

# Eine Methodenbank zur Evaluierung von „Stereo-Vision“-Verfahren

Andreas Koschan, Institut für Technische Informatik,  
Technische Universität Berlin, FR3-3, Franklinstraße 28/29, W-1000 Berlin 10

Unter der Verwendung der Bildaufnahme mit weißem Licht wurden einige Verfahren zur Rekonstruktion sichtbarer Oberflächen von 3D-Objekten untersucht. Der Hauptschwerpunkt lag hierbei auf der Entwicklung von Lösungsverfahren basierend auf der Methode des binokularen Stereo. Ziel ist es, eine möglichst genaue Geometriebeschreibung der Objekte zu bestimmen. Die Realzeitfähigkeit der Algorithmen hat hierbei eine untergeordnete Rolle. Es wurde eine Art Methodenbank entwickelt und implementiert, die es ermöglicht verschiedene Verfahren oder Teile von Verfahren in einer laborhaften Experimentalumgebung auf identische reproduzierbare Objektszenen unterschiedlicher Komplexität anzuwenden und somit einen unmittelbaren Vergleich der Verfahren zu ermöglichen. Es wurden sowohl eigene als auch aus der Literatur bekannte Verfahren untersucht. Darüber hinaus wurde ein Verfahren entwickelt und erprobt, das die bei der Bildvorbereitung auftretenden Ungenauigkeiten minimiert.

## 1. Einleitung

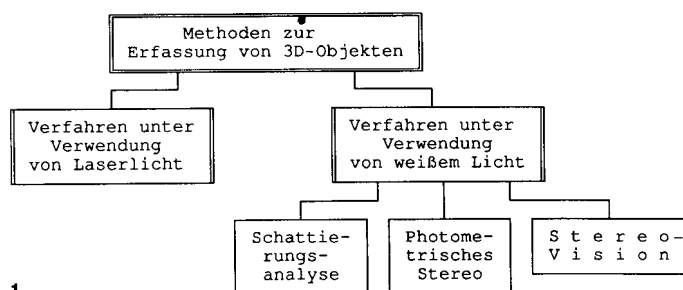
Für die Generierung einer rechnerinternen Repräsentation von dreidimensionalen Daten aus digitalen Bildern sind einige Verfahren bekannt. Sie arbeiten in der Regel auf der Grundlage spezieller Beleuchtungstechniken zur Bildaufnahme. Zur vollständigen Erfassung der Objektfläche werden mehrere Aufnahmen unter verschiedenen Ansichten des Objektes erstellt. Für jedes Einzelbild werden dreidimensionale Tiefeninformationen berechnet. Diese Informationen müssen unter Berücksichtigung der Einzelansichten so zusammengefaßt werden, daß eine vollständige Beschreibung der dreidimensionalen Oberfläche des Objektes generiert wird.

Methoden zur Erfassung von 3D-Objekten lassen sich unter Berücksichtigung der verwendeten Beleuchtungstechniken nach Bild 1 klassifizieren. Der Schwerpunkt meiner Untersuchungen lag auf Verfahren, bei denen für die Bildaufnahme weißes Licht verwendet wird. Für den direkten Vergleich der unterschiedlichen Lösungsverfahren wurde eine Experimentalumgebung entworfen und installiert, die es ermöglicht, die einzelnen Verfahren auf identische reproduzierbare Objektszenen anzuwenden. Zusätzlich kann unter diesen laborhaften Bedingungen ein unmittelbarer Vergleich zwischen der berechneten und der realen Objektgeometrie durchgeführt werden. Basierend auf den drei Methoden, die weißes Licht verwenden, wurden Lösungsansätze entworfen, implementiert und unter laborhaften Bedingungen überprüft. Stichpunktartig lassen sich die Methoden wie folgt beschreiben:

### ■ Schattierungsanalyse [1]

(Auswertung monokularer Bildhinweise)

Berechnung der Geometrie sichtbarer Oberflächen aus der Intensitätsfunktion und ihrer partiellen Ableitungen bis zur zweiten Ordnung.



1

### ■ „Photometrisches Stereo“ [2]

(3 Bilder, identische Kameraposition, aber drei unterschiedliche Beleuchtungsrichtungen)

Lösung eines linearen Gleichungssystems.

### ■ „Stereo Vision“ [3]

(Auswertung binokularer Bildhinweise)

Verwendung geometrischer Beziehungen (Triangulation).

Die Beurteilung der Verfahren wurde unter den folgenden Gesichtspunkten durchgeführt (die Reihenfolge der Kriterien gibt gleichzeitig die Prioritäten an):

1. Genauigkeit der Bestimmung der Form eines Objektes (Grad der Krümmung, Größe des Objektes),
2. gerätetechnische Voraussetzungen bei der Bildaufnahme,
3. Rechenzeit für die Berechnungen.

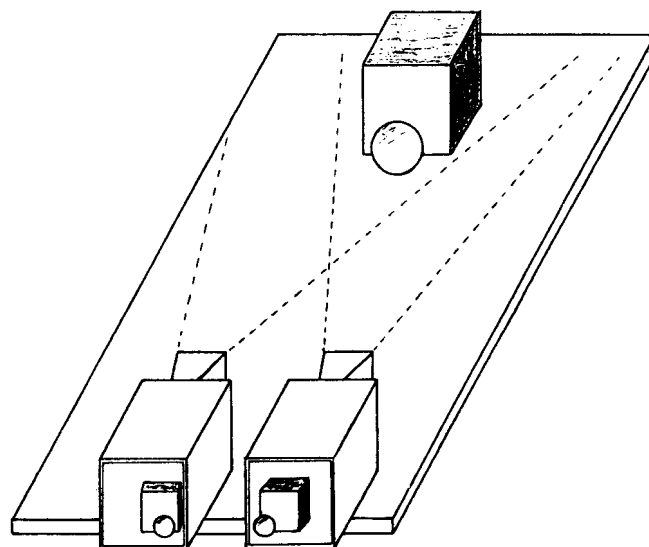
Die durchgeführten Untersuchungen von Verfahren, die auf der Schattierungsanalyse und der Methode des Photometrischen Stereo basieren, haben unter den oben genannten Kriterien zwar die prinzipielle Eignung dieser Verfahren gezeigt, aber auch gleichzeitig ihre Grenzen bei komplexen Geometrien aufgezeigt. Aus diesem Grunde befaßten sich meine weitergehenden Untersuchungen mit der Evaluierung eines Lösungskonzeptes zur Extraktion von Tiefeninformationen unter Verwendung der Stereo-Vision-Methode. Diese Aktivitäten werden nachfolgend dargestellt.

## 2. Stereo-Vision

Stereo-Vision bezeichnet den Prozeß der Umformung eines Bildpaares in eine Repräsentationsform der sichtbaren Objektflächen. Wird ein Objekt von zwei unterschiedlichen Standorten aus betrachtet, so kann seine Position im dreidimensionalen Raum aufgrund geometrischer Beziehungen bestimmt werden. Hierzu werden im allgemeinen die folgenden Verarbeitungsschritte benötigt:

Stereo-Vision-Paradigma (nach Barnard und Fischler)

- a) Bildaufnahme,
- b) Bestimmung des Kameramodells (Kalibrierung),
- c) „Merkmalsextraktion“ (z. B. Kantendetektion und Gradientenbestimmung).



2 Skizze des Versuchsaufbaus eines Stereo-Bildsystems

- d) Bestimmung der korrespondierenden Bildpunkte (Korrespondenzanalyse),  
 e) Tiefenwertberechnung,  
 f) Interpolation (oder Approximation) der Objektoberflächen.  
 Die Bildaufnahme (a) wird unter Verwendung von zwei CCD-Kameras in dem bereits erwähnten Experimentallabor durchgeführt. Für drei festgelegte Geometrieordnungen wurden die Kameras kalibriert (b). Eine erneute Kalibrierung bei jeder Bildaufnahme entfällt somit. Falls also die korrespondierenden Bildpunkte bestimmt sind, so können anhand der bekannten geometrischen Beziehungen die Tiefenwerte berechnet werden (e). Unter Verwendung dieser Stützstellen ist dann eine Interpolation oder Approximation (f) der sichtbaren Oberflächen der Objekte möglich. Entscheidend für die Genauigkeit der Ergebnisse ist in diesem Zusammenhang die eindeutige automatische Zuordnung von korrespondierenden Bildpunkten (d) und eine genauestmögliche Merkmalsextraktion (c) (im Subpixelbereich, d. h. zwischen den Abtastlinien). Hierzu wurden die nachfolgend beschriebenen Untersuchungen durchgeführt.

### 3. Merkmalsextraktion in Stereobildern

Lösungsverfahren zur Findung von korrespondierenden Punkten für alle Pixel eines Bildes sind in der Regel sehr rechenzeitaufwendig. Darüber hinaus kann z. B. ein Punkt in einer homogenen Region identischer Intensitätswerte mit vielen Punkten in der entsprechenden Region im anderen Bild korrespondieren. Eine eindeutige Zuordnung zwischen den Punkten ist in der Regel nicht möglich.

Die Einschränkung der Korrespondenzanalyse auf sogenannte Merkmalspunkte in beiden Bildern dient der Reduzierung der Mehrdeutigkeiten zwischen korrespondierenden Bildpunkten. Gleichzeitig verkürzt sich durch die Verringerung der möglichen Kandidaten die benötigte Rechenzeit. Merkmalspunkte werden auf der Basis der Variation der Intensitätswerte extrahiert. Die Diskontinuitäten der Intensitätsfunktion repräsentieren hierbei die Kanten der Objekte in der Bildszene. Nachfolgend werden die Forschungsaktivitäten zu dieser Thematik beschrieben.

- Entwurf und Implementierung von Verfahren zur Filterung der Bildfunktion mit der Laplace-Ableitung der zweidimensionalen Gaußverteilung (Mexican hat operator).

- Untersuchung neuerer Ansätze, die zusätzlich das Verhalten der Gradienten der Bildfunktion mit in die Betrachtungen einbeziehen.

- *Implementierung*: Untersuchungen haben gezeigt, daß die rechnerbedingten Rundungsfehler bei der Implementierung der Gaußverteilung und ihrer partiellen Ableitungen (bis zu zweiter Ordnung) einen direkten Einfluß auf die Genauigkeit des Verarbeitungsergebnisses haben. Diese numerischen Fehler sind sowohl von dem verwendeten Algorithmus als auch von der verwendeten Arithmetik abhängig. Es wurde ein Verfahren entwickelt und erprobt, das die unvermeidbaren numerischen Ungenauigkeiten minimiert [4].

#### 3.1. Notwendigkeit der Anwendung von Verfahren mit Subpixelgenauigkeit bei der Merkmalsextraktion

Bei Verwendung einer Bildaufnahmegeometrie mit koplanaren Bildsensoren läßt sich die Auflösung  $T$  der Tiefenwerte nach unten abschätzen durch (vergleiche [5])

$$T \geq \frac{Z_L^2}{f \cdot d} \Delta y \quad (1.1)$$

mit

$Z_L$ : Abstand zwischen Kamera und Objekt,

$f$ : fokale Länge des Objektivs,

$d$ : Abstand zwischen den Linsenzentren und

$\Delta y$ : Auflösung der Kamera (Größe eines Pixels).

Unter Verwendung eines Objektivs mit der fokalen Länge  $f = 16$  mm und einem Abstand zwischen den Kameras von  $d = 3$  cm ergeben sich für die drei innerhalb unserer Bildaufnahmeumgebung verwendeten Abstände zwischen Kamera und Objekt von  $Z_{LPOS1} = 1,2$  m,  $Z_{LPOS2} = 1,0$  m und  $Z_{LPOS3} = 0,7$  m die nachfolgenden Abschätzungen. Hierbei wurde die CCD-Kamera Sony XC-37 mit einer Auflösung von  $17,0 \mu\text{m}$  (horizontal)  $\times$   $13,4 \mu\text{m}$  (vertikal) verwendet. Hieraus folgt:

$$T_{POS1} \geq \frac{14400 \text{ cm}^2}{1,6 \text{ cm} \cdot 3 \text{ cm}} 17,0 \mu\text{m} = 5,1 \text{ cm}$$

Analog folgt  $T_{POS2} \geq 3,5$  cm und  $T_{POS3} \geq 1,7$  cm

Eine Verbesserung der Tiefenaufklärung kann durch die folgenden Maßnahmen erreicht werden:

- Verringerung des Abstandes zwischen Objekt und Kamera,
- Verwendung eines Objektivs mit größerer fokaler Länge,
- Vergrößerung des Abstandes zwischen den Linsenzentren der Kameras (Vergrößerung der Stereobasislinie),
- Verwendung eines Sensors mit größerer Auflösung,
- Überabtastung der Bildfunktion im Subpixelbereich.

Durch eine Verringerung des Abstandes zwischen Kamera und Objekt wird gleichzeitig der reale Objektraum verkleinert, der in die Bildebene abgebildet werden kann. Diese Maßnahme ist deshalb nur bei „kleinen“ Objekten möglich. Durch die Verwendung eines Objektivs mit größerer fokaler Länge wird das Blickfeld der Kamera eingeschränkt. Außerdem ist diese Maßnahme nur bedingt realisierbar, da nur wenige Objektive für CCD-Kameras erhältlich sind. Eine effizientere Möglichkeit zur Verbesserung der Tiefenaufklärung ist die Vergrößerung des Abstandes zwischen den Kameras. Zur Verdeutlichung der Abhängigkeit der Tiefenaufklärung von dem Kameraabstand wird ein Beispiel angegeben, wobei die folgende Kameraanordnung verwendet sei:

Abstand zwischen den Kameras: 1 m,

Abstand zwischen Objekt und Kamera: 1 m,

Sensoraufklärung:  $17 \mu\text{m}$ , fokale Länge: 25 mm,

$$\Rightarrow T \geq 0,06 \text{ cm}$$

Mit der oben beschriebenen Kamerageometrie läßt sich eine Tiefenaufklärung von etwa einem halben Millimeter erreichen, falls in beiden Kamerabildern identische Objektpunkte enthalten sind. Dies ist jedoch bei den meisten handelsüblichen CCD-Kameras nicht der Fall, da die Auflösung des Sensors (Pixel pro Zeile) zu gering ist. Mit der Gleichung (1.1) läßt sich die Anzahl von Pixel pro Zeile bestimmen, die notwendig ist, damit beide Kamerabilder identische Objektpunkte enthalten. Bei der Verwendung der im Beispiel beschriebenen Kamerageometrie ist dies nur der Fall, falls die Kamera eine Auflösung von mindestens *1500 Pixel pro Zeile* besitzt.

Das einzige effiziente Verfahren zur Verbesserung der Tiefenaufklärung bei Verwendung handelsüblicher CCD-Kameras ist deshalb die Überabtastung der Bildfunktion im Subpixelbereich. Hierfür wird die negative Laplaceableitung der geglätteten Bildfunktion durch Tschebyscheff-Polynome interpoliert und anschließend werden die Nulldurchgänge der interpolierten Funktion detektiert.

### 4. Korrespondenzanalyse in Stereobildern

Eines der Hauptprobleme der Stereo-Vision-Verfahren besteht in der Lokalisierung korrespondierender Bildpunkte im linken und im rechten Bild. Hierzu sind in den letzten Jahren eine Reihe von Lösungsansätzen publiziert worden. Ein unmittelbarer Vergleich zwischen den einzelnen Verfahren wird jedoch dadurch erschwert, daß die präsentierten Ergebnisse vielfach auf unterschiedlichen Bilddaten und unterschiedlichen Hardwarekonfigurationen basieren. Darüber hinaus werden in Abhängigkeit von den zugrundeliegenden Applikationen verschiedene Heuristiken verwendet, deren Übertragbarkeit auf einen anderen Anwendungsbereich nicht unmittelbar beurteilt werden kann.

Es ist deshalb sinnvoll und notwendig einige ausgewählte Algorithmen auf Stereo-Bildpaare anzuwenden, die identische reproduzierbare Bildszenen repräsentieren. Die so gewonnenen Ergebnisse und Erfahrungen werden dann in ein Lösungskonzept für einen speziellen Anforderungskatalog integriert. Dieses Lösungskonzept kann aus

- einem neuen Lösungsansatz,
- der Modifikation eines bekannten Verfahrens,
- der Bestimmung einer geeigneten Parametrisierung für ein bekanntes Verfahren oder
- der Kombination von mehreren Verfahren bzw. Teilaspekten von Lösungsansätzen bestehen.

Im Rahmen der Untersuchungen für eine möglichst genaue Geometriebeschreibung der 3D-Objekte wurden

- 2 intensitätsbasierte binokulare Lösungsansätze,
- 6 merkmalsbasierte binokulare Lösungsansätze und
- 2 trinokulare Lösungsansätze

ausgewählt, in die Methodenbank integriert und unter laborhaften Bedingungen überprüft. Nachfolgend werden die hierfür ausgewählten Methoden stichpunktartig aufgelistet. Die angegebenen Referenzen beziehen sich auf die zugrundeliegende Literatur.

**Intensitätenbasierte Korrespondenzanalyse ('area-based matching')**  
Verfahren von Shirai [3] (pixelweise Zuordnung)

Bestimmung der lokalen Minima einer Ähnlichkeitsfunktion entlang einer epipolaren Linie. Die Ähnlichkeitsfunktion basiert auf den quadratischen Differenzen der jeweiligen Intensitätswerte in einem Suchfenster normiert durch die Varianz in einem der beiden Fenster. Es wird versucht, einen korrespondierenden Punkt in dem kleinsten Fenster ( $n_{\min} = 9$ ) zu finden. Falls das Ergebnis nicht eindeutig ist, so wird in dem nächstgrößeren Fenster weiter gesucht (bis  $n_{\max} = 19$ ). Anhand dreier vorzugebener Schwellwerte wird eine Entscheidung über die vorliegende Korrespondenz getroffen. A priori ist eine Merkmalsextraktion notwendig. (Shirai schlägt hierfür einen horizontalen Gradientenoperator vor.)

2. „Block-Matching“ [6] (blockweise Zuordnung)

Bestimmung von Verschiebevektoren für Blöcke der Größe  $8 \times 8$  Bildpunkte anhand der Differenzen der Intensitätswerte in den Blöcken. Es wird keine Merkmalsextraktion durchgeführt („Image sequence coding“).

**Merkmalsbasierte Korrespondenzanalyse ('feature based matching')**

3. Marr-Poggio-Grimson [7] (pixelweise Zuordnung)

Zuordnung zwischen Nulldurchgängen der Konvolution zwischen der Laplace-Ableitung der Gaußfunktion und der Intensitätsfunktion in mehreren Auflösungsstufen (grob nach Fein-Zuordnung, „coarse to fine“).

4. Ohta-Kanade [8] (Zuordnung von Kanten)

„Intra“ und „Inter-Scanline“-Suche unter Verwendung der dynamischen Programmierung. Die Zuordnung von Kanten erfolgt anhand der Findung von kürzesten Wegen in einem 2D- bzw. 3D-Suchraum.

5. Kass [9] (pixelweise Zuordnung)

Aus den ersten und zweiten partiellen Ableitungen der geglätteten Intensitätsfunktion wird für drei unterschiedliche Parametrisierungen der Standardabweichung  $\sigma$  ein Vektor aus 12 „unkorrelierten“ Funktionalen aufgebaut. Falls die Differenz aller Vektorkomponenten für zwei Kandidatenpunkte unter den jeweiligen Schwellwerten liegt, so werden diese Punkte einander zugeordnet. Es wird keine explizite Merkmalsextraktion durchgeführt.

6. Kim-Bovik [10] (pixelweise Zuordnung)

Es werden ausgesuchte „Extrempunkte“ entlang einer Kontur bestimmt und zunächst diese zugeordnet. Anschließend werden die übrigen Konturpunkte anhand des kleinsten Disparitätsgradienten zugeordnet.

7. Shirai-Nishimoto [11] (pixelweise Zuordnung)

Zuordnung von Nulldurchgängen der Laplace-Ableitung der geglätteten Intensitätsfunktion in mehreren Auflösungsstufen. Anhand der Disparitäts-histogramme entlang einer Epipolarlinie für 3 Auflösungsstufen wird die Zuordnung getroffen.

8. Koschan (Zuordnung von Kanten)

Zuordnung von linearen Liniensegmenten anhand der Richtung und der Steigung der Nulldurchgänge der Laplace-Ableitung der geglätteten Intensitätsfunktion. Die Ergebnisse des oben skizzierten „Block-Matching“-Verfahrens dienen als Initialwerte für ein lokales maximales Disparitätslimit. Dieses schränkt den Suchbereich ein und bewirkt somit sowohl eine Steigerung der Verarbeitungsgeschwindigkeit als auch eine Reduzierung der Korrespondenzkandidaten.

**Trinokulare Verfahren**

9. Ohta-Watanabe-Ikeda [12] (Zuordnung von Kanten)

Rechtwinkliges trinokulares Stereo-Verfahren. Die Zuordnung erfolgt zunächst für jeweils zwei Bilder unter Anwendung der dynamischen Programmierung (siehe [8]). Die 2 berechneten Disparitätenkarten werden dann unter Anwendung eines Relaxationsverfahrens miteinander verknüpft.

10. Yachida-Kitamura-Kimachi [13] (pixelweise Zuordnung)

(Geometrisches Verfahren) Die Anordnung der drei Kameras wird so ge-

wählt, daß sich die Epipolarlinien des ersten und zweiten Bildes im dritten Bild schneiden. Anhand dieses Schnittpunktes erfolgt die Zuordnung. Die Epipolarlinien sind bei diesem Ansatz nicht mit den horizontalen Bildlinien identisch und müssen für jede Kamerakonfiguration bestimmt werden.

**5. Vergleich und Bewertung der oben skizzierten Verfahren**

Bei den Verfahren 1. und 5. ist eine starke Abhängigkeit festzustellen zwischen der Auswahl der Schwellwerte und den berechneten Ergebnissen. Eine ungeeignete Festlegung der Schwellwerte führt bei beiden Verfahren zu einer falschen Zuordnung nicht korrespondierender Punkte.

Das Verfahren 3. ist sehr rechenzeitaufwendig. Hier treten Schwierigkeiten bei der Zuordnung vor allem bei großen Disparitäten auf ( $>35$ ). Demgegenüber ist das Verfahren 4. sehr recheneffizient. Es werden nur sehr wenige Kanten falsch zugeordnet, die Gesamtanzahl der zugeordneten Kanten könnte jedoch höher sein. Eine weitere Steigerung der Effizienz des Verfahrens läßt sich noch dadurch erreichen, daß anstatt der Kanten die Intervalle zwischen den Kanten zugeordnet werden.

Die Ergebnisse der Anwendung des Verfahrens 6. hängen sehr von der exakten Detektion und Zuordnung der Extrempunkte ab. Wird ein Extrempunkt falsch zugeordnet, so verursacht dies in der Regel die falsche Zuordnung einer ganzen Kontur. Darüber hinaus ist das Ergebnis auch von der vorhandenen Anzahl von Extrempunkten abhängig, d. h., das Verfahren arbeitet sehr gut, falls viele gekrümmte Oberflächen in der Szene vorhanden sind. Demgegenüber werden jedoch bei Objekten mit planaren Oberflächen nur wenige Zuordnungen erkannt.

Das Verfahren 7. zeigt ebenfalls gewisse Abhängigkeiten der Ergebnisse von der Auswahl geeigneter Schwellwerte. Es ist jedoch wesentlich robuster als die Verfahren 1. und 5. Bei Verwendung geeigneter Schwellwerte ist die Qualität der Ergebnisse wesentlich besser als bei den anderen bisher genannten Verfahren.

Der Vergleich zwischen den trinokularen Verfahren 9. und 10. hat vor allem bei dem Verfahren 9. eine Verbesserung gegenüber dem Verfahren 4. gezeigt. Die praktische Einsetzbarkeit des Verfahrens 10. wird vor allem dadurch eingeschränkt, daß nach jeder Bildaufnahme eine erneute Bestimmung der Epipolarlinien notwendig ist.

Interessante Ergebnisse haben sich bei dem aus dem Anwendungsbereich HDTV adaptierten Verfahren 2. gezeigt. Die berechneten Werte erfüllen zwar nicht die zugrunde gelegten Genauigkeitsanforderungen, sie eignen sich jedoch als Initialwerte für andere Verfahren (z. B. für das Verfahren 8.). Dieses hat vor allem aufgrund der Einführung eines lokalen maximalen Disparitätslimits sehr gute Ergebnisse geliefert.

**Literatur**

- [1] Pentland, A. P.: Local Shading Analysis. Tech. Note 272, AI Center, SRI International, 1982
- [2] Ikeuchi, K.: Determining Surface Orientations of Specular Surfaces by Using the Photometric Stereo Method. IEEE Trans. on PAMI, Vol. PAMI-3, NO. 6, 1981, pp. 661-669
- [3] Shirai, Y.: Three-Dimensional Computer Vision. Springer-Verlag, Berlin, 1987, pp. 125-132
- [4] Koschan, A.: Entwurf und Implementierung einer Testumgebung zur Filterung digitaler Bildfunktionen. Technischer Bericht 88-15, Technische Universität Berlin, Fachbereich Informatik, 1988
- [5] Verri, A.; Torre, V.: Absolute depth estimate in stereopsis. Journ. Optical Society of America A, Vol. 3, No. 3, March 1986, pp. 297-299
- [6] Musmann, H. G.; Pirsch, P.; Grallert, H.-J.: Advances in Picture Coding. Proc. IEEE, Vol. 73, No. 4, April 1985, pp. 523-548
- [7] Grimson, W. E. L.: From Images to Surfaces: A Computational Study of the Human Early Visual System. MIT Press, Cambridge, 1981
- [8] Ohta, Y.; Kanade, T.: Stereo by Intra- and Inter-Scanline Search Using Dynamic Programming. IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol. PAMI-7, No. 2, März 1985, pp. 139-154
- [9] Kass, M.: Computing Visual Correspondence, in „From Pixels to Predicates“, A. P. Pentland (Ed.), Ablex Publ. Corp., Norwood, 1986, pp. 78-92
- [10] Kim, N. H.; Bovik, A. C.: A Contour-Based Stereo Matching Algorithm Using Disparity Continuity. Pattern Recognition, Vol. 21, No. 5, 1988, pp. 505-514
- [11] Shirai, Y.; Nishimoto, Y.: A Stereo Method Using Disparity Histograms of Multi-Resolution Channels. 3rd Int. Symp. on Robotics Research, Gouvieux, France, MIT Press, 1985, pp. 27-32
- [12] Ohta, Y.; Watanabe, M.; Ikeda, K.: Improving Depth Map by Right-Angled Trinocular Stereo. Proc. 8th Int. Conf. on Pattern Recognition, Paris, France, 1986, pp. 519-521
- [13] Yachida, M.; Kitamura, Y.; Kimachi, M.: Trinocular Vision: New Approach for Correspondence Problem. Proc. 8th Int. Conf. on Pattern Recognition, Paris, France, 1986, pp. 1041-1044