sie die Ermittlung der Bewegungsrichtung des Sensors und der dreidimensionalen Struktur der Szene (ZIM 85).

Dieser Beitrag gibt einen Überblick über Methoden; Verschiebungsvektorfelder aus Bildfolgen zu gewinnen, deren Bilder in kurzem Zeitabstand hintereinander aufgenommen wurden, wie das zum Beispiel für die Bilder einer Fernsehkamera gilt. Dabei lassen sich die Verfahren in drei Gruppen zusammenfassen:

KORRELATION: Diese Methoden basieren auf der Bestimmung von Ähnlichkeiten zwischen Bildausschnitten. Damit verbunden ist ein Suchvorgang, um die beste Passung der Ausschnitte zu finden.

APPROXIMATION DER INTENSITÄTSFUNKTION: Diesen Verfahren liegt eine Modellvorstellung der Grauwertfunktion zugrunde. Sie wird genutzt, um die Verschiebung analytisch zu finden oder zumindest einzuschränken.

MERKMALSVERFOLGUNG: Prominente Strukturen werden in aufeinander folgenden Bildern extrahiert und einander zugeordnet. Im Gegensatz zu den beiden ersten Verfahren gehen dabei die Grauwerte nicht unmittelbar ein.

Zu jeder Gruppe werden repräsentative Ansätze vorgestellt. Das Literaturverzeichnis gibt nur diejenigen Zitate an, die nach Ansicht des Autors die jeweiligen Ansätze am übersichtlichsten beschreiben. Für eine umfassende vergleichende Übersicht sei auf den Übersichtsartikel von Nagel verwiesen (NAG 83 c).

2. Korrelationsmethoden

Bei der Auswertung von Satellitenbildern erwuchs sehr früh der Wunsch, Windvektorfelder aus der Verschiebung von Wolken zu gewinnen. Die ersten Anwendungen setzten dazu Verfahren ein, wie sie zur Anpassung zweier Luftbilder desselben Gebietes verwendet werden (HAL 72, SMI 72). Diese Verfahren basieren auf der Bestimmung der Kreuzkorrelationsfunktion (oder daraus abgeleiteten Funktionen) zwischen Bildausschnitten der zu vergleichenden Bilder. Die korrekte Passung der Bildbereiche wird dort vermutet, wo die Funktion ihr Maximum hat. Die Bestimmung der lokalen Verschiebung vieler Bildbereiche ergibt ein Verschiebungsvektorfeld. Korrelationsmethoden bieten für den Anwender zwei Hauptprobleme:

- der Rechenaufwand ist sehr hoch, insbesondere wenn die zulässigen Verschiebungen groß sind. Ebenso steigt der Aufwand mit zunehmender Größe der anzupassenden Bildbereiche.
- das Maximum der Korrelationsfunktion entspricht nicht immer der wahren Verschiebung. Periodische Strukturen können zu mehreren Gipfeln der Kreuzkorrelationsfunktion führen. In Gebieten mit starken linearen Strukturen ist der Gipfel nicht spitz, sondern lang gezogen. Die Position des Maximums ist daher mehrdeutig. In monotonen Gebieten ist kein ausgeprägtes Maximum zu ermitteln.

Sehr viele Verfahren wurden entwickelt, um den erforderlichen Aufwand zu senken. Aussichtsreich ist dabei die Begrenzung des notwendigen Suchbereichs. Das kann dadurch geschehen, daß man die Kenntnis der Verschiebung aus vorherigen Bildern ausnutzt, um die zukünftige Verschiebung vorherzusagen. Die korrekte Passung der Bildbereiche muß dann nur noch um die vermutete Position gesucht werden ((BEY 81), (SPO 83)). Verfahren, die die Kamera auf ein einziges bewegtes Objekt ausrichten, sind sogar in der Lage, kurzfristig das vollständige Verschwinden des Objekts zu tolerieren ((GER 79),(BER 80)).

Eine weitere Möglichkeit, den Suchbereich einzuschränken, besteht darin, nach einer Grob-Fein-Strategie vorzugehen. Zuerst wird in einem unterabgetasteten oder unscharfen Bild eine grobe Passung gesucht. Um diese Position herum wird mit zunehmend höherer Auflösung die Verschiebungsschätzung verfeinert ((MOR 77), (BUR 82), (BUR 83), (GLA 83), (OVE 84)). In jeder Auflösungsstufe ist der Suchbereich nur klein, die Summe der Suchbereiche ist deutlich kleiner als ein entsprechender Bereich der höchsten Auflösungsebene.

Durch eine effektive Suche des Maximums läßt sich ebenfalls eine Verfahrensbeschleunigung realisieren. Äquivalent zur Suche des Maximums der Kreuzkorrelationsfunktion ist die Bestimmung des Nulldurchgangs ihrer Ableitung. Die Nullstellensuche wird nach Art der Newton-Iteration beschleunigt ((BEY 81), (BER 83)).

Andere Autoren erzielen Rechenzeitgewinn, indem sie die Kreuzkorrelationsfunktion durch einfacher zu berechnende Funktionen ersetzen, so zum Beispiel durch die Summe der quadratischen Grauwertdifferenzen ((LIP 82), (OTT 82)). In Bildbereichen, wo die Passung schlecht ist, wird diese Summe groß sein. Das läßt sich während der Berechnung der Summen bereits feststellen. Wächst die Summe relativ schnell, so wird die Berechnung abgebrochen und zur nächsten Suchposition übergegangen ((BAR 72)). Anstatt das Minimum der quadratischen Differenzen zu suchen, wird auch der Nulldurchgang der Summe der Grauwertdifferenzen gesucht ((LEN 84)).

Dem zweiten Problem der Korrelationsmethoden, nämlich der Möglichkeit, schlecht ausgeprägte Maxima zu erhalten, versuchen manche Autoren dadurch zu begegnen, daß das Bildsignal zuerst daraufhin untersucht wird, wo mit einer steil abfallenden Autokorrelationsfunktion zu rechnen ist ((MOR 77), (HAN 80), (FIN 82), (MAY 83)). Der Effekt ist neben einer Erhöhung der Positionssicherheit eine Reduktion des Korrelationsaufwandes.

Weitere Probleme ergeben sich daraus, daß Korrelationsmethoden streng genommen nur bei translatorischen Verschiebungen angebracht sind. Bei Rotationen- oder Größenveränderungen sind sie nur geeignet, wenn kleine Veränderungen dieser Art vorliegen und die Korrelationsfenster nicht zu groß sind. Kleinere Fenster sind zwar unempfindlicher gegen nicht-translatorische Transformationen, die Zuverlässigkeit des Maximums ist aber auch geringer.

3. Verfahren basierend auf Modellen der Grauwertfunktion

Die folgenden Methoden der Verschiebungsbestimmung basieren auf einer expliziten Modellvorstellung der Grauwertfunktion innerhalb einer Umgebung. Das folgende einfache Beispiel soll die Grundidee verdeutlichen (Abb. 1).

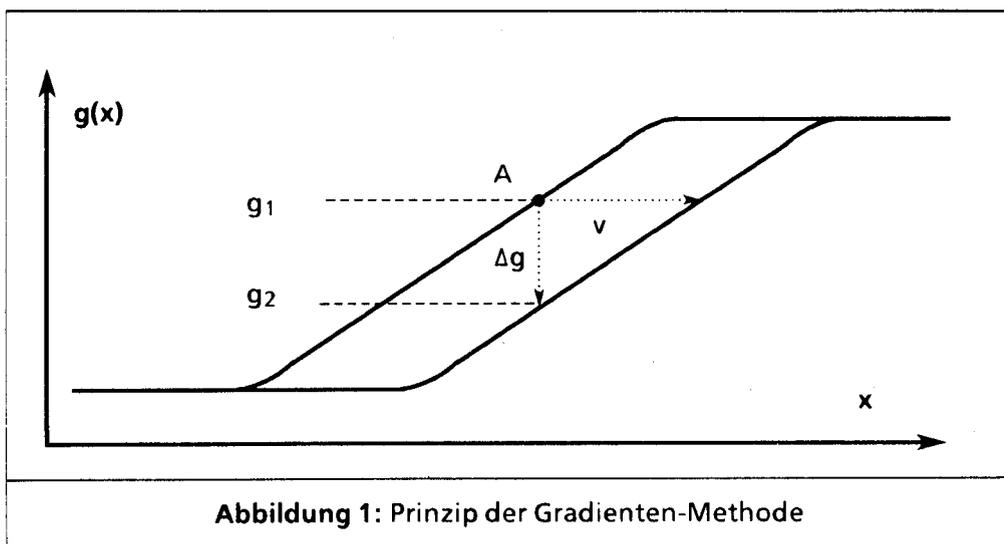


Abbildung 1: Prinzip der Gradienten-Methode

Die eindimensionale Grauwertfunktion g sei um den Punkt A mit guter Näherung linear approximierbar. Bei einer Verschiebung um v ändert sich die Intensität um Δg . Es gilt annähernd

$$\Delta g: = g_1 - g_2 \approx \frac{\partial g}{\partial x} * v \quad (1)$$

Aus dem Gradienten der Grauwertfunktion und der Intensitätsdifferenz an derselben Bildkoordinate läßt sich demnach die Verschiebung schätzen.

Die Verallgemeinerung von (1) auf zwei Dimensionen ergibt

$$\Delta g \approx \nabla g * v = \nabla_x g * u + \nabla_y g * v \quad (2)$$

Diese Gleichung schränkt die Lösungsmenge der Verschiebungsvektoren $v = (u, v)^T$ auf einen linearen Unterraum ein, eine eindeutige Bestimmung der Verschiebung ist aus den Bildgrößen Δg und ∇g nicht möglich. Der in (2) gegebene Zusammenhang ist auch unter sehr viel allgemeineren Voraussetzungen über die Bildfunktion noch gültig (HOR 81), (SCH 84)).

Die im weiteren beschriebenen Ansätze haben das Ziel, zusätzliche Einschränkungen wirksam werden zu lassen, um die Verschiebung eindeutig bestimmen zu können.

Limb und Murphy (LIM 75) wenden die Gradientenmethode mit dem Ziel der bewegungskompensierten Bilddatenreduktion auf Videosignale an. Dabei beschränken sie sich auf die Bestimmung der Verschiebung entlang einer Fernsehzeile. Damit reduziert sich das Problem auf den zu Anfang beschriebenen eindimensionalen Fall. Cafforio und Rocca (CAF 76) segmentieren zuerst das Bild in bewegte und unbewegte Teile mit einem auf einem Markov-Modell basierenden Segmentationsverfahren. Anschließend bilden sie lokale Mittelwerte der Verschiebungsmessungen. Ihr Verfahren ist in der Lage, auch die Verschiebung mehrerer verschiedener Objekte zu bestimmen.

Wenn ein Objekt in der Bildebene nur Translationen ausführt, dann sind alle Bildpunkte derselben Verschiebung unterworfen. In der Praxis weisen die Bildpunkte verschiedene Gradienten der Bildfunktion auf. Damit erhält man für ein Objekt mehrere linear unabhängige Bestimmungsgleichungen vom Typ der Gleichung (2). Fennema und Thompson (FEN 79) bestimmen den Schnittpunkt der Bestimmungsgeralen durch eine Ballungsanalyse und gewinnen damit die Verschiebung des Objekts. Thompson (THO 81) schlägt eine Bestimmung des "besten" Schnittpunktes nach einer linearen Regressionsmethode vor.

Horn und Schunck (HOR 81) fordern, daß das Vektorfeld nur langsam variieren möge, daß es also glatt verläuft. Daraus leiten sie ein Fehlerintegral ab, das sie iterativ minimieren. Das Verfahren stößt an seine Grenze, wenn Sprünge im Vektorfeld auftreten, wie sie beispielsweise durch Relativbewegung von Objekten verursacht sein können.

Yachida (YAC 81) fordert eine örtliche und zeitliche Glattheitsbedingung, um das Vektorfeld zu bestimmen. In (YAC 83) startet das Verfahren an Eckpunkten, wo die Verschiebungen bekannt sind, und verwendet diese Messungen als Startwerte für eine Iteration analog zu Horn und Schunck für Bildbereiche der Umgebung.

Glattheitsbedingungen nur entlang Kanten verlangen Hildreth und Wu ((HIL 83), (HIL 84), (WU 82)). Konturen fallen häufig mit Objektgrenzen zusammen. Hildreths Untersuchungen zeigen, daß das unter den Randbedingungen der Gradientengleichung (2) glatteste Vektorfeld mit der menschlichen Bewegungswahrnehmung gut übereinstimmt. Sie vermag sogar gewisse optische Täuschungen damit zu erklären. Yuille (YUI 84) beschreibt diese Vorgehensweise als Randwertproblem.

Ähnlich wie die ersten Ansätze der Gradientenmethode versuchen Pradny sowie Lucas und Kanade die Verschiebungsbestimmung eindimensional zu lösen. Pradny (PRA 81) betrachtet einen translatorisch bewegten Sensor. Die Vektoren des bei solchen Bewegungsverhältnissen entstehenden Vektorfeldes sind alle entlang Strahlen zum sogenannten Expansionspunkt (focus of expansion) ausgerichtet. Die Verschiebung eines Bildpunktes beschränkt sich demnach auf eine Linie zum Expansionspunkt. Experimentell ist es nicht immer einfach, den Expansionspunkt zuverlässig zu bestimmen.

Lucas und Kanade (LUC 81) messen Disparitäten in Stereobildern. Die bekannte Kameraanordnung und Ausrichtung schränkt die Bestimmung des Versatzes auf Linien parallel zur Stereobasislinie ein.

Die bisher aufgezählten Verfahren gehen von einer linearen Modellvorstellung der Grauwertfunktion aus. Diese Vorstellung ist in vielen Fällen unzureichend. Nagel (NAG 82 a), (NAG 82 b) modelliert deshalb die Grauwertfunktion in der Umgebung einer Stützstelle durch ein bivariables Polynom zweiter Ordnung. Die Verschiebungsbestimmung formuliert er dabei als ein Minimierungsproblem. In (NAG 83) wird nachgewiesen, daß sich die lokale Verschiebung an ausgezeichneten Stellen der Bildfunktion, an sogenannten Grauwertecken, geschlossen bestimmen läßt. Das abseits der Grauwertecken nichtlineare Gleichungssystem läßt sich iterativ lösen und damit Verschiebungswerte auch dort bestimmen, wo die Grauwerteckenbedingung nicht mehr gültig ist (NAG 83 b).

Horn und Schunck stellen eine Glattheitsforderung an das Verschiebungsvektorfeld. Sie erzwingt Glattheit auch über Konturen hinweg, die mitunter aber Objektgrenzen darstellen. An diesen treten häufig auch Unstetigkeiten im Vektorfeld auf, die dann unzulässigerweise geglättet werden. Diese Schwäche vermeidet Nagel, indem er seinen Ansatz um eine sogenannte gerichtete Glattheitsforderung erweitert (NAG 83 d). Sie läßt eine Glättung des Vektorfeldes entlang Konturen zu, reduziert die Glattheitsbedingungen aber quer zur Kantenrichtung.

Der Ansatz von Horn und Schunck läßt sich dann als Sonderfall dieses allgemeinen Ansatzes spezialisieren. Der Ansatz von Nagel ((NAG 84), (NAG 84 a)) zielt auf eine Vereinheitlichung der modellbezogenen Methoden und der Zuordnung von Merkmalen (siehe Abschnitt 3.3). Die Schwierigkeit besteht darin, daß nur für sehr wenige Merkmale bisher eine geschlossene mathematische Beschreibung vorliegt. Hier dominieren noch heuristische Methoden.

4. Merkmalszuordnung

Die Idee dieser Methode besteht darin, ausgeprägte Bildstrukturen (Merkmale) aus Bildern zu extrahieren und ihre Position zu verfolgen. Von vorneherein werden Verschiebungen dabei nur dort gemessen, wo man auch zuverlässige Meßwerte erwarten kann.

Für die Verschiebungsbestimmung in Bildfolgen müssen Merkmale mehrere Eigenschaften aufweisen:

- Sie müssen schnell extrahierbar sein.
- Sie müssen möglichst in allen zu bearbeitenden Szenen mit hinreichender Dichte auftreten.
- Sie müssen unterscheidbar sein. Um eine korrekte Zuordnung zu ermöglichen, müssen sich Merkmale von ihren Nachbarn deutlich unterscheiden.
- Sie müssen stabil sein, d.h. ihre Eigenschaften dürfen sich von Bild zu Bild nur gering ändern und Störeinflüsse dürfen nur geringen Einfluß auf ihre Eigenschaften haben.

Naheliegende Merkmale sind Konturpunkte. Sie eignen sich allerdings für die Verschiebungsbestimmung nicht besonders gut, da die Unterscheidbarkeit nicht gegeben ist. Deshalb werden Konturpunkte häufig zu größeren Strukturen aggregiert. Mehrere Autoren benutzen Geraden zur Verschiebungsbestimmung ((NEU 79), (KOR 80), (KOR 81), (TSU 80)), auch Konturbögen werden angewandt ((TSU 80)). Mehr theoretische Untersuchungen befassen sich mit der Zuordnung von kompletten Polygonen ((AGG 75), (PIE 84)).

Flächen, die gemeinsame statistische Eigenschaften aufweisen ((BAR 83)) oder die durch lokale Eigenschaften der Grauwertfunktion definiert sind ((RAD 78)), (ZIM 84), (BER 84)) werden ebenso als Merkmale für die Bestimmung von Verschiebungsvektorfeldern genutzt.

Besonderes Interesse haben in neuerer Zeit Punktmerkmale gefunden. Punkte, die Zentren von Gebieten steiler Autokorrelationsfunktion sind ((MOR 77)), wurden von Barnard und Thompson (BAR 80) und Dreschler (DRE 81) erprobt. Punkte hoher Krümmung von Konturen verfolgt z.B. Lawton ((LAW 82), (LAW 83)). Dreschler und Nagel (DRE 82) entwickelten einen Operator, der Grauwertecken sucht. Diese Strukturen erlauben die geschlossene Berechnung der Verschiebung basierend auf Modellen der Grauwertfunktion (siehe vorherigen Abschnitt). Zur gleichen Zeit publizierten Kitchen und Rosenfeld (KIT 82) einen Ecken-Operator. Die theoretische Verwandtschaft der Operatoren zeigte Nagel (NAG 83 a), und einen experimentellen Vergleich führten Dreschler und Nagel durch (DRE 82 a). Praktische Ergebnisse mit einer modifizierten Implementation des Dreschler-Punktfinders zeigt Dengler (DEN 84).

5. Verschiebungsvektorfelder aus Merkmalspositionen

Jedes Bild der verarbeiteten Bildfolge wird von den Merkmals-Operatoren in eine symbolische Darstellung übersetzt. Sie besteht nur aus den Positionen der Merkmale und wenigen Eigenschaften. Aus dieser kompakten Beschreibung muß die Verschiebung von Bild zu Bild gewonnen werden. Wenn man die Merkmale einander korrekt zuordnet, ist diese Aufgabe gelöst. Das Problem besteht darin, diese korrekte Zuordnung zu finden.

Ein Beispiel soll das illustrieren: Zwei aufeinanderfolgende Bilder mögen je 100 Merkmale enthalten. Zwischen den Merkmalen gibt es 100×100 Zuordnungen, von denen nur 100 korrekt sind, das heißt 9900 davon sind falsch. Natürlich beschreiben die meisten der falschen Zuordnungskombinationen Bewegungsverhältnisse, die physikalisch unsinnig oder zumindest sehr unwahrscheinlich sind. Aus diesem Grund werden bei allen Verfahren, die Merkmalskorrespondenzen suchen, gewisse einschränkende heuristische Regeln beachtet, die man aus dem Wissen über die Szene und der Aufnahmesituation ableitet. Sie dienen dazu, die kombinatorische Vielfalt der Zuordnungen zu reduzieren. Dabei kommen bei in kurzem Zeitabstand aufgenommenen Bildern mehrere Heuristiken zur Anwendung (nach (BAL 83) und (PRA 79))(siehe dazu Abb. 2):

MAXIMALE VERSCHIEBUNG: Dafür gibt es zwei Begründungen. Meistens läßt sich für die abgebildeten Objekte eine obere Grenze für deren Geschwindigkeit angeben. Unter Berücksichtigung der Abbildungsgeometrie führt das zu einer Einschränkung des Suchbereichs für Merkmalspaarungen. Selbst wenn die Verschiebung der Bildpunkte nicht durch Objekt- sondern Kamerabewegung bedingt ist, so gibt es aufgrund der Bewegungsunschärfe eine sinnvolle obere Grenze des Bild-zu-Bild-Versatzes.

ZEITLICHE KONTINUITÄT: Diese Heuristik ist sinnvoll, wenn die Verschiebungen durch massebehaftete Objekte verursacht werden. Maximal mögliche Beschleunigungen lassen dann eine Eingrenzung der maximalen Verschiebungsänderung zu. Eine bewegte Kamera kann fast beliebig schnelle Verschiebungsänderungen zur Folge haben, solange über die Art der Kamerabewegung (Kontinuität) kein weiteres Wissen vorliegt.

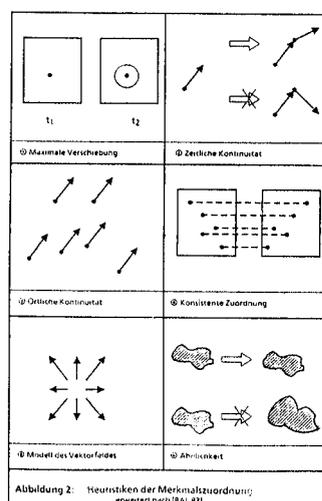
ÖRTLICHE KONTINUITÄT: Darin drückt sich die Erfahrung aus, daß Verschiebungsvektorfelder gebietsweise glatt verlaufen. Wenn aber gerade Unstetigkeiten im Vektorfeld, bedingt durch Relativbewegung oder Tiefenstruktur, die interessierende Information beinhalten, dann ist diese Heuristik nicht angebracht.

KONSISTENTE ZUORDNUNG: Üblicherweise paßt eine Merkmalsposition zu genau einer Position im folgenden Bild. Bei Verdeckungen kann diese Regel verletzt werden.

MODELL DES VEKTORFELDES: Aufgrund von a priori Wissen über die Bewegungsvorgänge lassen sich mitunter die Form des Vektorfeldes oder seine Eigenschaften angeben (homogen, zentral orientiert). Dadurch kann der Suchbereich vorhergesagt oder gezielt eingeschränkt werden. Die Anwendbarkeit dieser Regel ist dann wieder in Frage zu stellen, wenn die Problemstellung verlangt, Abweichungen vom Modellzustand zu erkennen (Kollisionsverhütung, Wirbel in Strömungen).

ÄHNLICHKEIT: Diese Erfahrungsregel basiert darauf, daß sich die Eigenschaften eines Merkmals nur langsam von Bild zu Bild ändern. Deshalb ist man geneigt, zum Beispiel einen kleinen Fleck eher einem kleinen als einem großen Fleck im folgenden Bild zuzuordnen. Bei ähnlich großen Flecken, wovon der eine wächst, der andere schrumpft, versagt die Regel vorübergehend.

Die letzte Heuristik ist so allgemein in der Literatur akzeptiert, daß sie als solche gar nicht mehr genannt wird. Auch die Verfahren, die direkt von der Intensitätsfunktion Verschiebungen herleiten, maximieren ein Ähnlichkeitsmaß (Korrelationsverfahren) oder minimieren ein Fehlerintegral (differentialgeometrische Verfahren).



5.1 Zuordnungsstrategien

Publizierte Verfahren, die Merkmale zur Verschiebungsbestimmung benutzen, folgen verschiedenen Zuordnungsstrategien, in denen die erwähnten Heuristiken in unterschiedlichem Maße angewandt werden. Tabelle I gibt einen zusammenfassenden Überblick. Die in der letzten Spalte angegebenen Publikationen sind charakteristische Beispiele. Zusätzlich sind die zur Anwendung kommenden Heuristiken gelistet. Die Zahlen entsprechen den Nummern der Heuristiken in Abb. 2. Die bekanntesten Methoden sind:

VERSCHIEBUNGSHISTOGRAMM: Wenn die Abbildungs- und Bewegungsbedingungen ein homogenes Verschiebungsvektorfeld zur Folge haben, dann kann die Verwendung eines Verschiebungs-Histogramms Erfolg versprechen. Innerhalb eines großzügig gewählten Suchbereichs wird jedes Merkmal mit jedem verglichen, und die daraus resultierenden Verschiebungen in ein zweidimensionales Verschiebungs-Histogramm eingeordnet. Man erwartet, daß sich die tatsächlichen Verschiebungen im gesamten Feld kumulieren und einen gut erkennbaren Gipfel im Histogramm produzieren.. Noges et al. (NOG 80) haben in einer Simulationsrechnung das "Signal-Rausch-Verhältnis" im Histogramm modelliert; in (KOR 80) werden Verschiebungsvektoren einer Autoszene mit einem Histogramm-Verfahren bestimmt. Kleine relativ bewegte Objekte sind damit schwierig zu erfassen, weil der kleinere Gipfel der zugehörigen Verschiebung leicht im Histogramm-Rauschen untergeht.

NEAREST NEIGHBOR: Bei dieser Vorgehensweise wird der einem Merkmal nächste Nachbar als Partner für die korrekte Zuordnung angesehen. Bei geringer Merkmalsdichte und geringer Verschiebung führt die Methode zum Erfolg. In Gegenden des Bildes, in denen die Merkmalsdichte lokal ansteigt, lassen sich falsche Zuordnungen vermeiden, indem man nur Merkmale zuordnet, die sich gegenseitig nächste Nachbarn sind ((DRE 81), (JON 79)). Der Algorithmus zum Stereosehen von Marr und Poggio (MAR 79) schafft durch geeignete Bandpaßfilterung die Voraussetzung dafür, daß Merkmale, nämlich Nulldurchgänge, nicht zu dicht beieinander liegen können ((GRI 80)).

PRADIKTION: Dieses Verfahren ist eine unmittelbare Konsequenz aus der Heuristik ZEITLICHE KONTINUITÄT. Aus der in vorherigen Bildern gemessenen Verschiebung wird die der Folgebilder vorhergesagt (RAS 79). Damit läßt sich der Suchbereich einschränken. Wenn sich die Verschiebungen von Bild zu Bild abrupt ändern, besteht die Gefahr, daß die Merkmale den eingeschränkten Suchbereich verlassen.

HIERARCHISCHE VERFAHREN: Auch hier ist eine effektive Suchbereichseinschränkung das Ziel. Sie erfolgt dadurch, daß in grob aufgelösten Bildern eine Schätzung der Verschiebung an feiner aufgelöste Bilder weitergegeben wird, und dort nur noch um die vermutete Position gesucht werden muß. Die grob aufgelösten Bilder verschafft man sich durch geeignete Vorfilterung und Unterabtastung ((GRI 80), (GLA 83)). Hierbei wird die Heuristik ÖRTLICHE KONTINUITÄT genutzt. Unstetigkeiten im Vektorfeld werden dadurch unter Umständen geglättet, weil die grob aufgelösten Bilder zu einer Art "tiefpaßgefiltertem" Vektorfeld führen.

Eine Hierarchie von Abstraktionsebenen nutzen Roach und Aggarwal (ROA 79) bei der Zuordnung von blockhaften Objekten. In der höchsten Abstraktionsebene werden komplette Objekte einander zugeordnet. Wenn dieser Mechanismus versagt, wird auf die nächsttiefere Ebene ausgewichen. Dort werden ebene polygonale Flächen zur Passung gebracht.

Eine Grob-Fein-Strategie eigener Art schlagen Dreschler-Fischer und Triendl vor (DRE 84), die sie an folgendem Beispiel erläutern. Die Eckpunkte der Felder eines Schachbrettes haben viele gleichartige Nachbarn, die korrekte Zuordnung ist deshalb schwierig. Eindeutig zuzuordnen sind aber die äußeren vier Ecken des Brettes. Ausgehend von diesen sicheren Korrespondenzen lassen sich die Zuordnungen der inneren Punkte leiten.

RELAXATION: Diese Strategie nutzt die örtliche Kontinuität des Vektorfeldes aus. In (BAR 80) werden, ausgehend von lokalen Grauwertähnlichkeiten, Kompatibilitätskoeffizienten für jede Zuordnung bestimmt und iterativ diejenigen Verschiebungsvektoren bevorzugt, in deren Nachbarschaft vergleichbare Vektoren zu finden sind. Die Methode wurde von Dreschler (DRE 82) so modifiziert, daß Kompatibilitätskoeffizienten auch abgeschwächt werden können, wenn keine gleichartigen Verschiebungsvektoren in der Nachbarschaft zu finden sind. Das Verfahren erzwingt lokale Glattheit des Vektorfeldes. Dadurch können Vektoren, die zu kleinen relativ bewegten Objekten gehören, unterdrückt werden. Eine günstige Eigenschaft ist, daß ein Merkmal durchaus auch ohne Partner im folgenden Bild verbleiben kann. Diese Situation tritt bei Verdeckungen und unstabilen Merkmalen auf.

MINIMAL MAPPING: Ullman (ULL 79) hat diese Zuordnungsvorschrift entworfen, auf der seiner Ansicht nach die Korrespondenzanalyse des menschlichen visuellen Systems beruht. Experimente mit Versuchspersonen ergaben, daß sich Zuordnungen von Merkmalen gegenseitig nicht zu beeinflussen scheinen. Daraus leitet er unter sehr allgemeinen Annahmen die mutmaßlichste Kombination von Merkmalen her. Man findet diese Zuordnung durch globale Minimierung einer Kostenfunktion. Er zeigt, daß durch einen Iterationsprozess dieses Minimum immer gefunden werden kann. Das Verfahren neigt dazu, glatte Vektorfelder zu produzieren und beruht explizit auf dem Abstand der Merkmale. Praktisch erprobt wurde das Verfahren von Dengler (DEN 84).

MODELLBEZOGENE VERFAHREN: Auch hier kann die Kenntnis der Form des Vektorfeldes den Suchbereich wirksam eingrenzen. Lawton und Rieger (LAW 83, (RIE 83)) suchen in einem sternförmigen Vektorfeld passende Merkmale nur entlang der Strahlen zum Expansionszentrum. Jain (JAI 83) bestimmt den Expansionspunkt eines solchen Vektorfeldes ohne die Merkmalszuordnungen explizit durchzuführen. Er minimiert dabei eine auf der Dreiecksungleichung basierende globale Kostenfunktion. Implizit liegt auch den Histogramm-Methoden eine Modellvorstellung zugrunde, nur wird sie hier explizit formuliert. Entsprechend haben diese Verfahren Schwierigkeiten, Abweichungen vom Modellzustand korrekt zu behandeln. Unter Umständen werden dabei modellkonforme Zuordnungen erzwungen.

PLAUSIBILITÄTSBEREINIGUNG: Dieses Verfahren wurde für die Zuordnung von Geradenstücken entwickelt (KOR 81). Es ließ sich aber ohne weiteres auch auf andere Merkmale übertragen (KOR 83). Es ist in seiner Wirkung dem Verfahren von Ullman ähnlich, benötigt allerdings keine Iterationen. Es wertet die Ähnlichkeit der Merkmale aus, berücksichtigt aber im Gegensatz zum Verfahren von Ullman nicht deren Abstand. Nicht konsistente Zuordnungen, wie die Abbildung zweier Merkmale auf eines, werden dabei unterdrückt.

Methode	Beschreibung	Heuristik	Bemerkungen	Autoren
Verschiebungs-Histogramm	Histogramm-Maximum ist korrekte Verschiebung	① ③	implizites Modell, Probleme bei Abweichungen	KOR 80 NOG 80
<i>nearest neighbor</i>	nächster Nachbar, evtl. mit Suchbereichseinschränkung	①	Probleme bei hoher Merkmaldichte und großer Verschiebung	GRI 80 DRE 81 JON 79
Prädiktion	Vorhersage aus vorherigen Messungen, Suchbereichseinschränkung	① ② ④	unruhige Bewegungen problematisch	RAS 79
Hierarchie	Grob aufgelöste Bilder leiten Suche für hoch aufgelöste, Suchbereichseinschränkung	① ② ④	Unstetigkeiten werden geglättet	GRI 80 GLA 83
Relaxation	gegenseitige Verstärkung ähnlicher Vektoren	① ② ④	Unstetigkeiten problematisch, Iterationen notwendig	BAR 80 DRE 82
<i>minimal mapping</i>	Globale Minimierung einer Kostenfunktion	④	Probleme wie <i>nearest neighbor</i> , Iterationen notwendig	ULL 79 DEN 84
Modelle	Einschränkung des Suchbereichs durch Modell des VVF	① ② ③ ④	Abweichungen vom Modell problematisch	JAI 83 LAW 83 RIE 83
Plausibilitäts-Bereinigung	Maximiert lokal Ähnlichkeit, verhindert unsinnige Kombinationen	① ② ④	Verdeckungen problematisch	KOR 81

Tabelle 1

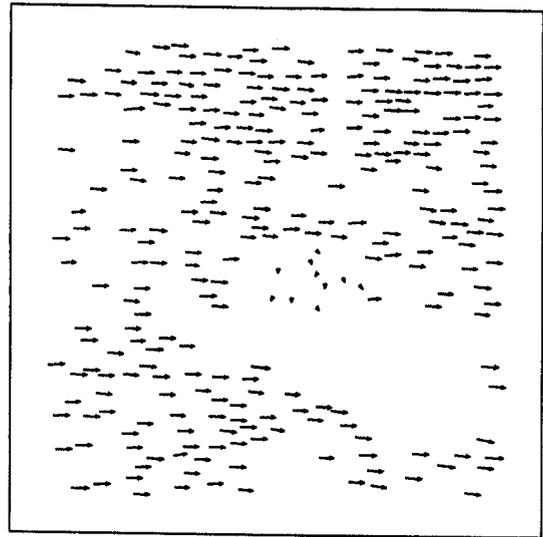
6. Beispiele

Die folgenden Beispiele aus der Arbeit des Fraunhofer-Instituts für Informations- und Datenverarbeitung sollen einige Verfahren illustrieren. Abb. 3a zeigt ein Bild einer Fernsehbildfolge. Ein Fahrzeug fährt von links nach rechts auf einem Parkplatz. Mit einem Operator, der Kuppen und Senken des Grauwertgebirges extrahiert (ZIM 84), und anschließender Zuordnung der Merkmalspositionen nach der Plausibilitätsbereinigung (KOR 81) erhält man das Verschiebungsvektorfeld in Abb. 3b.

Offensichtlich war die Kamera bei der Aufnahme bewegt, sie schwenkte nach links. Ersichtlich wird das aus der nach rechts zeigenden Mehrzahl der Vektoren. Im Vektorfeld ist eine Gruppe von Vektoren auszumachen, die zu dem relativ zum Parkplatz bewegten Fahrzeug gehören. Mit einem Verfahren, das Gruppierungen dieser Art in Vektorfeldern sucht, ist es möglich, der Bildfolge Hinweise auf relativ bewegte Objekte zu entnehmen. In dieser Szene gelingt es, das Fahrzeug in rund 90% der 120 verarbeiteten Bilder zu finden (KOR 85).



a



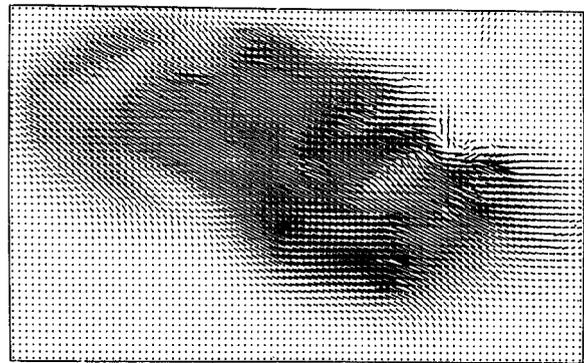
b



c



d



e

Abbildung 3: Beispiele von oben links nach rechts unten:
Originalbild, Verschiebungsvektorfeld aus
Merkmalen, Maske aus Bewegungsschätzung,
Vektorfeld aus differentiellem Verfahren

Die Markierung des Fahrzeugs durch einen Rahmen ist noch relativ grob. Die Verschiebung des Fahrzeugs wird mit einer Genauigkeit von ungefähr einem halben Pixel gemessen. Diese Genauigkeit erlaubt es, aufgrund der Verschiebung für jedes Pixel zu entscheiden, ob es zum Fahrzeug gehört oder nicht. Dabei wird die Gradientenmethode angewandt. Daraus ergibt sich eine Maske, die die Silhouette des Fahrzeugs mit guter Näherung wiedergibt (Abb. 3c). Die Fehler im Bereich der Motorhaube und des Bordsteins können durch unzureichende Approximation der Grauwertfunktion bei der Anwendung des Gradientenverfahrens erklärt werden (KOR 85).

Durch Berücksichtigung der lokalen Eigenschaften der Grauwertfunktion läßt sich also eine hohe Auflösung erreichen. Auf diese Weise produziert das Verfahren von Nagel und Enkelmann von vorneherein dichte Vektorfelder (NAG 84). Dabei wird die Grauwertfunktion nicht nur linear sondern quadratisch modelliert. Es zeigt sich, daß das Verfahren an Kuppen und Senken der Grauwertfunktion gut konditioniert ist, wo auch der oben erwähnte Merkmalsoperator arbeitet (KOR 86). Abb. 3e zeigt das auf diese Weise gewonnene Verschiebungsvektorfeld im Bereich des Fahrzeugs in Abb. 3d.

7. Literaturverzeichnis

Bibliographische Abkürzungen:

- AAAI American Association for Artificial Intelligence
CGIP Computer Graphics and Image Processing
CVGIP Computer Vision, Graphics and Image Processing
CVPR IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition
DAGM Deutsche Arbeitsgemeinschaft für Mustererkennung
DAGM-78 E. Triendl (ed.): Bildverarbeitung und Mustererkennung, Informatik Fachberichte 17, Springer, 1978.
DAGM-79 J.P. Foith (ed.): Angewandte Szenenanalyse, Informatik Fachberichte 20, Springer, 1979
DAGM-80 S.J. Pöppel (ed.): Erzeugung und Analyse von Bildern und Strukturen, Informatik Fachberichte 29, Springer, 1980.
DAGM-81 B. Radig (ed.): Modelle und Strukturen, Informatik Fachberichte 49, Springer, 1981.
DAGM-83 H. Kazmierczak (ed.): Mustererkennung 1983. VDE-Fachberichte 35, VDE-Verlag, Berlin, 1983.
DAGM-84 W. Kropatsch (ed.): Mustererkennung. Informatik Fachberichte 87, Springer, 1984.
ECAI-84 European Conference on Artificial Intelligence. T.O'Shea (ed.): Advances in Artificial Intelligence. Elsevier Science Publishers, North Holland, 1984.
EUSIPCO European Signal Processing Conference
ICC Image Coding Conference
ICPR IEEE International Conference on Pattern Recognition
IJCAI International Joint Conference on Artificial Intelligence
IJCPR International Joint Conference on Pattern Recognition
NAECON-80 32nd National Aerospace and Electronics Conference, Dayton, Ohio, 1980
PRIP IEEE Computer Society Conference on Pattern Recognition and Image Processing
PAMI IEEE Pattern Analysis and Machine Intelligence
SPIE Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers
- (AGG 75) J.K. AGGARWAL, R.O. DUDA: Computer Analysis of Moving Polygonal Images. IEEE Trans. Computers, Vol. C-24, 1975, 966-976
(BAL 83) D.H. BALLARD, C.M. BROWN: Computer Vision. Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, NJ, 1983
(BAR 72) D.I. BARNEA, H.F. SILVERMAN: A Class of Algorithms for Fast Digital Image Registration IEEE Trans. Comp., Vol. C-21, No. 2, 1972.
(BAR 80) S.T. BARNARD, W.B. THOMPSON: Disparity Analysis of Images. IEEE PAMI-2, No. 4, 1980, 333-340.
(BAR 82) S.T. BARNARD, M.A. FISCHLER: Computational Stereo. ACM Computing Surveys, Vol. 14, No. 4, 1982, 553-572.
(BAR 83) B. BARGEL, A. EBERT, D. ERNST: Objektdetektion und Klassifikation in Bildfolgen. DAGM-83, 66-71.
(BER 80) K.H. BERS, M. BOHNER, H. GERLACH: Object Detection in Image Sequences. ICPR-80, 1317-1319.
(BER 83) H.C. BERGMANN: Displacement Estimation Based on the Correlation of Image Segments. Conf. on Electronic Image Processing, University of York, UK, IEE No. 214, 1983, 215- 219 .
(BER 84) K.H. BERS, M. BOHNER, P. FRITSCHKE, H. STENGEL: Detektion und Verfolgung von Objekten in natürlicher Umgebung. DAGM-84, 141-146.
(BEY 81) S. BEYER: Displacement Measurements with Fast Video Correlators. Picture Coding Symposium, Montreal, Canada, 1981, 56-57.
(BUR 82) P.J. BURT: Pyramid-Based Extraction of Local Image Features with Applications to Motion and Texture Analysis. SPIE Vol. 360, 1982, 114-124.
(BUR 83) P.J. BURT, C. YEN, X. XU: Multi-Resolution Flow-Through Motion Analysis. CVPR-83, 246-252.
(CAF 76) C.CAFFORIO, F. ROCCA: Methods for Measuring Small Displacements of Television Images. IEEE Trans. Inf. Theory, Vol. IT-22, No. 5, 1976, 573-579.
(DAV 83) L.S. DAVIS, Z. WU, H. SUN: Contour-Based Motion Estimation. CVGIP 23, 1983, 313-326.
(DEN 84) J. DENGLER, J. BILLE: A Scene Analysis System Simulating the Peripheral Visual Perception. ICPR-84, 863-865.

- (DRE 81) L. DRESCHLER: Ermittlung markanter Punkte auf den Bildern bewegter Objekte und Berechnung einer 3D-Beschreibung auf dieser Grundlage. Dissertation Fachbereich Informatik, Universität Hamburg, 1981.
- (DRE 81a) L. DRESCHLER: Zur Reproduzierbarkeit von markanten Bildpunkten bei der Auswertung von Realwelt-Bildfolgen. DAGM-81, 76-82.
- (DRE 82) L.DRESCHLER, H.H. NAGEL: Volumetric Model and 3D Trajectory of a Moving Car Derived from Monocular TV Frame Sequences of a Street Scene. CGIP 20, 1982, 199-228.
- (DRE 82a) L.S. DRESCHLER, H.H. NAGEL: On the Selection of Critical Points and Local Curvature Extrema of Region Boundaries for Interframe Matching. ICPR-82, 542-544.
- (DRE 84) L.S. DRESCHLER-FISCHER, E.E. TRIENDL: The Asterix-System: A Feature Based Approach to the Correspondence Problem. Submitted to the IU-Workshop 4.9. 1984.
- (FEN 79) C.L. FENNEMA, W.B. THOMPSON: Velocity Determination in Scenes Containing Several Moving Objects. CGIP 9, 1979, 301-315.
- (FIN 82) V. FINK: Digitale Videoübertragung mit reduzierter Bildfolgefrequenz und bewegungsangepaßter Bild-zu-Bild-Interpolation. Institut für Flugführung, DFVLR Braunschweig, Institutsbericht IB 112-82/16, 1982.
- (GEN 77) D.B. GENNERY: A Stereo Vision System for an Autonomous Vehicle. IJCAI-77, 576-582.
- (GER 79) H. GERLACH: Digitale Bildfolgenauswertung zum Wiederfinden von Objekten in natürlicher Umgebung. DAGM-79, 199-207.
- (GLA 83) F. GLAZER, G. REYNOLDS, P. ANANDAN: Scene Matching by Hierarchical Correlation. CVPR-83, 1983, 432-441.
- (GRI 80) W.E.L. GRIMSON: A Computer Implementation of a Theory of Human Stereo Vision. M.I.T., A.I. Memo No. 565, 1980.
- (HAL 72) D.J. HALL, R.M. ENDLICH, D.E. WOLF, A.E. BRAIN: Objective Methods for Registering Landmarks and Determining Cloud Motions from Satellite Data. IEEE Trans. Computers, Vol. C-21, No. 7, 1972, 768-776.
- (HAN 80) M.J. HANNAH: Bootstrap Stereo. Proc. Image Understanding Workshop. In: L.S. Baumann (ed.), Sciences Application Inc., Arlington VA, 1980, 201-208.
- (HIL 83) E.C. HILDRETH: Computing the Velocity Field Along Contours. Comm. ACM, Vol. 4, 1983, 26-32.
- (HIL 84) E.C. HILDRETH: Computations Underlying the Measurement of Visual Motion. Artificial Intelligence, Vol. 23, 1984, 309-354.
- (HOR 81) B.K.P. HORN, B.G. SCHUNCK: Determining Optical Flow. Artificial Intelligence, Vol.17 1981, 185-203.
- (JAI 83) R. JAIN: Direct Computation of the Focus of Expansion. PAMI 5, 1983, 58-64.
- (JOH 75) G. JOHANSSON: Visual Motion Perception. Scientific American, Vol. 232, No. 6, 1975, 76-88.
- (JON 79) P.R. JONAS, P.M. KENT: Two-dimensional Velocity Measurement by Automatic Analysis of Trace Particle Motion. Journal of Physics E, Vol. 12, No. 7, 1979, 604-609.
- (KIT 82) L. KITCHEN, A. ROSENFELD: Gray-Level Corner Detection. Pattern Recognition Letters 1 1982, 95-102.
- (KOR 80) A. KORN, R. KORIES: Motion Analysis in Natural Scenes Picked up by a Moving Optical Sensor. IJCP-80, 1251-1254.
- (KOR 81) R. KORIES: Determination of Displacement Vector Fields for General Camera Motions. PRIP-81, 115-117.
- (KOR 83) R. KORIES, G. ZIMMERMANN: Die Eignung spezifischer Bildstrukturen für die Bewegungsbestimmung in Bildfolgen. FhG-Berichte 2/83, München, 1983, 4-6.
- (KOR 84) R.KORIES, G. ZIMMERMANN: Motion Detection in Image Sequences: An Evaluation of Feature Detectors. ICPR-84, 778-780.
- (KOR 85) R. KORIES: Maschinelles Bewegungssehen in natürlichen Szenen: Die Auswertung von Bildfolgen gestützt auf Bildmerkmale. Dissertation, Universität Mainz, 1985.
- (KOR 86) R. KORIES, H.-H. NAGEL, G. ZIMMERMANN: An Investigation of Estimation Approaches for Displacement Vector Fields. In J.K. Aggarwal, W.N. Martin (ed.): Motion Understanding. In Vorbereitung.
- (LAW 82) D.T. LAWTON: Motion Analysis via Local Translational Processing. IEEE Workshop on Computer Vision, Representation and Control, 1982, 59-72.
- (LAW 83) D.T. LAWTON: Processing Translational Motion Sequences, CVGIP 22, 1983, 116-144.
- (LEN 84) R. LENZ: Estimation of General 2-D Motion Parameters in TV-Scenes. ICPR-84, 546-548.
- (LIM 75) J.O. LIMB, J.A. MURPHY: Estimation the Velocity of Moving Images in Television Signals. CGIP 4, 1975, 311-327.
- (LIP 82) R. LIPPMANN: Continuous Movement Regeneration in Low-Frame-Rate Aerial Images. IEE Int.Conf. Electronic Image Processing, 1982, 194-198.
- (LUC 81) B.D. LUCAS, T. KANADE: An Iterative Image Registration Technique with an Application to Stereo Vision. IJCAI-81, 674-679.
- (MAR 79) D. MARR, T. POGGIO: A Computational Theory of Human Stereo Vision. Proc. Royal Society London, B 204, 1979, 301-308.
- (MAY 83) F. MAY, W. WOLF: Trennung bewegter Objekte im bewegten Umfeld einer Bildszene durch mehrstufige Bewegungskompensation. DAGM-83, 54-59.

- (MAY 84) F. MAY: Codierung von Bildfolgen mit objektbezogener Bewegungskompensation und Signifikanzklassifikation. Dissertation, Universität Karlsruhe, 1984.
- (MOR 77) H.P. MORAVEC: Towards Automatic Visual Obstacle Avoidance. IJCAI-77, 584.
- (MOR 79) H.P. MORAVEC: Visual Mapping by a Robot Rover. IJCAI-79, 598-600.
- (MOR 80) H.P. MORAVEC: Obstacle Avoidance and Navigation in the Real World by a Seeing Robot Rover. Dissertation, Stanford University, Stanford Artificial Intelligence Laboratory Memo AIM-340, 1980.
- (MUT 83) K.M. MUTCH, W.B. THOMPSON: Hierarchical Estimation of Spatial Properties from Motion. In: A. Rosenfeld (ed.): Multiresolution Image Processing and Analysis, Springer, 1983.
- (NAG 81) H.-H. NAGEL: Image Sequence Analysis: What can we learn from Applications? In: T.S. Huang (ed.): Image Sequence Analysis, Springer, 1981.
- (NAG 82a) H.-H. NAGEL, W. ENKELMANN: Investigation of Second Order Greyvalue Variations to Estimate Corner Point Displacements. ICPR-82, 768-773.
- (NAG 82b) H.-H. NAGEL: On Change Detection and Displacement Vector Estimation in Image Sequences. Pattern Recognition Letters 1, 1982, 55-59.
- (NAG 83) H.-H. NAGEL: On the Estimation of Dense Displacement Vector Fields from Image Sequences. ACM SIGGRAPH/SIGART Interdisciplinary Workshop on Motion: Representation and Perception, Toronto, Canada, 1983, 59-65.
- (NAG 83a) H.-H. NAGEL: Displacement Vectors Derived from Second Order Intensity Variations in Image Sequences. CVGIP 21, 1983, 85-117.
- (NAG 83b) H.-H. NAGEL, W. ENKELMANN: Iterative Estimation of Displacement Vector Fields in TV-Frame Sequences. EUSIPCO-83, 299-302.
- (NAG 83c) H.-H. NAGEL: Overview on Image Sequence Analysis. In T.S. Huang (ed.): NATO ASI on Image Sequence Processing and Dynamic Scene Analysis, Springer, 1983, 2-39.
- (NAG 83d) H.-H. NAGEL: Constraints for the Estimation of Displacement Vector Fields from Image Sequences. IJCAI-83, 945-951.
- (NAG 84) H.-H. NAGEL, W. ENKELMANN: Berechnung von Verschiebungsvektorfeldern in Bildbereichen mit linienhaften oder partiell homogenen Grauwertverteilungen. DAGM-84, 154-160.
- (NAG 84a) H.-H. NAGEL: Recent Advances in Image Sequence Analysis. Premier Colloque Image, Biarritz, Mai 1984.
- (NET 79) A.N. NETRAVALI, J.D. ROBBINS: Motion Compensated Television Coding, Part I. Bell System Technical Journal, Vol. 58, 1979, 631-670.
- (NEU 79) B. NEUMANN: Räumliche Analyse von Bildsequenzen mit Hilfe korrespondierender Kanten. DAGM-79, 216-221.
- (NOG 80) E. NOGES, A.M. SAVOL, A.J. WITSMEER, D. MOERDYKE: The Application of an Iterative Feature Matching Algorithm to Terminal Homing. SPIE 24th Technical Annual Symposium, Vol. 238, paper no. 31, 1980.
- (OTT 82) R. OTT: Untersuchungen zu Verfahren zur Messung des Bild-zu-Bild-Versatzes in Videobildsequenzen. Institut für Flugführung, DFVLR Braunschweig, Institutsbericht IB 112-82/10.
- (OVE 84) K.C. OVERMAN, F. GHAZIZADEH, D.F. MIX: Scene Matching by Defocussed Images. ICPR-84, 960-962.
- (PIE 84) G.G. PIERONI, M.F. COSTABILE: Finding Correspondences in Time-Varying Shape Boundaries. ICPR-84, 1171-1174.
- (PRA 79) J.M. PRAGER: Segmentation of Static and Dynamic Scenes. COINS Technical Report 79-7, Computer and Information Science, Univ. Massachusetts, May 1979.
- (PRA 81) K. PRAZDNY: A Simple Method for Recovering Relative Depth Map in the Case of a Translating Sensor. IJCAI-81, 698-699.
- (RAD 78) B. RADIG: Description of Moving Objects Based on Parameterized Region Extraction. IJCP-78, 723-725.
- (RAS 79) R. RASHID: LIGHTS: A Study in Motion. Image Understanding Workshop (Los Angeles), 1979, 57-68.
- (RIE 83) J.H. RIEGER, D.T. LAWTON: Sensor Motion and Relative Depth from Difference Fields of Optical Flow. IJCAI-83, 1027-1031.
- (ROA 79) J.W. ROACH, J.K. AGGARWAL: Computer Tracking of Objects Moving in Space. PAMI 1, 1979, 127-134.
- (SCH 84) B.G. SCHUNCK: The Motion Constraint Equation for Optical Flow. ICPR-84, 20-22.
- (SHA 84) M.A. SHAH, R. JAIN: Detecting Time-Varying Corners. ICPR-84, 2-5.
- (SMI 72) E.A. SMITH, D.R. PHILLIPS: Automated Cloud Tracking Using Precisely Aligned Digital ATS Pictures. IEEE Trans. Computers, Vol. C-21, No. 7, 1972, 715-729.
- (SPO 83) P. SPOER: Displacement Estimation for Objects on Moving Background. In: T.S. Huang (ed.): Image Sequence Processing and Dynamic Scene Analysis, Springer, 1983, 424-436
- (THO 81) W.B. THOMPSON, S.T. BARNARD: Lower-Level Estimation and Interpretation of Visual Motion. IEEE Computer, Vol. 14, No. 8, 1981, 20-28.
- (THO 84) W.B. THOMPSON, K.M. MUTCH, V.A. BERZINS: Analyzing Object Motion Based on Optical Flow. ICPR-84, 791-793.

- (TSU 80) S. TSUJI, M. OSADA, M. YACHIDA: Tracking and Segmentation of Moving Objects in Dynamic Line Images. PAMI 2, 1980, 516-522.
- (ULL 79) S. ULLMAN: The Interpretation of Visual Motion. MIT press, Cambridge, MA, 1979.
- (ULL 81) S. ULLMAN: Analysis of Visual Motion by Biological and Computer Systems. IEEE Computer, Vol. 14, 1981, 57-69.
- (WU 82) Z. WU, H. SUN, L.S. DAVIS: Determining Velocities by Propagation. ICPR-82, 1147-1149.
- (YAC 81) M. YACHIDA: Determining Velocity Map by 3-D Iterative Estimation. IJCAI-81, 716-718.
- (YAC 83) M. YACHIDA: Determining Velocity Maps by Spatio-Temporal Neighborhoods from Image Sequences. CVGIP-21, 1983, 262-279.
- (YUI 84) A.L. YUILLE: The Smoothest Velocity Field Token Matching Schemes. ECAI-84, 621-630.
- (ZIM 83) G. ZIMMERMANN, R. KORIES: Ein Vergleich der Wirksamkeit verschiedener Bildstrukturen für die Relativbewegungsdetektion. DAGM-83, 60-65.
- (ZIM 84) G. ZIMMERMANN, R. KORIES: Eine Familie von Bildmerkmalen für die Bewegungsbestimmung in Bildfolgen. DAGM-84, 147-153.
- (ZIM 85) G. ZIMMERMANN, R. KORIES: Ein vielseitiges Verfahren zur Bestimmung von Verschiebungsvektorfeldern aus Bildfolgen. FhG-Berichte 2-85, München, 1985.

Zusammenfassung

Dieser Beitrag gibt einen kurzgefaßten Überblick über Methoden der Zuordnung von Bildern aus Bildfolgen mit dem Ziel, Verschiebungsvektorfelder zu gewinnen. Dabei werden drei Gruppen von Verfahren dargestellt: Korrelationsverfahren, differentielle Methoden und die Zuordnung von Bildstrukturen, sogenannten Merkmalen. Es werden Strategien der Merkmalszuordnung erläutert. Beispiele aus Arbeiten unseres Institutes illustrieren die Wirksamkeit einzelner Verfahren und die Möglichkeit ihrer Kombination.

IMAGE MATCHING PROCEDURES FOR DIGITAL PROCESSING OF IMAGE SEQUENCES

Abstract

The paper gives a short summary about the methods of image matching from image sequences with the aim of obtaining shift vectors. Three groups of procedures are presented: correlation methods, differential methods, and the matching of image structures, e.g. so-called features. Strategies of feature based correspondence algorithms are discussed. Examples of our institute's work illustrate the efficiency of individual methods and the practicability of their combination.

Ralf R. Kories
Fraunhofer-Institut für Informations-und Datenverarbeitung
Sebastian-Kneipp-Straße 12-14
D- Karlsruhe