

BILD UND TON 9

Wissenschaftliche Zeitschrift
für visuelle und auditive Medien

VEB Fotokinoverlag Leipzig
ISSN 0006-2383

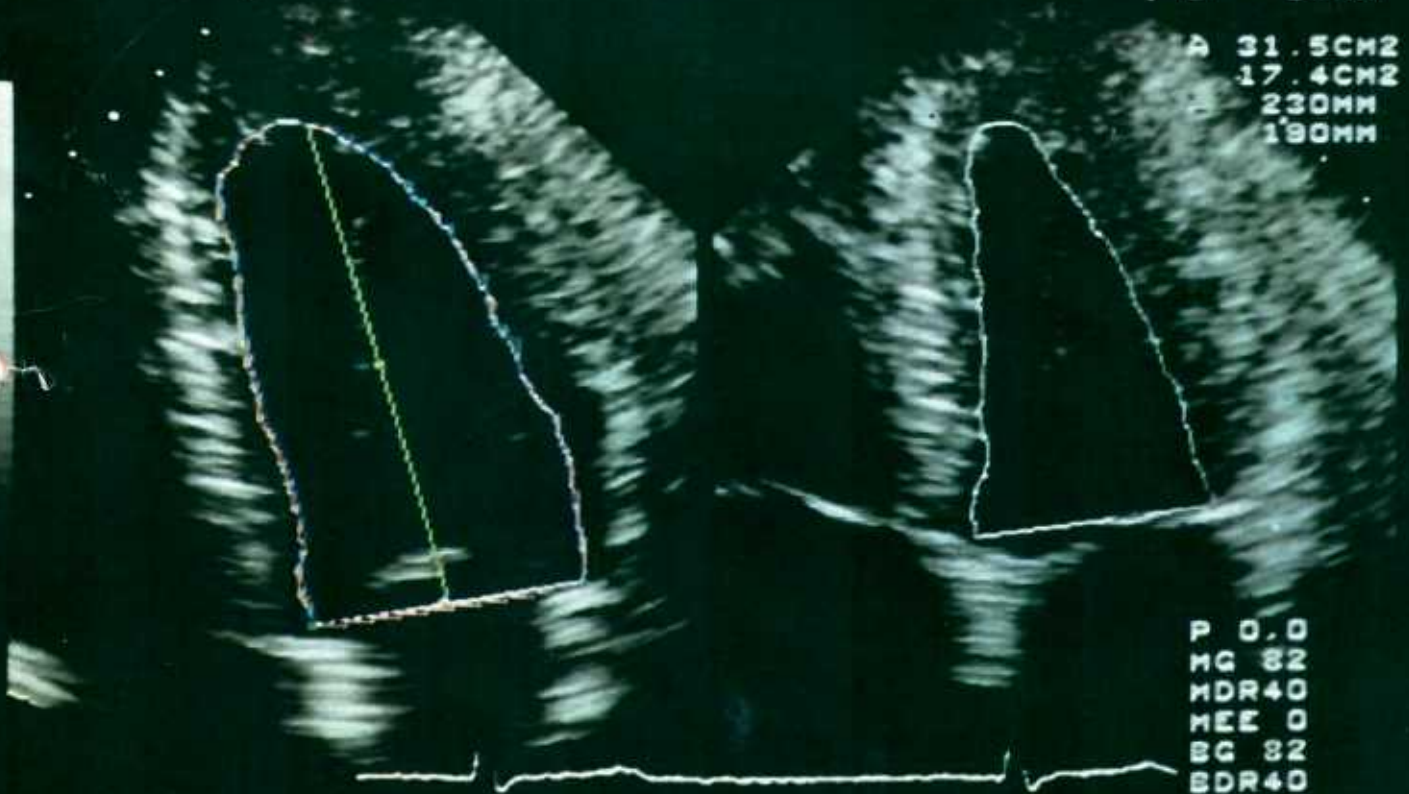
September 1989
EVP 1,50 M

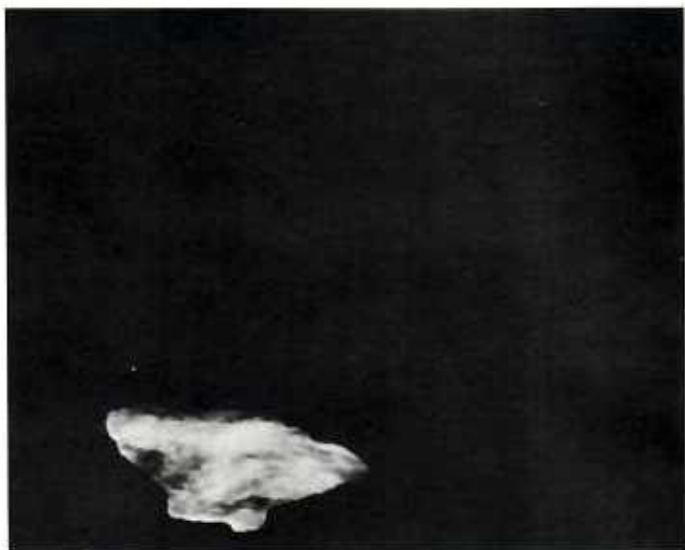
ECHOKARDIOGRAPHIE CHARITE'
UKG 14933 8 11.8.87 T./A.
RD 0.00

HR= 59 2F MX4 18.04.89
RD 10.00 0.33 14.30.58
F3.75
DE 15
D 24MM

A 31.5CM2
17.4CM2
230MM
190MM

P 0.0
MG 82
MDR40
MEE 0
EG 82
BDR40
BEE 0





Maskierung und Verfolgung eines charakteristischen Objektes (Wolkengebietes) in einer Meteorat-Wettersatellitenbildfolge. (Siehe auch den Beitrag von Creutzburg/Grundmann im Innenteil dieses Heftes.)

Digitale Bildverarbeitung am Zentralinstitut für Kybernetik und Informationsprozesse

Das Zentralinstitut für Kybernetik und Informationsprozesse (ZKI) der Akademie der Wissenschaften der DDR begibt im Mai dieses Jahres sein 20jähriges Jubiläum. Dieses Jubiläum bot den geeigneten Anlaß, um im Heft 5 dieser Zeitschrift die Aktivitäten des ZKI auf dem Gebiet der digitalen Bildverarbeitung in den zurückliegenden 10 Jahren zu resümieren. Eine wesentliche Voraussetzung für die langjährige erfolgreiche Arbeit des Instituts auf diesem innovationsfreudigen Forschungsgebiet bildete die abgestimmte und auf praxismirksame Leistungen orientierte Verbindung dreier Entwicklungslinien:

- die Entwicklung leistungsfähiger, breit nutzbarer Bildverarbeitungstechnik sowie deren Überführung in die Produktion des VEB Kombinat Robotron,
- die Bereitstellung von nutzerfreundlichen Anwenderprogrammsystemen, Programmierwerkzeugen und Bedienerschnittstellen zur Bearbeitung eines breiten Spektrums von Bildverarbeitungsaufgaben sowie
- die Entwicklung ausgewählter und beispielhafter Anwendungslösungen für Industriepartner in der DDR und für den Export von immateriellen Leistungen.

In engem Zusammenhang mit dieser Strategie des Schaffens von Basissystemen und volkswirtschaftlich relevanten Anwendungslösungen erfolgte die Orientierung auf anspruchsvolle Themen der Grundlagenforschung für die digitale Verarbeitung von Rasterbildern. Dazu sind insbesondere

- die Abbildung von Algorithmen auf parallele Rechnerarchitekturen,
- die Entwicklung effektiver Datenstrukturen beim Übergang von der Rasterbildverarbeitung zur Listenverarbeitung sowie
- die Anwendung von topologischen Ordnungen zur Strukturanalyse von Rasterbildern

zu rechnen. Die im vorliegenden Schwerpunktheft enthaltenen Beiträge und die bereits im Verlauf dieses Jahres veröffentlichten Arbeiten (siehe in den Heften 2, 3 und 4) belegen die an moderne Trends der Bildverarbeitungstechnik und -methodik angelehnte Fortführung dieser Grundkonzeption. Eine zentrale Aktivität des Zentralinstituts für Kybernetik und Informationsprozesse bildete dabei die Entwicklung eines neuen Bildanalyse-Systems, das auf der Basis modernster Schaltkreistechnologie zwei Entwicklungslinien in sich vereinigt: die interaktive Bildverarbeitung mittels Videoprozessors (Bildverarbeitungssystem A 6472) und die industrielle Bilderkennung (Bilderkennungssystem BES 2000). Im Hinblick auf die beschleunigte Industrieprobung dieses als Zwei-Rechnersystem mit interner Intelligenz ausgelegten Bildanalyse-Systems IBT wurde bereits in der Entstehungsphase des Geräts auf dessen Einsatz zur Lösung anspruchsvoller Aufgabenstellungen der visuellen Inspektion und Qualitätskontrolle bei laufender Produktion orientiert. Als Beispiele hierfür sind die Beiträge zur Bestimmung der Farbanteile mehrfarbiger Druckvorlagen für den VEB Kombinat Polygraph „Werner Lamberz“ Leipzig und die Entwicklung von Texturanalysemethoden im Rahmen der Fertigwarenschau in der Bekleidungsindustrie für den VEB Kombinat Oberbekleidung Berlin zu sehen.

Den ihnen gebührenden hohen Stellenwert erfahren die auf die Klärung von theoretischen Fragestellungen der digitalen Bildverarbeitung gerichteten Grundlagenuntersuchungen stets in enger Verbindung mit der Bearbeitung von praxisrelevanten Forschungsaufgaben. Dies verdeutlicht u. a. der Beitrag zur Kartografie, in dem auf der Basis der Topologie von Zellenkomplexen die theoretischen Voraussetzungen für die Anwendung von effektiven Datenstrukturen (Zellenlisten) zur Analyse des geometrischen Inhalts von Rasterbildern entwickelt werden.

Zahlreiche Aktivitäten des Zentralinstituts für Kybernetik und Informationsprozesse auf dem Gebiet der digitalen Bildverarbeitung leiten sich aus der internationalen Forschungs Kooperation ab. In diesem Sinne wurde am Zentralinstitut für Kybernetik und Informationsprozesse mit Wirkung vom 1. Mai 1989 das Internationale Basislabor für Bildverarbeitung und Computergrafik gegründet. Zwei der in diesem Heft enthaltenen Artikel gehen direkt auf Ergebnisse zurück, die innerhalb dieser Einrichtung erzielt wurden.

Letztlich sei erwähnt, daß das Zentralinstitut für Kybernetik und Informationsprozesse als Veranstalter von drei internationalen Konferenzen zum Umfeld der digitalen Bildverarbeitung auftritt. Schwerpunkte sowie bisherige Ergebnisse der „Parcella“-Tagungsreihe und der „Fringe 89“ werden in Veranstaltungsberichten behandelt, die in den nächsten Heften erscheinen.

Dr. W. Osten

INHALT

W. Osten

Digitale Bildverarbeitung am Zentralinstitut für Kybernetik und Informationsprozesse 257

Informationen 258

D. Powollik, Ch.-M. Westendorf, K. Fritsch
Das Bildanalyse-System IBT 261

R. Heße, R. Klette
Konstruktion von Bildanalyseprogrammen für die Echokardiografie 265

Das Fachbuch 269

W. Uebel, A. Friedrich, H. Hoffmann
Bestimmung der Farbanteile mehrfarbiger Druckvorlagen mit bildanalytischen Methoden 270

Kompaktplotter Robotron K 6416 273

K. Fritsch, U. Rösler, I. Tufiş
Entwicklung von Texturanalysemethoden für die Fertigwarenschau in der Bekleidungsindustrie 274

4-Mbit-Hybrid-Speicher 277

W. Kovalevski
Zellenlisten in der Kartografie (I) 278

R. Creutzburg, H.-J. Grundmann
Verfahren zur digitalen Bildkorrelation in multitemporalen Wetterbildern. IV. Experimentelle Untersuchungen zu Vergleichsmaßen. Anwendungsbeispiele 281

Aus der internationalen Zeitschriften-Fachliteratur 285

Zur Dokumentation 287

Resümees 288

Titelbild: Ein Echokardiogramm, welches der speziellen Aufgabe der Herzwandbewegungsanalyse zugrunde gelegt wird. Im Bild sind bereits die interaktiv bestimmten Konturen der Enddiastole und der Endsystole eingetragen. Siehe hierzu den Beitrag auf S. 265 ff. im Innenteil des Heftes.
(Foto: G. Hess)

Optisches Bildverarbeitungssystem OBV 100

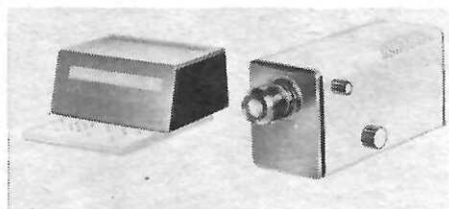
Das optische Bildverarbeitungssystem OBV 100 vom Kombinat VEB Carl Zeiss JENA verkörpert eine neue Generation von Geräten zur optischen Bildverarbeitung und basiert auf der inkohärenten strukturzonalen Analyse. Es gestattet verschiedenste Kontroll- und Klassifizierungsaufgaben und beinhaltet folgende Funktionen:

■ **Anlernen:** Typische Objekte von zu unterscheidenden Klassen werden dem System OBV 100 vorgeführt und per Knopfdruck „angelernt“.

■ **Klassifizieren:** Ähnlich aussehende Objekte werden im laufenden Betrieb den „angelernten“ Klassen zugeordnet. Neben der Zuordnung in die jeweilige Klasse erfolgt eine statistische Erfassung der Ergebnisse. Zur Prozeßsteuerung können über eine serielle Schnittstelle die aktuellen Ergebnisse abgegriffen werden.

■ **Wiederauffinden:** In Verbindung mit motorischen Objektführungen können klassifizierte Objekte wieder vorgeführt oder deren erfaßte Lagekoordinaten ausgegeben werden.

Das OBV 100 findet z. B. in der Mikrobiologie für quantitative Untersuchungen von Mikropräparaten Anwendung. In der Qualitätskontrolle kann es zur Fehlererkennung bei industriellen Erzeugnissen und in der Prozeßautomatisierung zur Unterscheidung von mechanischen Bauelementen, zur Erkennung von Justiermarken usw. eingesetzt werden. Die freie Wählbarkeit einer Vielzahl von Betriebsparametern erlaubt eine optimale Anpassung an die unterschiedlichsten Objekteigenschaften (Größe, Kontrast, Helligkeit usw.). Gemessen an der Leistungsfähigkeit mit einer Klassifizierungsrate von maximal 5 bis 10 Objekten je Sekunde in 7 Klassen zeichnet sich das System durch geringes Volumen und geringe Masse aus. Die konstruktive Lösung ermöglicht ein kostengünstiges Nachrüsten mit weiterentwickelten Baugruppen. Bei der Prozeßsteuerung können die Ergebnisse über eine serielle Schnittstelle (IFSS-Standard) im ASC-II-Code oder über eine BNC-Buchse in Form TTL-kompatibler Impulse abgegriffen werden. Für einen zweckentsprechenden Einsatz wird



das OBV 100 in zwei Software-Versionen mit Austauschmöglichkeit der Software-Module angeboten. Das Gerät OBV 100 K ist die universelle Ausführung mit Anschlußmöglichkeit eines übergeordneten Computers zur Prozeßsteuerung über die serielle Schnittstelle oder BNC-Buchse. Das OBV 100 M verfügt über spezielle Software zum Ankoppeln motorischer Objektführungen (KT-MOT) über die serielle Schnittstelle. Prozeßsteuerung über die BNC-Buchse ist möglich.

Interferometrische Abstands- und Dickenmessung

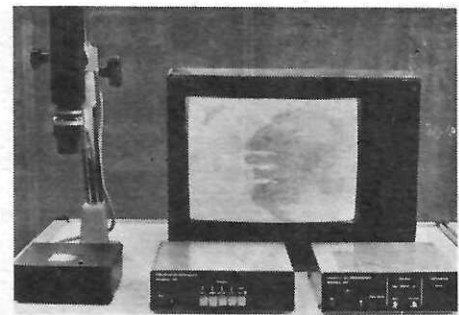
Im VEB Werk für Technisches Glas Ilmenau dient eine patentierte Anordnung dazu, interferentielle Abstands- und Dickenmessungen an transparenten Meßobjekten mit gekrümmten, nichtparallelen Oberflächen sowie Dicken von mehr als einigen Zehntel Millimetern zu ermöglichen. Dazu sind vor dem Meßobjekt eine Strahlungsquelle für optisch kohärente Strahlung sowie zwei Objektive angeordnet. Durch das erste Objektiv wird die Strahlung zu einem divergierenden Strahlenbündel aufgeweitet, und durch das zweite Objektiv wird die Strahlung geneigt gegenüber der Oberflächennormale des Meßobjektes zu einer Linie oder einem Fokus auf das Meßobjekt konvergiert. Die Interferenzerscheinung im Überlappungsgebiet der beiden an den Oberflächen des Meßobjektes reflektierten Strahlenbündel wird zum Bestimmen der Dicke des Meßobjektes in der Weise verwendet, daß der Abstand der Interferenzstreifen als Maß für die Dicke ausgewertet wird.

Pseudocolorzusatz Modell 722

Der Pseudocolorzusatz Modell 722 des VEB Mechanische Werkstätten Radeberg dient dem Pseudokolorieren von schwarzweißen Fernsehbildern in Echtzeit. Sein Einsatz ist in Schwarzweiß-Fernsehsystemen möglich, die mit einem BAS-Signal 625 Zeilen/50 Hz entsprechend den CCIR-Empfehlungen arbeiten. Mit dem Einsatz des Pseudocolorzusatzes erhöht sich die Erkennbarkeit in kontrastarmen Bildern, und die Auswertung von kleinen Details erleichtert sich. Besonders geeignet ist das Gerät für Routineauswertungen in Bereichen der Medizintechnik, Materialprüfung und Mikroskopie. Das Gerät zeichnet sich durch ein günstiges Preis-/Leistungsverhältnis, eine leichte Bedienbarkeit und einen kompakten Aufbau aus. Die Steuerung der Funktionen durch einen Einchip-Mikrorechner gewährleistet eine hohe Zuverlässigkeit des Gerätes.

Das angelegte Videosignal wird mit 8 MHz abgetastet und in einem 6-bit-ADU in 64 Graustufen zerlegt, denen 64 Farben aus insgesamt 16 anwählbaren Farbtabelle zugeordnet werden können. Innerhalb jeder Farbtabelle läßt sich eine beliebige Auswahl des hervorzuhebenden Grauwertfensters vornehmen.

Der Pseudocolorzusatz Modell 722 synchronisiert sich auf das pegelmäßig anpaßbare Eingangssignal. Bei Abschalten des Gerätes wird der Eingang direkt auf den BAS-Aus-



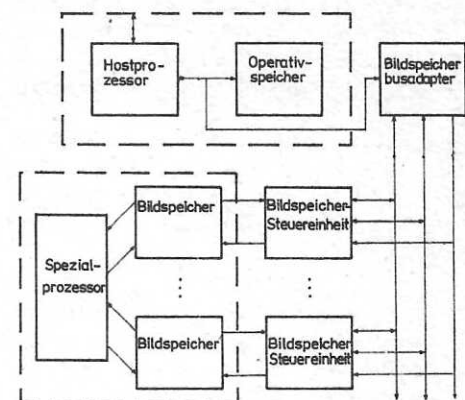
gang durchgeschaltet. Die Kopplung des normgerechten RGB- und BAS-Ausganges zum Farbmonitor erfolgt über einen 21poligen Peripheriesteckverbinder nach TGL 43888. Als Farbmonitore lassen sich auch Farbfernsehgeräte einsetzen, die diesen Anschluß für audiovisuelle Technik besitzen, z. B. der Typ RC 9140 von Robotron-Elektronik Radeberg.

Vorrichtung zum Herstellen von Lichtschnitten

Zum Vermessen der Kontur von groß und unregelmäßig geformten Innenwandungen dient unter anderem das Lichtschnittverfahren. Mit Hilfe dieses Verfahrens entsteht in einer festgelegten Ebene eine dünne reflektierte Lichtlinie an der Innenwandung, die fotografisch aufgezeichnet und später photogrammetrisch ausgewertet werden kann. Die im VEB Mansfeld-Kombinat Wilhelm Pieck Eisleben konstruierte Vorrichtung läßt entlang einer Meßlinie die Lichtschnitte im festgesetzten Abstand voneinander entstehen. Durch einen gerichteten Lichtstrahl und Nutzung von reflektiertem Licht erfolgt die Herstellung der unbedingt erforderlichen Parallelität der Bildebene zur Lichtschnittebene. Der das Licht reflektierende Spiegel ist mit einem schwarzmatteierten Kreuz versehen, das die Spiegelfläche in vier Teilflächen zerlegt und dessen Mittelpunkt sich genau über der Meßlinie befindet. Die beiden Platten des Lichtschnittgerätes sind unterschiedlicher Größe, die Fläche der hinteren Platte ist allseitig größer als die der vorderen.

Kopplung digitaler Bildspeicher an einen Hostprozessor

Beim Militärkartographischen Dienst Halle (Saale) ermöglicht eine patentrechtlich geschützte Anordnung geringen Aufwandes zwischen peripheren Geräten eines Hostpro-



zessoren und Bildspeichern eine hohe Datentransferrate sowie eine effektive sequentielle Bearbeitung der Bilddaten im Bildspeicher durch den Hostprozessor neben der Bildverarbeitung im Spezialprozessor. Eine Schaltung mit einem Bildspeicherbusadapter, einem Bildspeicherbus mit Adreß-, Daten- und Steuerleitungen und mehreren Bildsteuereinheiten ermöglicht dies. Die Bildsteuereinheiten setzen sich aus einem Adreßdecoder, einem Parameterregister, einem Adreßmodifikator, einem Adreßformer und mehreren Busempfängern/-sendern zusammen.

Astrophysikalisches Projekt „Gamma“ in Vorbereitung

Am Jahresende soll der etwa 2t schwere Raumflugkörper „Gamma“ in der Sowjetunion starten. Auf dem Satelliten, der mit einer Trägerrakete auf eine 400 km hohe Umlaufbahn gebracht werden soll, sind auch französische und polnische Experimentanordnungen installiert. Ursprünglich war der Start bereits 1986 geplant. Nachdem Italien bereits die Lieferung spezieller Sternensensoren für die Orientierung des Satelliten zugesagt hatte, wurde diese 1987 aus „strategischen Gründen“ von der italienischen Regierung auf Druck der USA verboten. Inzwischen haben polnische Wissenschaftler eine ähnliche Präzisionstechnik mit der Bezeichnung „Teleswesda“ entwickelt. Dieses System kann die Achsenlage des Hauptteleskops „Gamma 1“ mit einer Genauigkeit von 5' ausrichten. Französische Experten lieferten den Mikroprozessor für das sowjetische Teleskop „Pulsar X-2“ und waren an der Konzipierung des Hauptteleskops beteiligt. Das „Gamma-1“-Teleskop, das auf der Basis von druck- und temperaturempfindlichen Funkenkammern arbeitet, wurde im Inneren des Raumflugkörpers installiert. Die seitlich angeordneten Teleskope „Pulsar X-2“ und „Disk“ werden bis zum Einschub in die Erdumlaufbahn von speziellen Korrekturvorrichtungen parallel gehalten, damit Deformationen in der Startphase ausgeschlossen werden. Die Datenverarbeitung und -übertragung erfolgt mittels Bordcomputer. Mit dem „Gamma-1“-Teleskop erwartet man eine 2,5mal bessere Winkelauflösung als vom vergleichbaren westeuropäischen Satelliten COS-B, der zwischen 1975 und 1982 in diesem Energiebereich die bisher meisten Erkenntnisse sammelte.

Das sowjetische Teleskop „Disk“ arbeitet im Bereich von 0,1 bis 8 MeV. Ein Typ dieses Meßinstrumentes wurde bereits auf einem Meteor-Satelliten getestet. Dabei gelang es, den Pulsar im Krebsnebel innerhalb weniger Minuten zu lokalisieren. „Pulsar X-2“ kann unter anderem die Perioden von veränderlichen Gammastrahlungsquellen im Bereich von 8ms bis zu einigen Tagen orten. Die Instrumentierung wurde so gewählt, daß ein hoher Zuwachs an Erkenntnissen im Spektralbereich der hochenergetischen Gammastrahlung erwartet wird.

Das Beobachtungsprogramm des Satelliten umfaßt das Aufspüren von noch unbekann-

ten Gammaquellen, von neuen Pulsaren sowie die Präzisierung von Erkenntnissen über bekannte Objekte. Ferner wird gezielt nach dem Strahlungsmechanismus von Kernen aktiver Galaxien und von Quasaren geforscht. Eine Beobachtungsaufgabe umfaßt auch das energetische Spektrum der außer-galaktischen, isotropen Gammastrahlung. Die aktive Lebensdauer des Satelliten wird mit zwei Jahren veranschlagt. Erfahrungen mit anderen astrophysikalischen Plattformen lassen aber auf eine wesentlich längere Aktivitätsphase hoffen.

Densitometer für Photofinishing

Das Remissionsdensitometer Gretag D 182 PF (Schweiz) ist ein portables, netzunabhängiges Dichtemeßgerät zur Überwachung von Printer und Papierentwicklung. Das Messen erfolgt in einem Vorgang mit allen Farbfiltren. Das Gerät wählt dabei für die Anzeige selbsttätig das richtige Filter aus, wodurch Fehlbedienungen vermieden werden. Die durch alle Filter gemessenen Dichten werden gespeichert. Durch Betätigen einer einzigen Taste können ohne neue Messung auch die Meßwerte der anderen Farbfiltren angezeigt werden. Je nach Haltung des Geräts mit linker oder rechter Hand kann durch Tastendruck die Anzeige um 180° gedreht werden. Zur automatischen Protokollierung oder Weiterverarbeitung dient die integrierte Standardchnittstelle RS 232 für den direkten Anschluß an einen Drucker oder Computer, wobei auch der direkte Anschluß an ein Minilab möglich ist. Frei programmierbare Referenz- und Toleranzwerte gestatten es, sicher Über- und Unterschreitungen von vorgegebenen Sollwerten zu erkennen.

Technische Daten:

LCD-Digitalanzeige; Meßbereich: 0,00 bis 2,5 D; Reproduzierbarkeit: $\pm 0,01D$; Linearität: $\pm 0,01D$; Exemplantreuung: $\pm 0,02D$; Meßblendendurchmesser: 3,6 mm; Anwärmszeit: keine; Messungen/Akkuladung: etwa 4000; Meßzeit: etwa 0,8 s; Maße: 7,9 cm \times 7,6 cm \times 2,2 cm; Masse: etwa 850 g



Computergestützte Video-Bewegungsanalyse

Von insgesamt sechs Lebewesen können gleichzeitig die Bewegungen verfolgt werden, insofern sie individuell mit Farben markiert wurden. Die computergestützt arbei-



tende Video-Beobachtungsanlage Videomex-X der Columbus Instruments (USA) verwendet dazu die Farben Gelb, Grün, Blau, Violett, Rot und Orange. Die Bildauswertungssoftware läßt das Plotten einer jeden Einzelbewegung zu, bestimmt Umfang und Art der Kontakte zwischen den Lebewesen sowie die Länge des zurückgelegten Weges über einen bestimmten Zeitraum hinweg. Als Anwendung dieses Systems kommen unter anderem die Sportforschung, die Medizin – insbesondere die Orthopädie –, die Soziologie, Biologie und anderes in Frage.

Verfahren zur optischen Vorverarbeitung von Grautonbildern

Im Patent 265727 wird ein Verfahren von der Akademie der Wissenschaften der DDR geschützt, das den rechentechnischen Aufwand bei der digitalen Bildverarbeitung reduziert. Dazu werden Grautonbilder vor der rechentechnischen Auswertung optisch vorverarbeitet. Das wird erfindungsgemäß dadurch gelöst, daß ein an sich bekanntes lichtempfindliches chemisch-aktives oszillierendes Medium verwendet wird, das bestimmte Aufgaben wie Kontraständerungen, Kontrastumkehr, Bildskelettierung, Konturierung übernimmt.

Ultraschall-Bildübertragung

Ein System zur Bildübertragung per Ultraschall unter Wasser ist von der staatlichen technischen Forschungsanstalt Finnlands (VTT) entwickelt worden. Die von einer Unterwasser-Fernsehkamera aufgenommenen Bilder erreichen den Empfänger kabellos auf hydroakustischem Wege. Die Neuentwicklung baut zum Teil auf Erfahrungen auf, die VTT bei der Entwicklung von Bildtelefon-technik gewann.

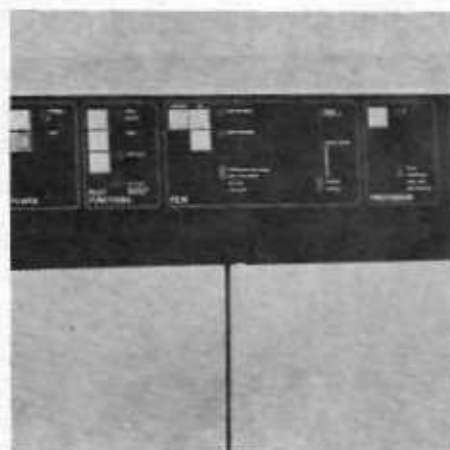
Mikrofilmlaserplotter

Statt mit Stift- oder elektrostatischem Plotter für die Hardcopy-Ausgabe von z. B. Grafiksystemen gestattet der Imtec-Mikrofilm-Plotter (Mikrofilm-Center Klein, Berlin-W.) die direkte Ausgabe von Zeichnungen und Texten auf Mikrofilm. Der mit nur wenigen mechanischen Teilen ausgestattete Mikrofilm-Plotter verwendet zur Aufzeichnung einen 2-mW-He-Ne-Laser ($\lambda = 632,8 \text{ nm}$). Das Strahlenbündel wird akustooptisch in seiner Intensität moduliert (256 digitale Graustufen) und durch ein zweistufiges Ablenssystem in einem Raster von 20000 \times 15000 Punkten auf einer Zeichenfläche von 40 mm \times 30 mm positioniert. Der Gerätetyp MLP arbeitet mit

Rollfilmausgabe, die Variante MP mit integrierter Entwicklungsstation zur wahlweisen Ausgabe auf vormontierten Filmdatenkarten sowie 16- und 35-mm-Rollfilm. Die Mikrofilm-Plotter sind soft- und hardwaremäßig mit zahlreichen CAD-Systemen kompatibel.

Technische Daten:

Grafik-Spezifikation: Auflösung 20000 mal 15000 adressierbare Punkte, Adressierbarkeit $2\mu\text{m}$, Punktgröße $12\mu\text{m} \pm 2\mu\text{m}$, Zeichengeschwindigkeit 12 cm/s, max. 170 Zeichen/s; Liniendicken: 12, 20, 30, $50\mu\text{m}$ (gestrichelte und/oder gepunktete Linien mit programmierbaren Strich-, Punkt- und Abstandsgrößen), Linienintensität (Graustufen) programmierbar in 256 Stufen; Maße: $0,8\text{m} \times 0,67\text{m} \times 1\text{m}$ (Typ MLP); $1,075\text{m} \times 1,28\text{m} \times 0,86\text{m}$ (Typ MP)



S-MAC für das Fernsehstudio

Mit S-MAC (Studio-Multiplexed-Analogue Components) wird eine für das zukünftige Fernseh-Komponentenstudio geeignete Variante des MAC-Verfahrens bezeichnet, die mit einer Kompression des Leuchtdichtesignals von 2 : 1 und der Farbsignale von 4 : 1 arbeitet. Damit ergibt sich ein Bandbreitenverhältnis von 4 : 2 : 2, das auch an die Anforderungen des Digitalstudios angepaßt ist. Der Burst auf der hinteren Schwarzscherle entspricht mit 4,5 MHz einem Drittel der Abtastfrequenz von 13,5 MHz des Digitalstudios. Mit S-MAC läßt sich ein für die Zukunft konzipiertes Komponentenstudio als Voraussetzung für die MAC-Übertragung über Satellit oder die Glasfaser-Übertragung realisieren.

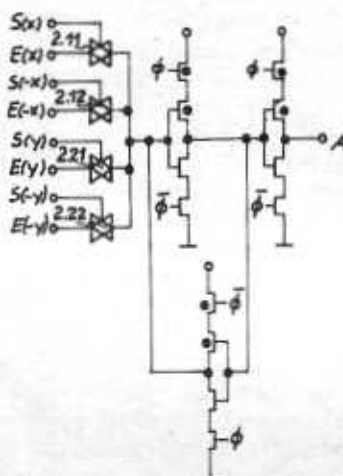
Abstimmbare Laserdiode

Ein bistabiler, in seiner Wellenlänge abstimmbarer Halbleiterlaser aus Japan kann in seiner Emissionswellenlänge stufenlos im Bereich von $30 \cdot 10^{-10}\text{m}$ verändert werden. Der Laser stellt ein Bauelement mit vier Anschlüssen dar und ist in ein InP-Substrat integriert. Die bistabile Tandem-Laserstruktur sendet nur dann einen Laserstrahl aus, wenn ein optisches Signal eingespeist wird. Ein Lichtkopplungsgebiet ist für die Festlegung der richtigen Wellenlänge entsprechend eines äußeren elektrischen Signals zuständig. Bei einer Eingangswellenlänge von $1,53142\mu\text{m}$ kann die Ausgangswellenlänge

von $1,53092\mu\text{m}$ bis $1,53302\mu\text{m}$ verändert werden.

Universelle Schieberegister-Matrix

Die vom VEB Forschungszentrum Mikroelektronik Dresden entwickelte universelle Schieberegister-Matrix wird in integrierten Festkörperschaltkreisen zur Bildverarbeitung eingesetzt. Sie enthält Schieberegister-Zellen mit richtungsgesteuerten Eingängen, die zu einer Matrix mit wahlfreien Schieberichtungen verknüpft sind. Durch entsprechende Gestaltung der Randelektronik sind die verschiedensten Betriebsarten möglich.



Optoelektronischer Meßkomplex für Astroorientierung ASTRO 1

ASTRO 1 ist das erste Gerät einer neuen Generation optoelektronischer Meßkomplexe für die Astroorientierung von Raumflugkörpern und deren Nutzlasten. Der Präzisionsmeßkomplex wurde vom Kombinat VEB Carl Zeiss JENA in wissenschaftlich-technischer Zusammenarbeit mit den Instituten für Kosmosforschung der Akademien der Wissenschaften der UdSSR und der DDR entwickelt. Er wird zur operativen, autonomen und automatischen Bestimmung der aktuellen Orientierung eingesetzt und ermöglicht die

- Einbindung in Systeme der Astronavigation und Astroorientierung von Raumflugkörpern mit hoher Präzision, insbesondere für perspektivische Methoden der autonomen Navigation;

- Präzisionskoordinatenanbindung von Fernerkundungsdaten der Erdoberfläche oder kosmischer Objekte mit hoher geometrischer Auflösung;

- Untersuchung der Dynamik der Navigations- und Orientierungsvorgänge von Raumflugkörpern.

Zur Lösung dieser Aufgaben werden von ASTRO 1 folgende Daten ausgegeben:

- Koordinaten und relative energetische Helligkeit von erfaßten Sternabbildungen in den Koordinatensystemen der optischen Module zu fixierten Zeitpunkten;

- Orientierung der Achsen der optischen Module im Bezugssystem des Sternhimmels;

- Dreiaachsenorientierung des gesamten Meßkomplexes;

- Zustandsinformationen.

Die im Gesichtsfeld der optischen Module erfaßten Sterne werden durch das optische System auf eine CCD-Matrix abgebildet und in elektrische Signale umgewandelt. Es folgt das Selektieren der Sternabbildungen und das Berechnen ihrer Lage im Koordinatensystem der optischen Module. Unter Verwendung eines gespeicherten Sternkatalogs werden die registrierten Sterne identifiziert und die Orientierung der Koordinatensysteme der optischen Module im Bezugssystem des Sternhimmels bestimmt. Ein Rechnersystem steuert die Gesamtfunktion des ASTRO 1 sowie die Informationsausgabe an den Bordrechner des Raumflugkörpers sowie an das Telemetriesystem zur Übertragung zur Erde.

Zum Gerätekomplex ASTRO 1 gehören drei aus einem optischen Modul A und dem ihm zugeordneten Modul B bestehende Meßkanäle und die zwei Rechnerkomplexe C1 und C2. Die optischen Module enthalten den optischen Sternsensor, der durch ein effektives Lichtschutzsystem vor Sonneneinstrahlung geschützt wird. Den außerhalb der herkömmlichen Sektion des Raumflugkörpers angeordneten optischen Modulen sind zur Bestimmung der Koordinaten der Sternabbildungen die Module B nachgeschaltet.

Im Modul C2 werden die Orientierungen der Koordinatensysteme der drei optischen Module berechnet. Die Steuerung des Datenaustausches innerhalb von ASTRO 1 und zum Raumflugkörper wird mit dem Modul C1 realisiert.

Die dreikanalige Anordnung der Meßkanäle gewährleistet die erreichbare hohe Genauigkeit bei der Bestimmung der Dreiaachsenorientierung auch bei zeitweiliger Nichtverfügbarkeit eines Meßkanals durch äußere Einflüsse wie zum Beispiel Sonneneinstrahlung. Zum Prüfen der einzelnen Module sowie des gesamten ASTRO 1 wurde ein optoelektronischer Prüfkomplex entwickelt. Dieser ermöglicht Prüfungen im Dialogregime mit automatischer Auswertung und Ergebnisausgabe (zusätzlich zum Lieferumfang von ASTRO 1 erhältlich).

Technische Daten:

CCD-Matrix mit 520×580 Pixeln von $18\mu\text{m} \times 24\mu\text{m}$ Größe; Objektiv 1,4/100, Durchmesser der Eintrittspupille: 70 mm, effektives Bildfeld: $5,3^\circ \times 8^\circ$; Integrationszeit ist regulierbar; Datenerneuerungsrate: 4s; Genauigkeit der Orientierung: $6'' (1\sigma)$.



Das Bildanalyse-System IBT

Dipl.-Ing. Dieter Powollik, Dr.-Ing. Christian-Michael Westendorf, Prof. Dr. sc. techn. Klaus Fritsch,
Akademie der Wissenschaften der DDR, Zentralinstitut für Kybernetik und Informationsprozesse

1. Entwicklungstendenzen der personal-computergestützten Gerätetechnik zur Bildanalyse

Bei der Gerätetechnik zur Bildverarbeitung und -analyse hat sich ein Generationswechsel vollzogen. Die in den vergangenen Jahren dominierenden Systeme lassen sich im wesentlichen zwei Klassen zuordnen: den visuellen Sensorsystemen auf der Basis der Mikrorechen- und den Bildverarbeitungssystemen auf der Basis der Minicomputertechnik.

Mit dem Erscheinen und der sich anschließenden weiten Verbreitung der Personalcomputer wurde eine neue Ausgangslage geschaffen. Die zunehmende Verarbeitungsgeschwindigkeit, das günstige Preis-Leistungsverhältnis und die umfangreiche Software-Versorgung haben die Personalcomputer auch für die Bildverarbeitung attraktiv gemacht.

Mit der Verfügbarkeit hochintegrierter Schaltkreise insbesondere für RAM-Speicher und den Möglichkeiten zur Entwicklung von Kundenwunschschaftkreisen in Standardzellen- bzw. Gate-Array-Technik gibt es gute Grundlagen für die Schaffung von Bildanalyse-Systemen auf wenigen Leiterplatten.

Das Erweitern eines Personalcomputers zu einer Bildverarbeitungsstation ist auf unterschiedlichen Wegen möglich:

- ein bis zwei Steckeinheiten für die freien Steckplätze in Personalcomputern (Add-In-Boards),
- integriertes System mit Bildverarbeitungsbaugruppen (mit 3 bis 10 Steckeinheiten) und Personalcomputer,
- Zweirechnersystem, bestehend aus Bildverarbeitungssystem (mit eigener Intelligenz) und Personalcomputer.

Die Zusatzsteckeinheiten sind an den jeweiligen PC-Bus angeschlossen und werden von der Stromversorgung des PC gespeist. Der Leistungsumfang erstreckt sich vom Bildfangen (Frame-Grabbing) bis zur Rasterbildverarbeitung auf niedrigem Niveau. Mit der fortschreitenden Miniaturisierung wird die Bedeutung dieser Architekturen zunehmen. In Anlehnung an den Begriff Personalcomputer werden sie auch als „personalne Videosysteme“ bezeichnet. Die integrierten Systeme besitzen in der Regel eine Buskopplung mit je einer Steckeinheit in jedem Teilsystem und zeichnen sich durch vielfältige Konfigurationsmöglichkeiten aus, z. B. wählbare Anzahl der Bildspeicher, wählbare Anzahl der Bitebenen pro Bild, wahlweiser Einsatz von Spezialbaugruppen zum Beschleunigen der Rasterbildverarbeitung (Akzeleratoren).

Die Zweirechnersysteme unterschieden sich von den integrierten Systemen dadurch, daß

im Bildanalyseteil eine Recheneinheit einschließlich Operativspeicher installiert ist. Das ermöglicht den autonomen Betrieb dieses Teilsystems. Der PC dient als Entwicklungshilfsmittel, als Ressource für weitere Rechen- und Speicherkapazität sowie als Koppelglied zu externen Steuerungen bzw. Leitrechnern.

Bei der Software-Versorgung wird weitgehend von den durch die PC-Technik bereitgestellten Werkzeugen Gebrauch gemacht. Sie umfassen folgende Komplexe:

- Demonstrationsprogramme als geschlossene Systeme,
- Menüprogramme zum Einarbeiten und Test der Systemfunktionen (Tool-Box),
- Unterprogramm-Bibliotheken zum Einbinden in eine Hochsprache,
- interaktive Programmsysteme zum Steuern der Verarbeitungsabläufe (oft ergänzt durch Mittel zur Programmierung neuer Abläufe).

Haupteinsatzgebiete sind:

- interaktive Bildinterpretation in der Forschung, Entwicklung und Ausbildung,
- visuelle Kontrolle/Überwachung/Inspektion von Prozeßabläufen in der Industrie sowie in der Forschung,
- methodische Untersuchungen zum Auswerten von Fernerkundungsdaten,
- automatisierte Bildanalyse in ausgewählten Bereichen von Medizin und Technik,
- Erfassung und Verarbeitung von textlichen Vorlagen in der Büro- und Fertigungsautomatisierung,
- als Bildterminal für Leitrechner der höheren Leistungsklassen,
- als Entwicklungssystem für die Einsatzvorbereitung in der Prozeßautomatisierung

2. Das Bildanalyse-System IBT

2.1. Systemgestaltung

Für die Entwicklung des Bildanalyse-Systems IBT wurde die Variante des Zweirechnersystems gewählt. Sie erwies sich als besonders günstig zur Realisierung einer Vielfalt funktioneller und anwendungsbezogener Forderungen unter der Berücksichtigung des zur Verfügung stehenden technischen und technologischen Niveaus und zur Sicherung der materiell-technischen Basis für die Entwicklung. Außerdem läßt sich ein Zweirechnersystem mit wenig Aufwand in die für interaktive Systeme kostengünstigere Variante des integrierten Systems überführen.

Im Bildanalyse-System IBT kommt der Personalcomputer ES 1834 als Steuerrechner zum Einsatz. An den PC wird das IBT-Grundgerät angeschlossen. Dieses beinhaltet ein Rechnersystem auf der Basis des MMS-16-Systembusses, das aus Standardkomponenten

wie zentraler Verarbeitungseinheit (ZVE) und Operativspeicher (OPS) sowie aus bildverarbeitungsspezifischen Modulen besteht.

Die Verwendung des MMS-16-Systembusses hat eine Reihe von Vorteilen:

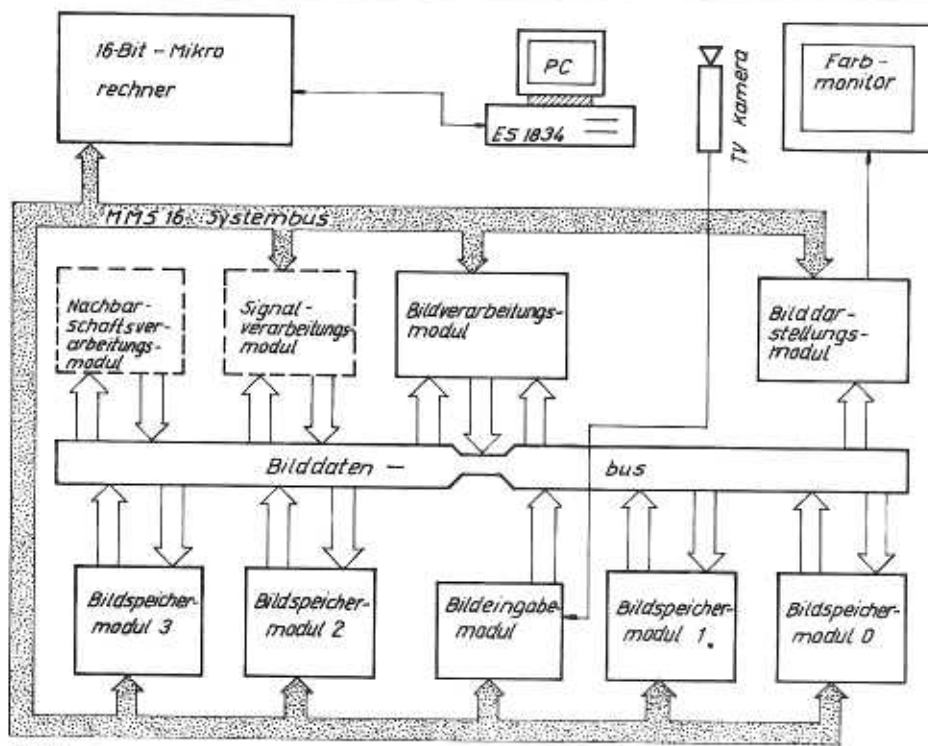
Es können vorhandene Komponenten wie z. B. Gefäße einschließlich Stromversorgung und Lüfterbaugruppe und Steckeinheiten genutzt werden. Der im System für den Residentbus vorgesehene Steckverbinder X2 kann für die Schaffung eines Bilddatenbusses zur schnellen Übertragung von Bildern zwischen den Modulen eingesetzt werden. Die Systeme sind einerseits mit Standardkomponenten und andererseits mit weiteren bildverarbeitungsspezifischen Modulen aufrüstbar. Für die Konfiguration von speziellen Gerätesteuern können einzelne bildverarbeitungsspezifische Module in MMS-16-Systeme integriert werden.

Beim Entwurf der bildverarbeitungsspezifischen Module wurde auf folgende Kriterien besonderen Wert gelegt:

1. Entkopplung und unabhängige Ausführung der Prozesse Bilderfassung, Bilddarstellung und Bildverarbeitung,
2. schnelle Bildübertragung und einfache Protokolle auf dem Bilddatenbus,
3. Nutzung eines universellen Bildspeichermoduls für die oben genannten Prozesse,
4. nahtlose Einbeziehung des Systemprozessors in Verarbeitungsalgorithmen durch Einblenden von Bildspeicherbereichen in den Adreßraum des Systemprozessors,
5. Erfassen von Bildern fremd- oder eigensynchronisierter Videosignalquellen oder bereits digitalisierter Signale unterschiedlicher Sensoren,
6. hoher Komfort für die interaktive Arbeit durch

- Darstellen der Bilder auf 60-Hz-Vollbildmonitoren (wahlweise auch auf FS-Monitoren),
- Darstellen von Grafik-, Text- und Cursorinformationen durch zusätzliche 2 bit je Bildpunkt,
- Quasiechtzeitvisualisierung von Videobildern durch Wechselpufferbetrieb von Eingabe und Bilddarstellen.

7. Einsatz eines leistungsfähigen Pipelineprozessors für Einzelpixelverarbeitung und Bildverknüpfung einschließlich seiner Nutzung als Statistikprozessor (z. B. Histogramm) und der Verarbeitung interessierender Bildbereiche,
8. schnelle, kostengünstige Kopplung des IBT-Grundgerätes an den Steuerrechner,
9. leichte Erweiterbarkeit des Systems durch anwendungsspezifische Eingabemodule oder durch spezialisierte Hochleistungsprozessoren (z. B. für Nachbarschaftsverarbeitung).



1 Bildanalyse-System IBT

2.2. Gerätetechnischer Aufbau des IBT-Grundgerätes

Im Bild 1 ist das Bildanalyse-System IBT mit seinen wesentlichen Komponenten einschließlich der Struktur des IBT-Grundgerätes dargestellt. Für das IBT-Grundgerät wurde ein modifiziertes Gefäß des Arbeitsplatzcomputers A 7100 verwendet. Es wurde für die Aufnahme von 14 Steckeinheiten umgerüstet und der Systembus entsprechend verlängert. Die Rückverdrahtung für die Residentbussteckverbinder wurde als Bilddatenbus realisiert.

16-bit-Mikrorechner

Der interne 16-bit-Mikrorechner (unten auch als Systemprozessor bezeichnet) besteht aus der ZVE K2771 des OPS K3571 und einer Ein/Ausgabesteckeinheit ASD für die Rechnerkopplung. Die Firmware der ZVE wurde so angepaßt, daß eine Kommunikation über die Schnittstelle der ASD möglich ist. Mit dem OPS K3571 stehen dem Systemprozessor 256 Kbyte Operativspeicher zur Verfügung. Die ASD ist eine serielle, asynchrone Schnittstelle. Es werden ein Status-, acht Daten-, ein Paritäts- und zwei Stopbits gesendet oder empfangen. Die Datenübertragung kann programmgesteuert im Voll duplex- oder DMA-gesteuert im Halbduplexbetrieb erfolgen. Die Übertragungsrate wird in Abhängigkeit von der zu überbrückenden Entfernung auf 10 MBaud, 1 MBaud oder 100 KBaud eingestellt. Zwischen dem ESER-PC ES 1834 und dem Systemprozessor im IBT-Grundgerät wird eine maximale effektive Datenübertragungsrate von 210 Kbyte/s erreicht. Der Interfaceanschluß entspricht elektrisch der Norm V.11 (RS 422) und ist mechanisch an die Norm X11 angelehnt. Aufgrund der Eigenintelligenz kann das IBT auch autonom betrieben werden.

Bilddatenbus

Der Bilddatenbus besteht aus 7 Datenkanälen und 3 Steuerkanälen. Die Struktur des Busses ist so gewählt, daß an jedem Steckplatz für die bildverarbeitungsspezifischen Module je 4 Datenkanäle und zwei Steuerkanäle zur Verfügung stehen und drei Prozesse (Bilddarstellung, Bildverarbeitung mittels Pipelineprozessor BVM oder Bildeingabe und Bildverarbeitung z. B. mittels Signalprozessormodul) gleichzeitig und unabhängig voneinander unter Kontrolle je eines Steuerkanals ausgeführt werden können. Über einen Datenkanal werden die Bildpunkte eines Blockes sequentiell und synchron mit dem Bildpunkttakt übertragen. Ein Block enthält im allgemeinen die Bildpunkte einer oder mehrerer Zeilen oder Spalten eines Bildes oder Bildfragmentes. In einem Steuerkanal sind die Signale Bildpunktakt, Blockrahmen, Schreibfreigabe und Bildrahmen zusammengefaßt. Die Module des IBT werden in Abhängigkeit davon, ob sie die Datenübertragung mittels Steuerkanal aktiv betreiben in Master (BVM, BDM, VEM, DEM, KEM, NPM, SPM) oder ob sie passiv teilnehmen (BSM, BVM im Slavemode) in Slaves eingeteilt. Für die Dauer der Ausführung eines Prozesses werden dem Master der Steuerkanal und die erforderlichen Slaves durch den Systemprozessor zugeordnet. Die Zuordnung der Datenkanäle erfolgt zu der Datenquelle unabhängig, ob es sich um einen Master oder einen Slave handelt.

Diese flexible Zuweisung gestattet z. B. sehr einfach die Realisierung der Quasiechtzeitvisualisierung des Videokamerabildes durch Verwendung der Bildspeicher BSM0 und BSM1 als Wechsellager für den Bildeingabemodul und den Bildarstellungsmodul oder die Ausführung einer 16-bit-Akkumula-

tion durch den Bildverarbeitungsmodul mit den Bildspeichern BSM2 und BSM3 als Akkumulator für die niederwertigen und höherwertigen Bytes der Bildpunkte und BSM1 als Eingangsbild.

Bildspeichermodul

Der Bildspeichermodul hat eine Kapazität von 512 Kbyte. Einem Bildpunkt werden im allgemeinen 8 bit zugeordnet. Es sind aber auch 16 bit möglich.

Der Zugriff zum Bilddatenbus erfolgt über zwei Ausgabekanäle und zwei alternativ zu benutzende Eingabekanäle. Es sind Lese- oder Les-/Schreiboperationen möglich. Damit kann ein Bildspeichermodul bei einer Bildübertragung gleichzeitig als Quelle und Senke dienen. Die Schreiboperation kann für jede Bitebene im 8-bit-Pixel einzeln gesperrt werden. Für die Übertragung wird einer von zwei Steuerkanälen ausgewählt. Für Master, die den Bildspeicher mit einer Bildpunktrate bis zu MPixel/s betreiben, ist eine sehr flexible Abbildung des eindimensionalen Adreßraums des Bildspeichers in zweidimensionale Bilder möglich.

Es können beliebig viele Bilder mit unterschiedlich vielen Zeilen je Bild und einer geraden Anzahl von Bildpunkten je Zeile definiert werden. Natürlich darf die Gesamtbildpunktzahl die Kapazität des Bildspeichers nicht überschreiten. Diese Flexibilität gilt auch für die Verarbeitung interessanter Gebiete eines Bildes (Bildfragment) und bietet hier große Vorteile bei der Beschleunigung des Verarbeitungsprozesses.

Ist eine höhere Bildpunktrate als 10 MPixel/s erforderlich wie z. B. für die Bilddarstellung oder die Videobildeingabe, so muß die Einschränkung auf eine maximale Bildzeilenlänge von 1024 Bildpunkten in Kauf genommen werden. Weitere mögliche Bildzeilenlängen sind 512, 256 oder 128 Pixel/Zeile. Die Verarbeitung von Fragmenten innerhalb eines Bildes ist jedoch uneingeschränkt möglich. Die Rastersequenz für die Reihenfolge des Aufrufs der Bildpunkte ist allgemein wie bei der Ablenkung des Elektronenstrahls eines Monitors von links nach rechts und von oben nach unten. Andere Regimes und auch die Wahl zwischen Halb- und Vollbildübertragung sind einstellbar. Ein weiteres wesentliches Kennzeichen des Bildspeichers ist neben dem sequentiellen Zugriff über den Bilddatenbus der wahlfreie Zugriff über den Systembus. Er ist wort- oder byteweise möglich und gestattet die unmittelbare Bearbeitung eines Bildes durch den Systemprozessor. Dazu wird ein Teil oder der gesamte Bildspeicherinhalt in Seiten zu 64 Kbyte in den Hauptspeicheradreßraum des Systemprozessors eingeblenket. Im Adreßraum des Systemprozessors sind 704 Kbyte frei, die von den vier im IBT vorhandenen Bildspeichermodulen belegt werden können.

Bildarstellungsmodul

Der Bildarstellungsmodul umfaßt zwei Steckeinheiten.

Eine wesentliche Aufgabe ist die Visualisierung des Bildspeicherinhalts (BSM0 oder BSM1) mit 8 bit je Bildpunkt in Falschfarben-

darstellung. Dabei ist das auf dem Farbmonitor sichtbare Bildfragment frei wählbar. Ebenso ist die Vergrößerung eines Fragments durch Pixel- und Zeilenwiederholung (Faktor 1 bis 15) möglich.

Der Einsatz des Grafikkontrollers U 82720 bietet vielfältige Möglichkeiten für die Wahl des Darstellungsformates bei gegebener Bildpunktfrequenz. Für das IBT wurden 640×640 Bildpunkte mit einer Bildwiederholungsfrequenz von 60 Hz (Vollbild) festgelegt. Das gestattet den Anschluß des Farbmonitors K 7234 des VEB Kombinat Robotron. Durch Umkonfiguration (Wickelbrücke) des Bilddarstellungsmoduls lassen sich auch Fernsehmonitore nach der CCIR-Norm im 50-Hz-Halbbildverfahren anschließen.

Auf dem Bilddarstellungsmodul wird vom Grafikkontroller auch der Grafikspeicher von 512 Kbyte verwaltet. Jedem Bildpunkt werden 2 bit zugeordnet. Der Grafikspeicher wird durch die Programmierung einer Zeilenlänge im Grafikkontroller formatiert. Wird z. B. eine Zeilenlänge von 640 Bildpunkten wählt, so stehen 3276 Zeilen oder 7 unabhängige Monitorbilder zur Verfügung. Der Grafikkontroller entlastet den Systemprozessor von der Rasterkonvertierung grafischer Primitive (Vektor, Kreis, Kreisbogen, Rechteck, Füllen) für die Erzeugung von Grafik-, Text- oder Cursorinformationen in den beiden Grafikebenen.

Der darzustellende Bereich des Grafikspeichers und dessen Vergrößerungsfaktor sind unabhängig von den Parametern für den darzustellenden Bildspeicherbereich programmierbar. Auf dem Monitor können auch gleichzeitig zwei nichtzusammenhängende Bereiche des Grafikspeichers übereinander dargestellt werden.

Die Überlagerung der Information aus Bild- und Grafikspeicher erfolgt in der Farbtabelle. Aus einer Palette von 2^{24} Farben lassen sich gleichzeitig neben den 256 Farben für den Bildspeicherinhalt noch drei Farben für Grafikinformationen darstellen.

Bildeingabemodul

Zum Anschluß von Videosignalquellen an

das IBT stehen zwei Module zur Verfügung. Der Videoeingabemodul (VEM) quantisiert das Signal in 256 Graustufen bei einer Abtastrate von 15 MHz. Es kann sowohl eine Videokamera als auch ein Videorecorder angeschlossen werden. Das Bild hat ein Format von 512×512 Bildpunkten. Der Kameraeingabemodul (KEM) ist für die Erfassung von Bildern fremsynchronisierbarer Videosignalquellen bestimmt. Er erlaubt den gleichzeitigen Anschluß von drei Videokameras. Das über einen Multiplexer ausgewählte Videosignal wird in 64 Stufen bei einer Abtastrate von 15 MHz digitalisiert. Die drei Eingangskanäle des KEM können für den Anschluß einer Farbfernsehkamera mit RGB-Ausgangssignalen genutzt werden. Damit ist es möglich, die roten, grünen und blauen Anteile einer farbigen Vorlage sequentiell in das IBT einzugeben.

Für die Eingabe von Bildern nichtstandardisierter Bildsignalquellen steht der digitale Eingabemodul DEM zur Verfügung. Es werden Daten mit 8 oder 16 bit je Bildpunkt erfaßt. Die Datenrate ist beliebig, darf jedoch 10 Mbyte nicht übersteigen. Die Steuerung der Dateneingabe erfolgt durch die Datenquelle mittels Taktsignal und zweier Datenbegleitsignale.

Bildverarbeitungsmodul (BVM)

Der Bildverarbeitungsmodul ist ein Pipelineprozessor für die schnelle Ausführung von Bildpunktoperationen. Die Verarbeitungstaktfrequenz beträgt 10 MHz. Es können mit jedem Takt 3 Bilddatenströme (24 bit) in 4 Pipelineinstufen parallel verarbeitet werden. Als Ergebnis werden zwei Bilddatenströme (16 bit) ausgegeben. Die Verarbeitungsstufen beinhalten einen Vergleicher und eine Eingangs-Look-Up-Tabelle, die 12 bit auf 16 bit transformiert, eine 16-bit-arithmetisch-logische-Einheit, eine Normierungsstufe und eine Ausgangs-Look-Up-Tabelle, die 12 bit auf 8 bit transformiert.

Die Ausführung von homogenen oder inhomogenen Grauwerttransformationen, von arithmetischen oder logischen Bildverknüpfungen sind leicht in einem Durchlauf durch

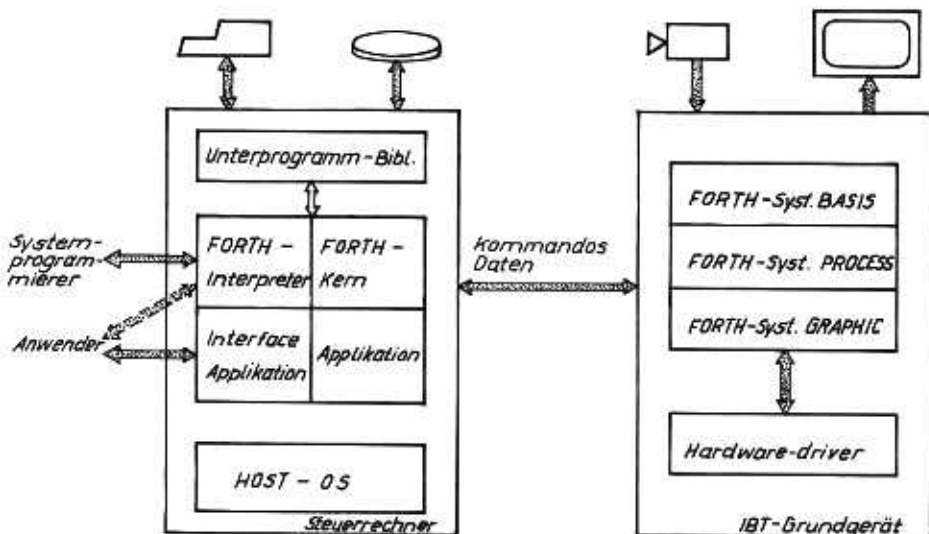
die Pipeline möglich. Die Division und Multiplikation von zwei Bildern (8 bit/Pixel) benötigen zwei Durchläufe. Für die Berechnung lokaler Operatoren wird die Anzahl der Durchläufe unmittelbar durch die Größe des Operators bestimmt. Für die Zeitdauer eines Durchlaufes ist in erster Linie die Größe des zu verarbeitenden Bildfragmentes bestimmend. Nehmen wir als Beispiel die Ausführung einer linearen Filteroperation mit 49 Elementen im Filterkern (7×7) und einer Genauigkeit des Resultats von 16 bit, so dauert ein Verarbeitungsdurchlauf etwa 28 ms bei einer Fragmentgröße von 512×512 Bildpunkten. Einschließlich der Zeiten für die Umprogrammierung der Bildspeicher und des BVM zwischen den Durchläufen kann man mit einer Gesamtausführungszeit von etwa 2 s für diese Filteroperation rechnen. Das ist nur wenig langsamer als die Ausführung der gleichen Operation mit dem BVS A 6472 mit 8 Bildspeichern (1,5 s), aber wesentlich schneller, wenn nur 4 Bildspeicher des BVS A 6472 zur Verfügung stehen (8 s) [1].

Die hohe Verarbeitungsgeschwindigkeit, die das IBT hier bei Nutzung von nur drei Bildspeichermodulen und einer gegenüber dem A 6372 um 25% langsameren Bildpunktrate erreicht, sind im wesentlichen auf die interne 16-bit-Verarbeitungsbreite des BVM, die Unabhängigkeit der Verarbeitung von der Fernsehnorm und die Nutzung der Bildspeicher gleichzeitig zum Lesen und zum Schreiben bei einer effektiven Lösung des dabei immer auftretenden Problems des Adreßversatzes zwischen gelesenen und geschriebenem Bild zurückzuführen.

Der BVM ist weiterhin gut geeignet für das Sortieren und Mischen von Bildpunkten, wobei der Vergleicher und die bedingten Byte-tauschoperationen der Normalisierungsstufe verwendet werden. Der BVM bietet auch die Möglichkeit, parallel zur Pipelineverarbeitung die Transformationsfunktionen der Eingangs-Look-Up-Tabelle rekursiv zu berechnen. Die wesentliche Anwendung ist hier die Berechnung des Histogramms von Bildern mit bis zu 12 bit je Bildpunkt. Diese Operationen werden mit 5 MPixel/s ausgeführt. Für alle genannten Operationen kann die Größe des zu verarbeitenden Bildfragmentes in weiten Grenzen und in Schrittweiten von 16 Bildpunkten horizontal und eine Zeile vertikal festgelegt werden. Das gestattet die effektive Verarbeitung interessanter Gebiete eines Bildes.

Die vorgestellten Module bieten die Möglichkeit, das IBT als Auf Tischgerät universell einzusetzen. Für den speziellen Einsatz ist jedoch die Erhöhung der Verarbeitungsleistung unbedingt erforderlich.

Dazu dienen die beiden bereits im Bild 1 angegebenen speziellen Verarbeitungsmodulen, deren Entwicklung vorgesehen ist. Der Nachbarschaftsprozessormodul (NPM) enthält einen programmierbaren 3×3 -Operator für eine Bildpunktrate von 10 MPixel/s. Diese Leistungsfähigkeit soll durch den Einsatz des als Standardzellenentwurf in Entwicklung befindlichen Kundenwunschsaltkreises GIPP [2] in einer Multiprozessoranordnung erreicht werden.



2. Software-Struktur des IBT

Der Signalprozessormodul (SPM) beinhaltet als wesentliches Verarbeitungselement den digitalen Signalprozessor U320C20. Er soll in einer Doppelprozessoranordnung die Ausführung lokaler Operationen, orthogonaler und geometrischer Transformationen beschleunigen.

Weiterhin ist vorgesehen, den Bildverarbeitungsmodul BVM auch als Slave zu betreiben und so die Echtzeitverarbeitung der Daten spezieller Eingabemodule zu ermöglichen.

2.3. Software-Versorgung

Allgemeine Konzeption

Die Hauptaufgabe der Software besteht darin, dem Nutzer die hardwaregestützten Verarbeitungsfunktionen zugänglich zu machen und ihn dabei nur so weit als nötig mit der Komplexität der internen Verarbeitungsabläufe zu belasten. Ein Kommandoumfang von 150 bis 200 Worten läßt sich jedoch kaum unterschreiten.

Rechentechnisch geschulte Nutzer, insbesondere auf dem Gebiet der interaktiven Bildverarbeitung, bevorzugen Unterprogramm-bibliotheken. Für Nutzer ohne diese Voraussetzungen sind Kommandosprachen geeigneter. Oft werden für ein Gerät gleichzeitig mehrere Softwareprodukte angeboten.

Die bereitgestellten Bildverarbeitungsfunktionen entsprechen der geräteseitigen Aufteilung der Funktionskomplexe, so daß auf eine Auflistung verzichtet werden kann.

Das Konzept der Systemsoftware des IBT wird durch folgende Gesichtspunkte bestimmt:

- Das Gesamtsystem besteht aus einem 16-bit-PC und dem IBT-Grundgerät mit eigenem 16-bit-Prozessor. Beide Komponenten sind über ein serielles Interface gekoppelt, über das Kommandos und Daten übertragen werden. Daraus ergibt sich die Notwendigkeit, ein geeignetes Betriebssystem im IBT-Grundgerät zu installieren, das mindestens die Kommunikation mit dem Steuerrechner sowie die Kommandointerpretation und Funktionsausführung realisiert.

- Die Installation eines festgelegten Funktionsumfangs des IBT etwa im Sinne eines „intelligenten“ peripheren Gerätes ist aufgrund der hohen Komplexität der IBT-Hardware nicht ausreichend. Es muß die Möglichkeit geschaffen werden, neue Kommandos bzw. Programme zu installieren, weil eine Ablaufsteuerung auf niedrigem Niveau durch den Personalcomputer über das serielle Interface zu zeitaufwendig ist (z. B. Operationen mit Pixelzugriff). Dies erfordert die Verfügbarkeit einer geeigneten Entwicklungsumgebung und Systemprogrammiersprache, mit der im IBT-Grundgerät lauffähige Programme erzeugt und in den dort installierten Kommandointerpreter eingebunden werden können.

- Durch die Systemsoftware sollte der interaktive Zugriff zu den Systemfunktionen ermöglicht werden, unabhängig davon, ob sie im IBT-Grundgerät oder im Steuerrechner implementiert sind. Dies kann als Voraussetzung für eine effektive experimentelle bzw. Entwicklungsarbeit angesehen werden.

Die Grundforderungen

- Betriebssystem für Spezialhardware einschließlich Entwicklungsumgebung,

- Erweiterbarkeit des Funktionsumfangs,

- Interaktivität

werden in nahezu idealer Art und Weise durch geeignet ausgestattete FORTH-Systeme [3], [4] erfüllt. Neben den genannten Gesichtspunkten ergeben sich folgende Möglichkeiten:

- Entwicklung und Implementierung problemspezifischer, interaktiver Fachsprachen auch durch den Nutzer,

- In-Line-Assembler zur Programmierung zeitkritischer Programmteile,

- Einbindung von Unterprogrammen, die in anderen Sprachen erstellt wurden,

- Portabilität durch Transport des gesamten FORTH-Systems,

- standardisiertes Nutzerinterface,

- Realisierbarkeit moderner Programmier-techniken (z. B. objektorientierte Programmierung, regelbasierte Programmierung).

FORTH erlaubt eine interaktive Arbeit mit sehr weit gefaßtem Steuer- und Programmier-niveau. Dieses Niveau reicht von der Erstellung einfach strukturierter Steuerprogramme bis hin zum Eingriff in Systemfunktionen. Die Anforderungen an den Benutzer sind entsprechend differenziert. Es sind mindestens Grundkenntnisse der Sprache FORTH erforderlich, die jedoch bei der Arbeit mit dem System relativ schnell erworben werden können.

Die Grundstruktur des Software-Systems ist in Bild 2 dargestellt.

Software-System des IBT-Grundgerätes [5]

Das im IBT-Grundgerät installierte Software-System setzt sich aus folgenden Komponenten zusammen:

- (1) Initialisierungsprogramm,
- (2) Driver für Spezialhardware,
- (3) FORTH-System für Kommunikation und Programmierung (BASIS),
- (4) FORTH-System für Datenverwaltung, Bildspeicher-, BVM- und Kamera-Steuerung (PROCESS),
- (5) FORTH-System für Grafik und Visualisierung (GRAPHIC),
- (6) Firmware für Bildspeichermodul (U882-Programm).

Teilsystem BASIS

Über das Teilsystem BASIS wird der Daten- und Kommandoaustausch mit dem Steuerrechner abgewickelt. In der interaktiven Betriebsart wird dieses FORTH-System vom Terminal des Steuerrechners aus bedient. Der FORTH- bzw. Assembler-Quelltext der neu zu installierenden Kommandos wird über das serielle Interface in das IBT-Grundgerät übertragen und dort kompiliert. Damit ist die Integration in die dort vorhandene Systemsoftware gewährleistet. Das Teilsystem BASIS ist zur Aufnahme anwenderspezifischer Kommandos vorgesehen.

Es ermöglicht auch den Aufruf der in den anderen beiden FORTH-Systemen implementierten Kommandos.

Die im IBT-Grundgerät installierten Kommandos können vom Steuerrechner aus nicht nur interaktiv angesprochen, sondern

auch aus Programmen aufgerufen werden, die im Steuerrechner ablaufen. Für die Einbindung dieser Kommandos in C-Programme steht eine spezielle Lösung zur Verfügung.

Teilsystem PROCESS

Im Teilsystem PROCESS sind die Grundfunktionen zur Steuerung und Programmierung der Bildspeichermodule, des Bildverarbeitungsmoduls, des Kameraeingabemoduls sowie zur Einstellung bestimmter Datenpfade lokalisiert. Weiterhin stehen Kommandos für komplette Verarbeitungsabläufe zur Verfügung (z. B. Dauerbildeingabe, Bildtransformation über Look-Up-Tabellen, Bildverknüpfung u. a.). Das FORTH-System PROCESS organisiert weiterhin die logische Verwaltung von

- Bildspeichern,
- Bildfragmenten,
- 3 × 3-Fenster-Operatoren,
- Farbtabelle für die Visualisierung,
- Look-Up-Tabellen für den BVM.

Die entsprechenden Datenstrukturen sind als Datentypen („Klassen“) vordefiniert, von denen Realisierungen (Datenobjekte) gebildet werden können. Ein Datenobjekt – z. B. bestimmtes Bildfragment – wird durch den Aufruf seines Namens aktiviert. An jeden Datentyp sind bestimmte Operationen gebunden, die auf das aktuelle Datenobjekt der betreffenden Klasse angewandt werden können (z. B. Anzeige des ausgewählten Bildfragments).

Teilsystem GRAPHIC

Das Teilsystem GRAPHIC beinhaltet alle Funktionen zur Steuerung der Grafik und der Visualisierung. Es basiert auf einem Assembler-Paket zum Ansteuern des GDC U82720 sowie des Bildarstellungsmoduls, die vom FORTH-System aus aufgerufen oder auch unabhängig davon benutzt werden können. Die implementierten Funktionen können folgenden Gruppen zugeordnet werden:

- GSX-ähnliche Grundfunktionen im Bildschirm-Koordinatensystem,
- Farb- und Attribut-Steuerung,
- Textanzeige,
- Turtle-Grafik,
- 2D-Grafik-Grundfunktionen in 32-bit-Weltkoordinaten,
- 3D-Grafik-Grundfunktionen,
- Cursor-Funktionen,
- Komplexe grafische Funktionen, z. B. Funktions- und Histogramm-Darstellung, interaktive Funktionsmanipulation.

Das FORTH-System im Steuerrechner

Das im Steuerrechner installierte FORTH-System erfüllt folgende Aufgaben:

- Entwicklungssystem,
 - Interaktion mit dem FORTH-System im IBT-Grundgerät,
 - Laufzeit-System für Anwenderprogramme, die auf der Gesamtkonfiguration Steuerrechner – IBT laufen.
- Das FORTH-Entwicklungssystem gestattet sowohl die Generierung als auch eine Erweiterung der FORTH-Systeme im Steuerrechner und im IBT-Grundgerät, es beinhaltet die Werkzeuge
- Screen-Editor (Wordstar-ähnliche Steuerung),

- 8086-Assembler,
- FORTH-Dekompilier,
- Speicherdump und -manipulation,
- Screen-Druck-Programm.

Diese Werkzeuge sind resident installiert und können jederzeit aufgerufen werden.

Der Massenspeicher wird vom System fileorientiert angesprochen. Quelltexte werden in Screen-Form, d. h. in Blöcken zu je 1 Kbyte ohne Steuerzeichen, verwaltet.

Die FORTH-Quelltexte können auch 8086-Code-Passagen enthalten, die durch den 8086-Assembler übersetzt und damit automatisch in das System eingebunden werden. Jedes in FORTH oder Assembler definierte Kommando ist nach seiner Compilation interaktiv aufrufbar und kann sofort getestet werden.

Mit dem Decompiler ist eine Rückübersetzung von in FORTH programmierten Kommandos möglich.

Das FORTH-System im Steuerrechner organisiert weiterhin die Interaktion und den Datenaustausch mit den FORTH-Systemen im IBT-Grundgerät über eine serielle Standard-Schnittstelle oder die systemeigene ASD-Karte.

Das Institut für Kosmosforschung der Akademie der Wissenschaften der DDR war durch die Ausführung der Entwicklung des Videoeingabemoduls und des digitalen Eingabemoduls an der Entwicklung des IBT beteiligt. Die Entwicklung des Bildanalyseystems IBT erfolgte im Auftrag des VEB Robotron Vertrieb Berlin.

Anfragen zur Nutzung der Systemkonzeption können auch an den VEB Robotron Vertrieb Berlin gerichtet werden.

Literatur

- [1] Bitgenau schnelle Arithmetik mit dem Bildverarbeitungssystem A 8472 / Luth, W.; Vilser, R.-J.; Eichhorn, N.; Gössel, M. – In: Angewandte Informatik. – (1988) 3. – S. 111–115
- [2] The programmable Hardware-structure GIPP and its Application / Kutschke, G.; Schwarze, G. – In: Mathematical Research Computer Analysis of Images and Pattern. – Band 40. – Ed. by Yaroslavskil, L. P.; Rosenfeld, A.; Wilhelm, W. – S. 266–270
- [3] Programmieren in FORTH / Vack, G.-U. – VEB Verlag Technik, Berlin, 1990
- [4] FORTH 83 / Zech, R. – Franzis Verlag, München, 1987
- [5] Bildverarbeitungssoftware auf der Basis von FORTH / Westendorf, Ch.-M. – In: Bild und Ton. – Leipzig 41 (1988) 7. – S. 203–206

Konstruktion von Bildanalyseprogrammen für die Echokardiografie

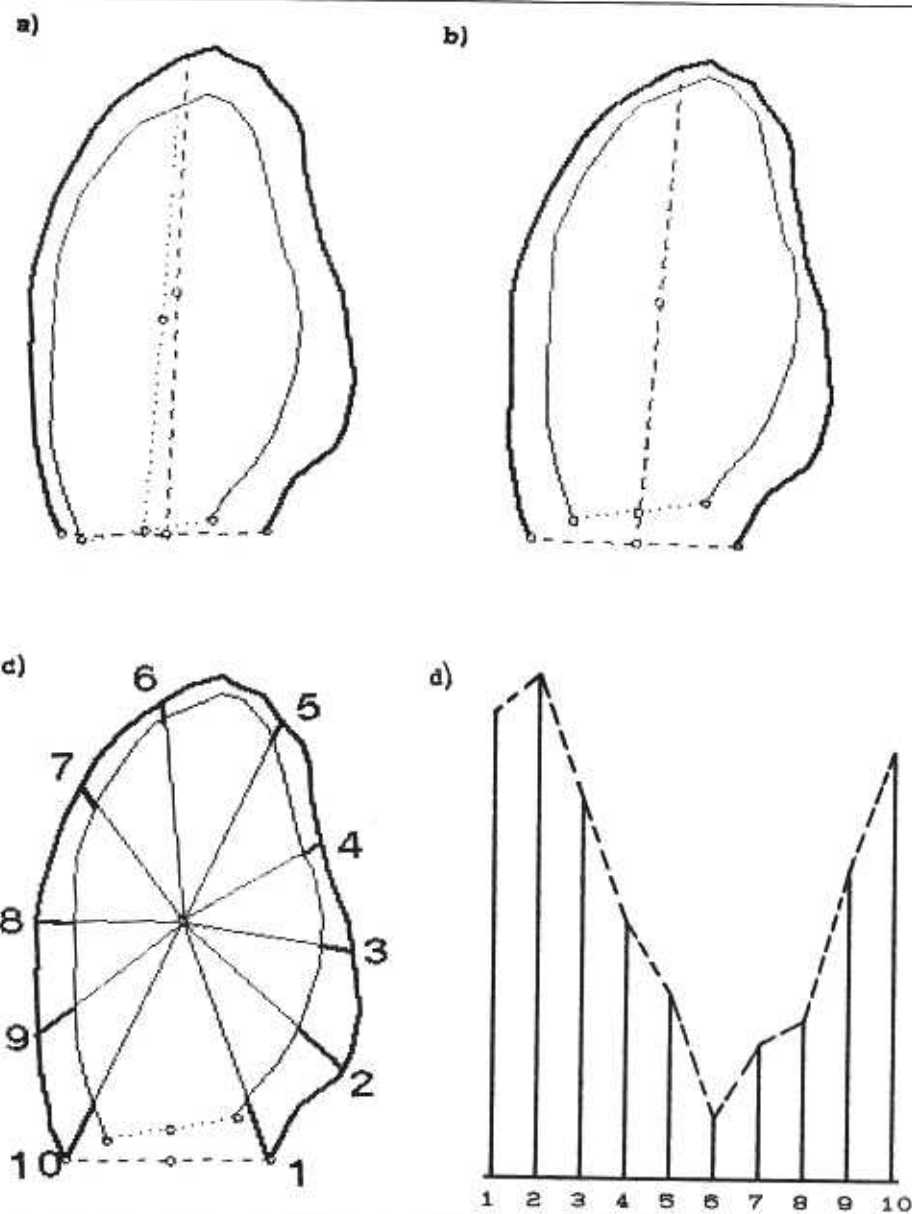
Dr.-Ing. Rainer Heße, Prof. Dr. sc. nat. Reinhard Klette, Akademie der Wissenschaften der DDR, Zentralinstitut für Kybernetik und Informationsprozesse

1. Einleitung

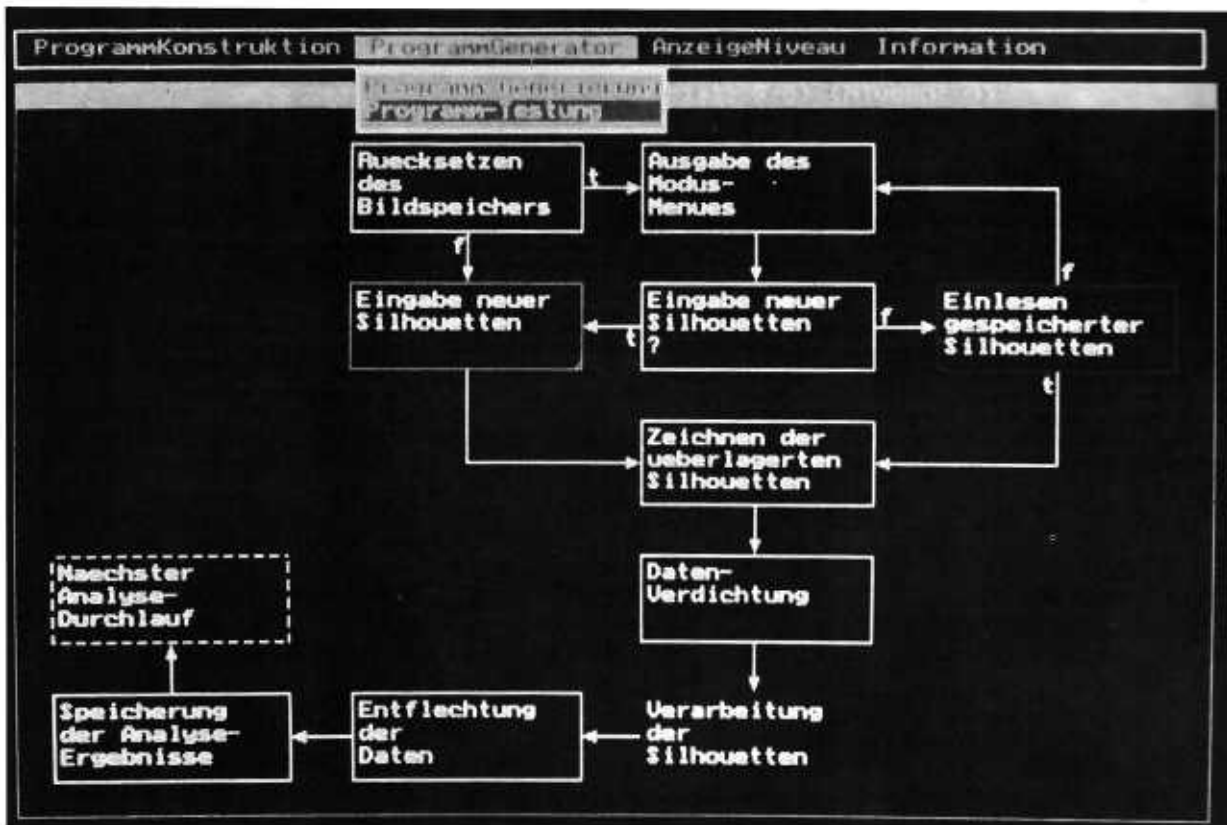
Programmkonstruktionssysteme sind spezielle Lösungen bei der Entwicklung interaktiver Programmierumgebungen [1]. Methoden der Planung (siehe z. B. [9]) können für die Strukturierung des Konstruktionsprozesses eingesetzt werden. Ein möglicher Ansatz besteht in der hierarchischen Verfeinerung von abstrakten Operatoren und Operanden im Sinne einer Top-Down-Konstruktion unter Beachtung von *Nebenbedingungen* (Constraints). Allerdings folgt nach den Erkenntnissen der kognitiven Psychologie der menschliche Entwurf von Algorithmen nicht einem strengen Top-Down-Schema, sondern integriert z. B. Modifikationen der Ablaufstruktur in verschiedenen Ebenen der hierarchischen Problemaufarbeitung [6].

Unser Programmkonstruktionssystem arbeitet regelbasiert mit einer variabel zu spezifizierenden Problemlösungsstrategie (Software-Architektur der *Expertensysteme*). Die Konstruktionsbasis, welche aus einer Regelmenge und einer Menge von Menü-Einheiten besteht, kann mittels eines speziellen Editors effizient modifiziert werden.

Mit diesem Programmkonstruktionssystem *EasyCARD* wurde in Zusammenarbeit mit der Spezialklinik des Regierungskrankenhauses (OMR Prof. Dr. sc. med. L. Kant) eine Nutzerschale für die Konstruktion von Programmen für die PC-basierte Auswertung von Echokardiogrammen entwickelt, welche beispielhaft mit einer vollständigen Konstruktionsbasis für den Themenbereich der Herz-



1 Demonstration eines speziellen Ansatzes zur Analyse von Echokardiogrammen: Die Bewegung zwischen Enddiastole und Endsystole kann unter speziellen Annahmen über den Bildaufnahme- und Analyseprozeß bewertet werden durch a) approximative Erfassung der beiden Silhouetten, b) Superpositionierung beider Silhouetten, c) Erzeugung von Radianten und d) Berechnung von Histogrammen für Merkmale, die auf der Grundlage dieser Radianten berechnet wurden.



2 Grafische Repräsentation einer Struktur, wie sie auf der rechten Seite einer Signatur-Struktur-Regel auftreten kann. Hier sind in jedem Knoten die Namen der (terminalen oder weiter zu verfeinernden) Operatoren eingetragen, mit denen diese Knoten bewertet sind. (Foto: Hess)

wandbewegungsanalyse gefüllt wurde (Titelbild und Bild 1).

Als Zielsprache wurde FORTRAN 77 unter Einschluß der IRIS-Prozeduren des Bildverarbeitungssystems von Data-Translation gewählt. In anderen Einsatzgebieten des Programmkonstruktionssystems wurden jeweils relevante (prozedurale) Zielsprachen gewählt [2], [3], [4], [5].

Die potentiellen Anwender eines Systems wie EasyCARD können in drei Gruppen gesehen werden:

(i) Als *Endnutzer* wollen wir z. B. Mediziner bzw. medizinisch-technische Angestellte bezeichnen, die eine nutzerfreundliche, flexible und an die Aufgabenklassen angepaßte Nutzerschale für die Konstruktion von Auswertungsprogrammen anwenden möchten.

(ii) *Zwischennutzer* sind Programmierer, die innerhalb einer Institution für Endnutzer Auswertungsprogramme bereitzustellen haben und die mit EasyCARD eine Schale für die Verwaltung und Konfiguration von Anwendungsprogrammen erhalten, die ihre Kontakte mit Endnutzern vereinfacht.

(iii) *Erstnutzer* sind Systementwickler, die für geschlossene Aufgabenklassen bei der Auswertung von Echokardiogrammen eine auf diese Aufgabenklassen zugeschnittene Software-Umgebung entwickeln möchten, in welcher ein Endnutzer im einfachen Dialog Programme konstruieren kann.

Für die mittels EasyCARD generierten Programme sind

(i) die Arbeit mit Patientendateien wahlweise

zu integrieren (und entsprechend zu spezifizieren),

(ii) die Ablaufstruktur der Bildanalyseprozesse zu konfigurieren (z. B. 2...10 Aufnahmen je Patient, Aufnahmeserien für Gruppen von Patienten, 2D- oder 3D-Objektmodellierung, 2D- oder 3D-Grafikausgabe etc.),

(iii) die Methodik der Merkmalsbestimmung zu fixieren (z. B. Auswahl geometrischer Konstruktionsverfahren, vgl. Bild 1),

(iv) die statistische Auswertung von gemessenen und abgeleiteten Merkmalen festzulegen (Auswertung für einzelne Patienten oder über Gruppen von Patienten, Auswahl der statistischen Verfahren u. a. m.) sowie

(v) die Formen der Resultatsausgabe zu bestimmen (Histogramme oder Listen, auf Drucker oder Display, an welcher Stelle im Gesamt Ablauf etc.).

Im Falle der Bereitstellung weiterer Konstruktionsbasen (z. B. Textanalyse für Bildsegmente oder die Analyse der Herzfunktion über einen gesamten Herzzyklus), sind die zu (i), (iv), (v) erarbeiteten Teillösungen weitgehend unverändert zu integrieren. Für die Lösung der unter (i)...(v) genannten Aufgaben ist der Konstruktionsprozeß auf die Erfüllung von Teilzielen auszurichten, welche durch die Herstellung vollständiger Abbildungen von abstrakten Operatoren oder Operanden in die Zielsprache definiert sind. Teilziele sind durch Bedingungen (Charakterisierungen des zu verfeinernden Operators oder der zu spezifizierenden Operanden, wobei hierzu Operatortyp-Hierarchien oder Datentyp-Hierarchien eingesetzt werden können [3], [5]) oder Nebenbedingungen charakterisiert. Als zu erfüllende Nebenbedingungen während eines Konstruktionsprozesses werden in [7] asymptotische Zeitkomplexitäten verwendet. Hierzu können z. B. ab-

strakte Operatoren, welche Spezifizierungen des allgemeinen Teile-und-Herrsche-Konzeptes [8] sind, mit der Zeitkomplexität $O(n \log n)$ als Vorgabe (Default) bewertet werden, da dieses Konzept „typischerweise“ auf diese Komplexität führt.

Derartige Komplexitätsbedingungen sind beim automatisierten Algorithmenentwurf in mathematisch-kombinatorisch ausgerichteten Gebieten wie der berechenbaren Geometrie angebracht [6], [7], [8]. Für Analyseprobleme in „breiter orientierten“ Anwendungsgebieten der Rechentechnik wie etwa der Echokardiografie sind Nebenbedingungen von größerer Bedeutung, welche die jeweilige Semantik eines abstrakten Operators charakterisieren. Dem System EasyCARD liegt ein Ansatz zugrunde, in welchem die Semantik eines Operators durch aussagenlogische Ausdrücke skizziert wird [3], [5].

2. Systembeschreibung

Ein Konstruktionsprozeß beginnt im Normalfall mit der Benennung der zu lösenden Aufgabe und endet mit der Ausgabe eines vollständig spezifizierten Auswertungsprogramms. Diese Ausgabe erfolgt wahlweise (i) auf Datei (z. B. kompiliert als bereitgestellte Lösung für den Routineeinsatz oder im FORTRAN-Quelltext als schnell erarbeitete Vorlage für spezifizierende Editierungen), (ii) mittels Drucker, (z. B. als Vorlage für eigene Programmearbeitungen) oder (iii) auf dem Display (z. B. bei Verwendung von EasyCARD als Tutor für computergestützte Auswertungen von Echokardiogrammen).

Während des Konstruktionsprozesses kann das bisher konstruierte Programm (auch bei bisher nur teilweiser Spezifizierung!) im Sinne eines Testlaufes gestartet werden. Die

IRIS-Bibliothek wird automatisch eingebunden. In den einzelnen Konstruktionsschritten werden auf der Grundlage der Nutzerantworten

(i) Kontrollstrukturen des Auswertungsprogramms hierarchisch fixiert, z.B. Bearbeitung mehrerer Bilder nach dem selben Grundablauf, Erzeugung von Ausdrucken an fixierter Stelle im Gesamtprozess, Statistik der Analyseergebnisse über Bildserien oder über Patienten sowie

(ii) Parameter gesetzt, wobei diese jeweils mittels Hilfstexten oder mittels Hilfsprozeduren auch erklärt werden können, z.B. Namen von Patienten-Dateien, Parameter der interaktiven Herzwandapproximation, Anzahl auszuwertender Silhouetten, Auswahl von Verfahren der Volumenberechnung.

Neben diesen Operationen während der Konstruktion eines Auswertungsprogramms

stehen Korrekturoperationen (Backtracking), die interaktive Strategie-Wahl der Konstruktion (Depth-First, Breadth-First oder individuelle Auswahl des als nächstes zu verfeinern Operator) oder Darstellungen des Konstruktionszustandes zur Verfügung.

Bei der Modifizierung von Konstruktionsbasen durch Erst- oder Zwischennutzer ist die Kenntnis der in EasyCARD eingesetzten Mechanismen erforderlich.

Konstruktionsschritte entsprechen der Anwendung von *Signatur-Struktur-Regeln*, wobei die linke Seite einer Regel, die *Signatur*, durch einen Datenkontext ausgezeichnet ist und die rechte Seite einer Regel, die *Struktur*, einer Programmstruktur (Ablaufplan, Bild 2) entspricht, deren (funktionale) Knoten durch Operatoren markiert sind, die entweder unmittelbar in FORTRAN zu interpretieren sind (*terminale Operatoren*) oder die weiter spezi-

fiziert werden müssen (*Ziel-Operatoren* bzw. weiter verfeinerbare Operatoren).

Den einzelnen Signatur-Struktur-Regeln (Bild 3) einer Konstruktionsbasis sind Ausführungsbedingungen zugeordnet, welche logische Verbindungen von Aussagen (der jeweiligen Aufgabenklasse bei der Auswertung von Echokardiogrammen) darstellen. Diese Aussagen werden über *Menü-Einheiten* der Konstruktionsbasis im Dialog mit dem Endnutzer abgeleitet. Eine Konstruktionsbasis wird durch eine Menge von Signatur-Struktur-Regeln und von Menü-Einheiten definiert.

Während der Programmkonstruktion erfolgt eine *Vorwärtsverkettung* der Signatur-Struktur-Regeln, wobei eine Hierarchie von Programmstrukturen aufgebaut wird. Diese Hierarchie ist vollständig spezifiziert, falls alle Ziel-Operatoren durch Strukturen spezifiziert sind. Gemäß gewählter Konstruktionsstrategie wird im einzelnen Konstruktionsschritt zunächst innerhalb der bisher generierten Hierarchie von Programmstrukturen ein zu spezifizierender Operator ausgewählt. Für diesen Operator werden gemäß Datenkontext alle passenden („verträglichen“, für formale Definitionen dieser Verträglichkeitsrelation auf der Grundlage von Typenhierarchien) Signaturen in der Konstruktionsbasis erfaßt [3], [5]. Falls keine Signatur paßt, so erfolgt ein automatisches Rücksetzen des Entwurfszustandes (Backtracking).

Die passenden Signaturen kennzeichnen die Konflikt-Menge des jeweiligen Konstruktionsschrittes. Die Auswahl der zur Spezifizierung einzusetzenden Signatur-Struktur-Regel erfolgt gemäß der Verträglichkeit mit den bisher im Nutzerdialog ermittelten Aussagen über die Programmieraufgabe. Im Falle einer noch unbestimmten Aussage, die in der Ausführungsbedingung einer Regel der Konflikt-Menge enthalten ist, wird eine diese Aussage betreffende Menü-Einheit aktiviert. Falls $n \geq 2$ Signatur-Struktur-Regeln als anwendbar erkannt werden, so werden $n-1$ Regeln für eventuell erforderliches „Backtracking“ reserviert.

Im Normalfall ist für eine Aufgabenklasse bei der Auswertung von Echokardiogrammen, wie die Analyse der Herzwandbewegung mittels zwei- oder dreidimensionaler Modelle, die Texturanalyse von Bildsegmenten oder die Analyse der Herzfunktion über einen gesamten Herzzyklus eine Konstruktionsbasis von etwa 150...300 Regeln zu erwarten, wobei die Strukturen in den Regeln im allgemeinen aus 3 bis 7 Knoten bestehen. Der Editor der Konstruktionsbasen verwendet Fenster- und Maustechniken (mit Grafik), erlaubt die Verwendung von Templates als Editiervorlagen und besitzt eine Schnittstelle zum Betriebssystem MS/DOS, über welche auch z.B. ein dem Nutzer bereits vertrauter Texteditor einbindbar ist.

3 Repräsentation einer Signatur-Struktur-Regel, wobei die Signatur durch die geerbten Argumente 1, 2, 4, 5 des Knotens 1 und die Struktur allein durch diesen Knoten (bewertet mit einem terminalen Operator: Umfahren zwischen Start- und Endpunkt) definiert ist.

```
Address pattern of rule: trace_si
Selection condition:   (approximation open_silhouette) AND
                      (frame default)
Signature:            frame, pntr, contur, ind
```

Vertex 1: Umfahren zwischen Start- und Endpunkt

```
Construction type:   terminal
Instruction fragment:
  call issetc(@frame@,@pntr@(9))
  @pntr@(5)=4096
  call cotrace(@frame@,@pntr@,@step@,@ind@,
              @contur@)
```

```
x
Flow type:           Aktion
Argument 1:          Bild-Frame-Nummer
Name:                frame
Dataflow type:       Variable
Data type:           INTEGER
Bounds:              0...4
Type of generation:  Vererbung
Number of father argument: 1
```

```
Argument 2: Feld von Systemzeigern
Name:                pntr
Dataflow type:       Variable
Data type:           INTEGER-ARRAY
Dimension:           (1,10)
Type of generation:  Vererbung
Number of father argument: 2
```

Argument 3: Schrittweite beim Umfahren der Kontur

```
Name:                step
Dataflow type:       Parameter
Data type:           INTEGER
Bounds:              1...10
Type of generation:  Nutzerabfrage
```

Help text:
Mit diesem Wert spezifizieren Sie die Sensitivität der interaktiven Kurven- erfassung.

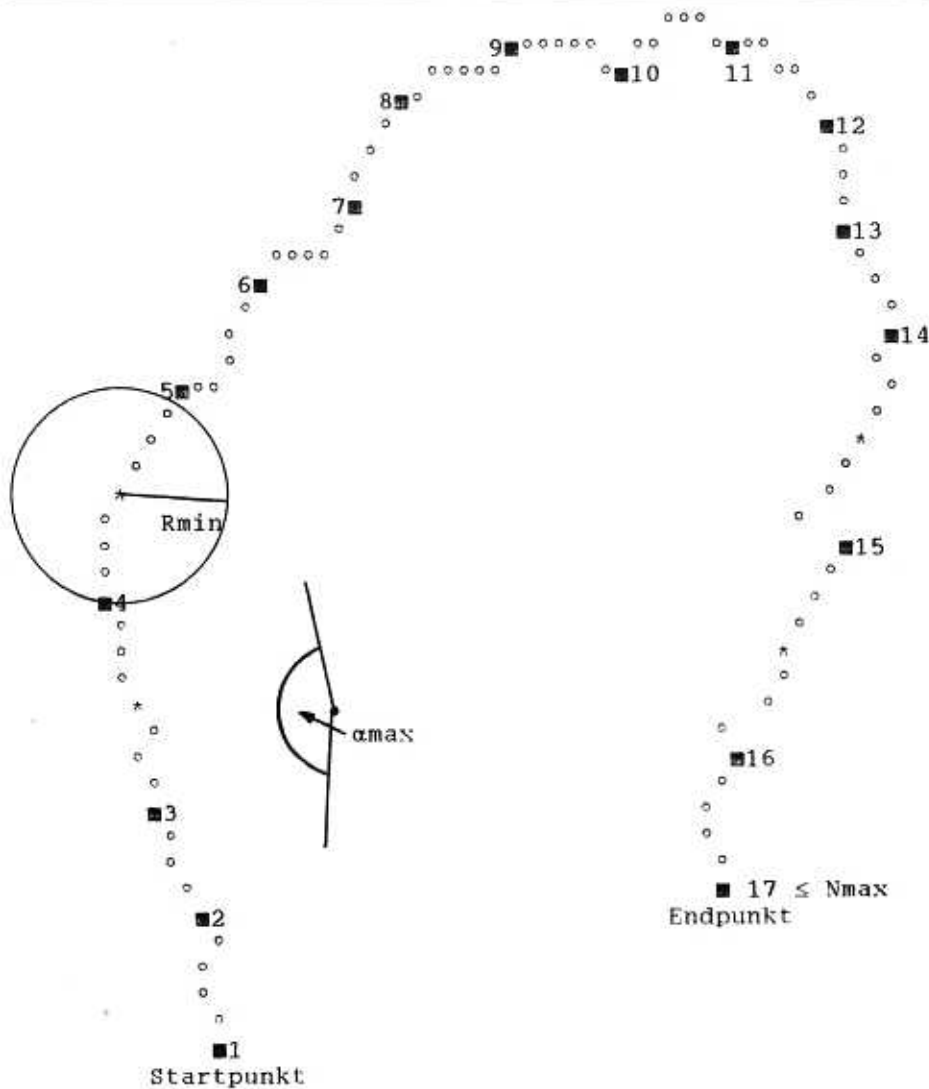
Help procedure: STEP.EXE

```
Argument 4: Kontur der Silhouette
Name:                contur
Dataflow type:       Variable
Data type:           INTEGER-ARRAY
Dimension:           (1,4096)
Type of generation:  Vererbung
Number of father argument: 3
```

Argument 5: Index der Silhouette

```
Name:                ind
Dataflow type:       Variable
Data type:           INTEGER
Bounds:              1...10
Type of generation:  Vererbung
Number of father argument: 4
```

Successor: TRUE-Nachfolger des Vaterknotens



3. Analyse der Herzwandbewegung

Die Analyse der Herzwandbewegung basiert auf Modellannahmen über die Bilderzeugung und über die Klassifizierung der verschiedenen Bewegungstypen. Diese Modellannahmen sind über den skizzierten Mechanismus der Nebenbedingungen im Konstruktionsprozeß zu beachten.

Der Bewegungsablauf der linksventrikulären Kontraktion kann auf der Grundlage der Analyse der systolischen Ejektion als *normal* klassifiziert werden, falls alle Punkte auf der inneren ventrikulären Oberfläche eine gleichförmige kozentrische, nach innen gerichtete Bewegung ausführen. Eine derartige koordinierte Kontraktion wird *Synergie* genannt. Anormale Bewegungsmuster (*Asynergie*) wie ungleichmäßige oder unkoordinierte ventrikuläre Kontraktionen werden gemäß Bewegungsmuster als *Akinesie*, *Dyskinesie* oder *Hypokinesie* klassifiziert.

Für die echokardiografische Beurteilung der Herzfunktion wird in der medizinischen Literatur eine Vielfalt von Methoden vorgeschlagen. Da für die Herzwandbewegung kein allgemeiner Standard verfügbar ist, kann (bisher) keine objektive Bewertung der unterschiedlichen Methoden erfolgen. Zum Beispiel liegt der in Bild 1 illustrierte Methode die Annahme zugrunde, daß die Berechnung

von Zentren der verschiedenen Silhouetten einer Superpositionierung dieser Silhouetten zugrunde gelegt werden kann. Die Silhouetten werden manuell (Maus oder Cursor-Tasten, sowohl positive oder negative Orientierung möglich) umfahren. Für die Superpositionierung sind verschiedene Typen von Zentren und Hauptachsen verwendbar. In *EasyCARD* werden diese Varianten während der Konstruktion des Programms durch den Nutzer spezifiziert.

Für die Approximation der manuell umfahrenen Silhouetten wurde in *EasyCARD* ein selbst-adaptives Verfahren entwickelt, welches durch die Spezifizierung von drei Initial-Parametern (Bild 4) während der Programmkonstruktion genügend Freiräume für Anpassungen durch den Endnutzer läßt. Durch eine möglichst geringe Maximalzahl N_{max} der Extrempunkte des approximierenden Polygonzuges wird die Zeiteffizienz der nachfolgenden Berechnungen verbessert. Der Radius R_{min} bestimmt den Minimalabstand zwischen zwei Extrempunkten des approximierenden Polygonzuges, wobei drei aufeinanderfolgende Extrempunkte einen Winkel unterhalb von $\alpha_{max} \leq 180^\circ$ definieren.

Die Darstellung der Längen- oder Flächenverhältnisse von Radianten (Bild 1) kann als zwei- (für 2 Silhouetten) oder dreidimensio-

4 In der verwendeten Approximationsprozedur *coappr* sind drei Parameter einzustellen: die Maximalzahl N_{max} der Eckpunkte des approximierenden Polygonzuges, der Initial-Radius R_{min} des zu verlassenden Kreisgebietes (der bei Überschreitung der Maximalzahl erhöht wird) und der durch drei aufeinanderfolgende Polygonzugpunkte zu unterschreitende Initial-Winkel α_{max} (der bei Überschreitung der Maximalzahl weiter reduziert wird).

nale (ab 3 Silhouetten) Grafik während der Programmkonstruktion spezifiziert werden (auf Display oder Drucker).

Für die während der Programmkonstruktion vorzunehmenden Entscheidungen wurden Hilfs-Prozeduren zur Unterstützung des Nutzers entwickelt, die z. B. die Generierung „zufälliger“ Silhouetten und die Demonstration verschiedener geometrischer Konstruktionen beinhalten. Für 2D-Merkmale werden u. a. konvexe Hüllen bzw. verschiedene „Hauptachsen“-Berechnungen (u. a. der Durchmesser eines einfachen Polygons) und für 3D-Merkmale verschiedene Volumenmodelle (z. B. zylindrische Scheiben) eingesetzt. Für die Bestimmung absoluter Merkmale (l in cm oder ml) ist auf der Grundlage einer Spezifizierung der Aufnahmebedingungen eine Kalibrierung vorzunehmen, welche z. B. einmalig oder für jede Aufnahme wiederholt vorzunehmen ist. Insgesamt wurde für den skizzierten Themenkreis der interaktiven Analyse von Silhouetten eine Bibliothek von Subroutinen (*cotrace*, *coappr* etc.) entwickelt, welche neben der IRIS-Bibliothek durch den Programmgenerator des Systems *EasyCARD* automatisch in die generierten FORTRAN-Programme eingebunden wird.

4. Schlußbemerkungen

Die weiteren Aktivitäten zur automatisierten Programmkonstruktion werden im Zentralinstitut für Kybernetik und Informationsprozesse der Akademie der Wissenschaften der DDR auf die volle Realisierung der in [3], [5] dargestellten Mechanismen zur weiteren Strukturierung des Konstruktionsprozesses (Inferenzmaschine) und der vertieften Charakterisierung der Semantik von abstrakten Operatoren und Operanden zur Strukturierung des Problemraumes ausgerichtet sein. Speziell zur Anwendung für die Echokardiografie sind neben der Analyse der Herzwandbewegung weitere Themengebiete durch komplette Konstruktionsbasen abzudecken. Das gegenwärtig vorliegende System *EasyCARD* arbeitet auf IBM PC/XT-AT-kompatiblen Rechnern, die über eine Festplatte verfügen. Für die vorliegende Version von *EasyCARD* ist eine Grafikkarte erforderlich. Eine monochrome Grafik (z. B. Hercules-Grafikkarte mit 720×350 Bildpunkten) ist ausreichend. Für das IRIS-System ist der Bildspeicher von Data Translation erforderlich. Prinzipiell könnte *Easy-Cardio* durch Modifizierung der Konstruktionsbasis auch auf ein anderes PC-basiertes Bildverarbeitungssystem ausgerichtet werden. Mit einer Farbgrafik (EGA) und einer Maus kann *EasyCARD* besonders nutzerfreundlich bedient werden. Die Nutzeroberfläche ist menüorientiert; es erfolgen Darstellungen von möglichen Aktio-

```

c      ..... Kalibrierung
142   continue
      call islmsk(12)
      if (IND1.eq.1) call cocali(FRAME,CALI)
c      ..... Umfahren zwischen Start- und Endpunkt
141   continue

      call issetc(FRAME,PNTR(9))
      PNTR(5)=4096
      call cotrace(FRAME,PNTR,STEP,IND1,
x          CONTUR)

c      ..... Polygonzug-Approximation einer Kontur
140   continue
c      ..... Approximation einer Silhouette
152   continue
      call coappr(PNTR,CONTUR,POLY,FEAT(IND1,1))
c      ..... grafische Repräsentation der Approximation

```

nen und von begleitenden Informationen in mehreren Fenstern, welche über Cursor-Tasten oder über Maus ausgewählt werden können. Die Darstellung von Programmstrukturen, Übersichten, Erklärungen, generierten Programmen oder Hilfs-Information in grafikfähigen Fenstern kann interaktiv angefordert werden.

Die Autoren bedanken sich bei Frau *Dr. med. E. Lieback* für die fachliche Zusammenarbeit.

Literatur

- [1] Interactive Programming Environments / Barstow, D. R.; Shrober, H. E.; Sandewall, E. (Eds.). – McGraw Hill, New York, 1984

5 Einfügung des in der Struktur in Bild 3 zur Markierung des (einigen) Knotens verwendeten Operators in ein konstruiertes FORTRAN-Programm. Durch den hierbei eingesetzten Programmgenerator sind unter anderem die vorgegebenen Default-Bezeichner der Argumente ggf. zu modifizieren. Die Kommentarzeilen können wahlweise aus der Regelbasis mit in den generierten Quelltext übernommen werden. Dabei entspricht die Anzahl der Punkte in einer Kommentarzeile der Tiefe des jeweiligen Operators im Lösungsbaum, der während der Programmkonstruktion erzeugt wird.

- [2] Automatisierte Programmkonstruktion (1) / Heße, R.; Klette, R. – ZKI-Information 3/1987, Akademie der Wissenschaften der DDR, Berlin
- [3] Knowledge based program construction (2) / Heße, R.; Klette, R. – ZKI-Information 3/1988, Akademie der Wissenschaften der DDR, Berlin
- [4] Knowledge based program construction for computer vision / Heße, R.; Klette, R. – In: J. New Gen. Comp. Syst. – 1 (1988) 1. – S. 63–85
- [5] Knowledge based program construction using domain hierarchies / Heße, R.; Klette, R. – to appear, Elsevier Publ.
- [6] Understanding and automating algorithm design / Kant, E. – In: IEEE Transact. on Software Engineering. – SE-11 (1985). – S. 1361–1374
- [7] Synthesizing algorithms with performance constraints / McCartney, R. D. – AAAI '87, Sixth Nat. Conf. on Artificial Intelligence, Seattle, July 13–17, 1987, Morgan Kaufmann. – S. 149–154
- [8] Top-down synthesis of divide-and-conquer algorithms / Smith, D. R. – In: Artificial Intelligence. – 27 (1985). – S. 43–96
- [9] Planning and Metaplanning (MOLGEN: Part 2) / Stefik, M. – In: Artificial Intelligence Journal. – 16 (1981). – pp. 141–169

Das Fachbuch

Theoretische Grundlagen der digitalen Bildverarbeitung

Voss, K. – Berlin, Akademie-Verlag 1988, 159 S., 68 Abb.

Es gab verschiedene Versuche, eine einheitliche theoretische Basis der Bildverarbeitung zu schaffen (Rosenfeld, Goldfarb, Matheron und Serra, Kovalevski...). Am weitesten ausgebaut ist der Ansatz von Matheron und Serra, wie er in den beiden Büchern „Image Analysis and Mathematical Morphology“ (I) 1982 und (II) 1988 dargestellt wurde. Die Popularität der dort dargestellten Methoden für parallele Bildverarbeitung zeigt, wie wichtig eine „durchgehende Theorie“ ist. Aber auch die Grenzen der in Fontainebleau geleisteten Arbeit wurde deutlich, speziell für die Bildanalyse und die Verknüpfung mit KI-Methoden.

Mit dem Buch von Prof. Voss (Friedrich-Schiller-Universität Jena) liegt nun ein weiterer Ansatz auf dem Tisch. Viele werden die entsprechende Artikelserie in „Bild und Ton“ gelesen haben. Allerdings ist das Buch mit dieser Serie nicht mehr zu vergleichen. Viel

Ballast wurde abgeworfen. Viel klarer und einfacher werden die Ergebnisse abgeleitet. Es wird dabei von den Erfordernissen der Praxis ausgegangen und entsprechend motiviert. Ganz anders als bei Matheron und Serra, die mit der Einbettung des Gitters in die Euklidische Ebene beginnen, geht Prof. Voss von der Punktnachbarschaft als Mengenrelation aus und betrachtet konsequent endliche Punktmengen. Er entwickelt seine Theorie von Nachbarschaftsstrukturen ausgehend über orientierte Nachbarschaftsstrukturen und homogene Nachbarschaftsstrukturen bis hin zu Gitterfunktionen und Gitterstrukturen. Die grundlegenden Formeln und Sätze (Knotensatz, Maschensatz, Eulersche Formel, Trennungssatz, Pick'sche Formeln) werden unter minimal notwendigen Voraussetzungen abgeleitet. Dies ist insbesondere im Zusammenhang mit den betrachteten Algorithmen interessant.

Allerdings könnte der Abschnitt „Topologische Maße“ durchaus noch erweitert werden, denn hier läßt sich an den „Hit-or-Miss-Kalkül“ von Serra und Matheron direkt anschließen. Der Abschnitt über „zufällige Mengen“ führt da eher weg vom Thema. Ebenfalls an dieser Stelle und vielleicht in ei-

nem speziellen Kapitel könnten die Grundlagen für morphologische Filter und Skelette in Verbindung mit entsprechenden Algorithmen gelegt werden. Gleiches ist auch zur Textur zu sagen.

Erst im vierten Abschnitt „Gitterstrukturen und Gitterfunktionen“ werden Abstände eingeführt. Abstandsdefinition und -messung sind natürlich die Grundlagen jeder praktischen Bildverarbeitung. Hier sind im Buch Anregungen für weitere Entwicklungen gegeben, und es tut sich ein breites Betätigungsfeld auf. Von einer fruchtbaren Bearbeitung dieses Feldes in der Zukunft wird die praktische Bedeutung und die Popularität der hier dargelegten Theorie abhängen, im Vergleich z. B. zur „mathematischen Morphologie“ von Serra und Matheron.

Das Buch ist sehr gut lesbar geschrieben und unterstützt das Festigen erworbenen Wissens durch eine Reihe von Übungsaufgaben. Es sollte von jedem gelesen werden, der sich mit der Entwicklung von bildanalytischen Methoden beschäftigt, denn es schafft Klarheit in den Grundlagen der digitalen Bildverarbeitung.

P. Hufnagl

Bestimmung der Farbanteile mehrfarbiger Druckvorlagen mit bildanalytischen Methoden¹⁾

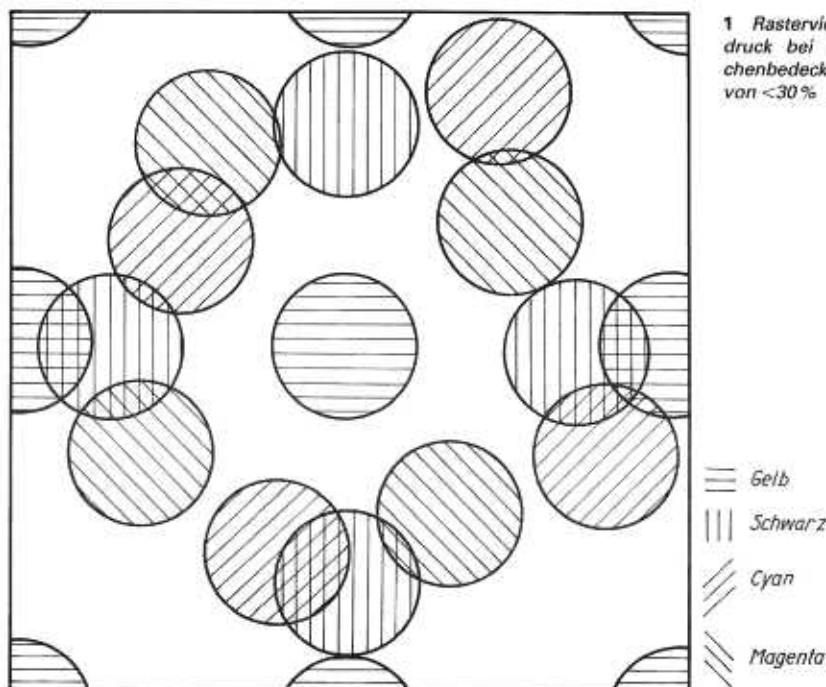
Dr. rer. nat. Wolfgang Uebel, Dipl.-Ing. Andrea Friedrich, Dipl.-Ing. Heribert Hoffmann,
Akademie der Wissenschaften der DDR, Zentralinstitut für Kybernetik und Informationsprozesse

Eine Automatisierung des Mehrfarbendruckprozesses wird in erster Linie unter den Aspekten der Qualitätserhöhung und Qualitätseinhaltung während des Druckprozesses und im Anfahrprozeß gefordert. Damit ist eine erhebliche Materialeinsparung verbunden, da bei der hohen Bogengeschwindigkeit von 5 bis 10 m/s eine Off-Line-Qualitätskontrolle stets große Ausschußquoten bedingt. Eine derartige Automatisierung verlangt einerseits eine schnelle Feststellung von relativ geringen Farbdruckfehlern und andererseits eine detaillierte Kenntnis über die quantitative und temporäre Wirkung der Veränderung der Druckparameter, um Qualitätsverschlechterungen frühzeitig zu erkennen und erfolgreich beeinflussen zu können. Die wesentlichsten Qualitätskontrollen sind im Hinblick auf Farbveränderungen, Tonen, Passerfehler, Folgen von Verschmutzungen u. ä. erforderlich. Die Automatisierung zwingt dabei zur Echtzeitmessung im Druckbild während des Druckprozesses ohne Entnahme eines Kontrollbogens. Neben der Feuchtmittelregulierung stellt die Farbgebungssteuerung die wesentliche Beeinflussung dar. Sie setzt die Ermittlung der Farbanteile in der Druckvorlage voraus, wobei die Messung direkt im Druckbild und nicht an einem seitlich angebrachten Kontrollstreifen erfolgen muß, um die tatsächlichen Farbanteile im Zusammendruck der Farbrasterpunkte in den einzelnen Zonen des Druckbildes zu erfassen.

Der Aufbau eines geeigneten Gerätesystems setzt die Schaffung der verfahrensmäßigen und algorithmischen Grundlagen der Farbanteilbestimmung voraus. Dies bildet den wesentlichen Inhalt der dargestellten Ergebnisse. Da die Beurteilung am fertigen Druckbild erfolgt, stellt die automatische Bildanalyse eine geeignete methodische Grundlage der automatisierten Qualitätssicherung im Druckprozeß dar.

1. Problembeschreibung und Druckbildmodell

Die Signale zur qualitätseinhaltenden Farbgebungssteuerung lassen sich aus dem Verhältnis der Farbanteile der Primärdruckfarben Cyan (c), Gelb (y), Magenta (m) und Schwarz (s) zu den Sollwerten eines als partikuläres Normal eingestuftes Vergleichsdrucks ableiten. Die Ermittlung der Farbanteile am fertigen Druckerzeugnis unmittelbar nach dem letzten Druckvorgang bildet somit die Grundlage für die gewünschte Qualitätskontrolle.



1 Rastervierfarbendruck bei einem Flächenbedeckungsgrad von $<30\%$

Zur Lösung der Aufgabe wird folgendes Druckbildmodell zugrunde gelegt:

Der Rastervierfarbendruck besteht aus Farbrasterpunkten, deren Fläche bei einem Flächenbedeckungsgrad von $<50\%$ als kreisförmig angenommen wird (Bild 1). Die Mittelpunkte der Farbrasterpunkte R_{ij} sind identisch mit den Mittelpunkten der Rasterquadrate (x_i, y_j) eines Rechteckrasters mit äquidistanten Rasterabständen, das heißt

$$\begin{aligned} x_i &= i \cdot x_0, i = 0, \dots, m \\ y_j &= j \cdot y_0, j = 0, \dots, n \end{aligned} \quad (1)$$

x_0 und y_0 sind durch Druckverfahren gegeben. In der Regel gilt $x_0 = y_0$ mit $100 \mu\text{m} \leq x_0 \leq 300 \mu\text{m}$. Diese Quadratraster der vier Primärfarben sind um feste Winkel gegeneinander verdreht. Die Winkel haben z.B. die Werte

$$\varphi_c = 15^\circ, \varphi_m = 75^\circ, \varphi_y = 0^\circ, \varphi_s = 45^\circ$$

mit einer Genauigkeit von $\pm 1^\circ$. In der Regel weisen die Quadratraster der Primärfarben untereinander einen zufälligen Versatz aufgrund von Passerfehlern auf. Mehrere Quadratraster (>100) bilden ein Meßsegment. Die Farbanteilbestimmung wird nur in ausgewählten Meßsegmenten vorgenommen, deren Auswahlbedingungen noch festzulegen sind (siehe Abschnitt 2.3.). Das Meßsegment wird bei der bildanalytischen Verarbeitung durch das Bildraster in quadratische Elemente (Pixel) unterteilt, liefert die Aufnahme kamera kein quadratisches Bildraster, so wird durch geeignete Maßnahmen (siehe Abschnitt 3.) das Bildraster quadratisch ge-

macht. Der absorbierte Strahlenfluß ist proportional zur Farbmenge, d.h. sowohl von der Fläche F der Farbrasterpunkte als auch von der Dickenverteilung $d(x, y)$ abhängig. Unter der Annahme einer konstanten Farbschichtdicke wird die Bestimmung der Farbanteile zunächst auf eine Bestimmung der Flächenbedeckung der einzelnen Farben zurückgeführt. Auf die Bestimmung der Farbschichtdicke wird am Ende des Abschnitts 2.2. eingegangen. Ursachen von Farbabweichungen können einmal drucktechnischer Natur sein, wie z.B. Farbdichteänderungen, Farbmengenänderungen, falsche Feuchtmittelführung, falsche Druckfarbenreihenfolge u. a. Die wesentlichsten Ursachen liegen jedoch nach [1] in Passerabweichungen, bedingt durch Ungenauigkeiten der Druckmaschine bzw. Dehnungen des Bedruckstoffes und in der Moiré-Bildung, die aber durch die Winkelung der Primärfarben auf ein nicht wahrnehmbares Maß reduziert wird.

2. Bestimmung des Flächenbedeckungsgrades der Primärfarben

Nach dem Grassmannschen Gesetz [2] wird jede Farbempfindung durch drei Bestimmungsgrößen eindeutig beschrieben. Sie bilden die Farbvalenz

$$\begin{aligned} X &= \frac{1}{k} \sum_{\lambda} S_{\lambda} \beta_{\lambda} \bar{x}_{\lambda} \\ Y &= \frac{1}{k} \sum_{\lambda} S_{\lambda} \beta_{\lambda} \bar{y}_{\lambda} \end{aligned} \quad (2)$$

¹⁾ Dieser Artikel erschien bereits in der Zeitschrift „messen-steuern-regeln“ 5/1989. Mit freundlicher Genehmigung der Redaktion wird er hier nachgedruckt.

$$Z = \frac{1}{k} \sum_{\lambda} S_{\lambda} \beta_{\lambda} \bar{z}_{\lambda}$$

$$\frac{1}{k} = \frac{100}{\sum_{\lambda} S_{\lambda} \bar{y}_{\lambda}}$$

wobei S_{λ} die spektrale Verteilung der Lichtquelle, β_{λ} die Remissionsfunktion der Körperfarbe und \bar{x}_{λ} , \bar{y}_{λ} , \bar{z}_{λ} die Normspektralkurven sind. Diese können dabei durch beliebige Spektralwertkurven eines anderen Primärvalenzsystems ersetzt werden. Beim Vierfarbendruck gibt es durch Bildung der Sekundär-, Tertiär- und Quartärfarben 16 Farbvalenzen, denen 16 Farbvalenzen (X_i, Y_i, Z_i) entsprechen. Diese 16 Farbvalenzen addieren sich im Auge zu einer Farbvalenz (X, Y, Z). Die Farbvalenzen der Teilfarben sind proportional ihrem Flächenanteil ψ_i an der Farbempfindung beteiligt, so daß nach [3], [4], [5] gilt:

$$\begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} = \psi_0 \begin{pmatrix} X_0 \\ Y_0 \\ Z_0 \end{pmatrix} + \psi_1 \begin{pmatrix} X_1 \\ Y_1 \\ Z_1 \end{pmatrix} + \dots \quad (3)$$

$$+ \psi_4 \begin{pmatrix} X_4 \\ Y_4 \\ Z_4 \end{pmatrix} + \psi_{12} \begin{pmatrix} X_{12} \\ Y_{12} \\ Z_{12} \end{pmatrix}$$

$$+ \psi_{13} \begin{pmatrix} X_{13} \\ Y_{13} \\ Z_{13} \end{pmatrix} + \dots + \psi_{34} \begin{pmatrix} X_{34} \\ Y_{34} \\ Z_{34} \end{pmatrix}$$

$$+ \psi_{123} \begin{pmatrix} X_{123} \\ Y_{123} \\ Z_{123} \end{pmatrix} + \psi_{124} \begin{pmatrix} X_{124} \\ Y_{124} \\ Z_{124} \end{pmatrix} + \dots$$

$$+ \psi_{234} \begin{pmatrix} X_{234} \\ Y_{234} \\ Z_{234} \end{pmatrix} + \psi_{1234} \begin{pmatrix} X_{1234} \\ Y_{1234} \\ Z_{1234} \end{pmatrix}$$

Da die Lage der Farbasterpunkte zueinander infolge der Passerschwankungen zufallsbedingt ist, lassen sich die ψ_i nach [3], [4] aufgrund eines Wahrscheinlichkeitsansatzes berechnen. Das Ergebnis ist die Neugebauer-Gleichung

$$\begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} = \quad (4)$$

$$(1 - \alpha_1) (1 - \alpha_2) (1 - \alpha_3) (1 - \alpha_4) \begin{pmatrix} X_0 \\ Y_0 \\ Z_0 \end{pmatrix} +$$

$$\alpha_1 (1 - \alpha_2) (1 - \alpha_3) (1 - \alpha_4) \begin{pmatrix} X_1 \\ Y_1 \\ Z_1 \end{pmatrix} +$$

$$(1 - \alpha_1) \cdot \alpha_2 (1 - \alpha_3) (1 - \alpha_4) \begin{pmatrix} X_2 \\ Y_2 \\ Z_2 \end{pmatrix} + \dots +$$

$$\alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_4 \begin{pmatrix} X_{1234} \\ Y_{1234} \\ Z_{1234} \end{pmatrix}$$

wobei die $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4$ die Flächenbedeckungsgrade der vier Primärfarben sind. Dieses System aus drei Gleichungen mit vier Unbekannten ist nicht lösbar. Die Hinzunahme einer 4. Spektralwertkurve bringt keine Lösung, da die Farbe Schwarz im gesamten sichtbaren Spektralgebiet eine gleichverteilte niedrige Remission aufweist. Jeder Beitrag zu Schwarz kann auch ein Beitrag zu den drei Buntfarben sein und umgekehrt. Das heißt, daß die Schätzung der Farbanteile allein durch spektrale Messungen im Meßsegment unmöglich ist. Auch im Infrarotbereich zeigen nur spezielle schwarze Farben eine signifikante Absorption.

2.1. Lösungsweg

Unter diesen Bedingungen wird als Lösungsweg die separate Bestimmung des Flächenanteils α_4 der Farbe Schwarz durch bildanalytische Methoden und damit Eliminierung der 4. Unbekannten α_4 in der Neugebauer-Gleichung angesehen. Zur bildanalytischen Bestimmung wird zur Bilderzeugung das gleiche Meßsegment, in dem die Farbvalenzen (X_i, Y_i, Z_i) gemessen werden, mittels einer CCD-Flächenkamera in drei Spektralbereichen digital aufgenommen und aus den drei Bildern der gesuchte Flächenanteil α_4 ermittelt. Eine Aussage über die Dicke der schwarzen Farbrasterpunkte ist nicht erforderlich, da Schwarz auch bei der geringstmöglichen Dicke das einfallende Licht fast vollständig absorbiert [1].

2.2. Bildanalytische Bestimmung des Flächenbedeckungsgrades der Farbe Schwarz

Das Abtasten der drei Farbauszugsbilder in den Spektralbereichen Rot, Grün und Blau mittels einer CCD-Flächenkamera erfolgt mit einer Auflösung von 18 $\mu\text{m}/\text{Pixel}$. Das Bildformat beträgt 128 \times 128 Pixel, so daß ein Meßsegment von 2,3 mm \times 2,3 mm erfaßt wird. Die Analogsignale werden in 64stufige Grauwerte (6 bit) gewandelt. Die Beleuchtung erfolgt mit Licht der Normlichtart C oder einer ähnlichen Charakteristik. Geeignet ist eine Xenonblitzbeleuchtung. Die Filterung muß in den für die drei Buntfarben typischen spektralen Absorptionsbereichen erfolgen. Im Idealfall entspricht die Transmissionskurve des Filters der Absorptionskurve der jeweiligen Buntfarbe. Jedoch sind ebenso schmalbandige Filter in für die jeweilige Absorption typischen Spektralbereichen geeignet, sofern die Filter eine ausreichende Durchlaßfähigkeit besitzen. Benutzt werden die Bandpaßfilter BPF 450/35c (blau), BPF 550/50c (grün) und BPF 625/60c (rot) vom Kombinat VEB Carl Zeiss JENA. Ihre Durchlaßfähigkeit ist >70%.

Es seien zunächst noch einige Definitionen vorangestellt.

Sei g_b die Menge aller Rasterpunkte des Blausatzes. Den Mengenelementen pg_b , den Pixeln des Bildes, sind die Grauwerte zugeordnet.

$$g_b = \{pg_b(i, j) : i = 1 \dots 128, j = 1 \dots 128\}$$

$$pg_b \in \{0, 1, \dots, 63\} \quad (5)$$

Entsprechendes gilt für die Menge g_g der Rasterpunkte des Grünsatzes und für die Menge g_r des Rotsatzes mit entsprechenden Werten pg_g und pg_r . Beim Vierfarbendruck mit den Farben c, m, y und s besteht die Menge g_i ($i \in \{b, g, r\}$) aus 16 Untermengen der Rasterpunkte der vier Primärfarben, der sechs Sekundärfarben, der vier Tertiärfarben, der Quartärfarbe sowie der Farbe w des Bedruckstoffes, d. h.

$$g_i = \{[c]; [y]; [m]; [s]; [cy]; [cm]; [cs]; [ym]; [ys]; [ms]; [cmy]; [cms]; [yms]; [cys]; [cmys]; [w]\} \quad (6)$$

Zum Beispiel ist [c] die Menge aller derjenigen Pixel, die nur der Farbe Cyan entsprechen. Dabei werden Digitalisierungseffekte unberücksichtigt gelassen.

Bei der Binarisierung eines Grauwertbildes g , mit einer Schwelle th_k , entsteht die binäre Menge

$$b_i = \{pb_i(i, j) : i = 1 \dots 128, j = 1 \dots 128\}$$

$$pb_i \in \{0, 1\}, 1 \in \{b, g, r\} \quad (7)$$

Des Weiteren werden alle Elemente mit $pb_i = 0$ zur Untermenge [w] zusammengefaßt, so daß die übrigen 15 Untermengen nur noch Elemente $pb_i = 1$ enthalten. Je nach Wahl der Schwelle werden die Untermengen verschieden mächtig oder auch leer sein.

Schließlich sei folgende Verknüpfung definiert:

Die Verknüpfung $b_k \oplus b_l$ der binären Mengen b_k und b_l ergibt eine Menge $b_{k,l}$, deren Elemente $pb_{k,l}(i, j) = 1$ genau dann sind, wenn $pb_k(i, j) = 1$ und $pb_l(i, j) = 1$ gilt.

Zur Bestimmung des Flächenbedeckungsgrades der Farbe Schwarz werden zunächst die Schwerpunkte der schwarzen Farbrasterpunkte ermittelt und als Objektliste abgespeichert. Zu diesem Zweck sind die drei Farbauszugsbilder so zu binarisieren, daß

$$b_b = \{[y]; [s^*]; [cmy]; [cy]; [my]\}$$

$$b_g = \{[m]; [s^*]; [cmy]; [cm]; [my]\} \quad (8)$$

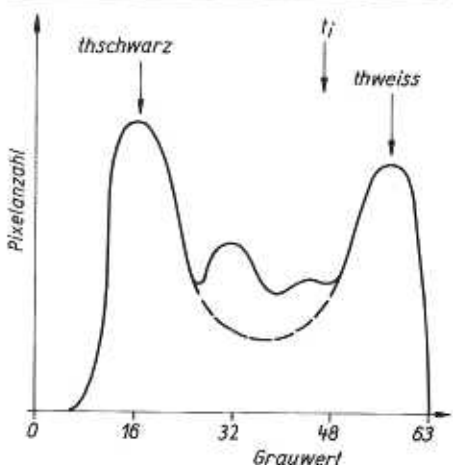
$$b_r = \{[c]; [s^*]; [cmy]; [cy]; [cm]\}$$

mit $[s^*] = \{[s]; [cs]; [ms]; [ys]; [cms]; [cys]; [mys]; [cmys]\}$ gilt. Das ist stets möglich, da die Transmissionscharakteristiken der verwendeten Filter den Absorptionscharakteristiken der zugehörigen komplementären Druckfarben entsprechen. Die Bestimmung der geeigneten Binarisierungsschwellen erfolgt aus den Histogrammen, indem die Lage des zur Farbe Schwarz gehörigen Maximums als Schwelle th_{schwarz} verwendet wird (Bild 2). Die Verknüpfung

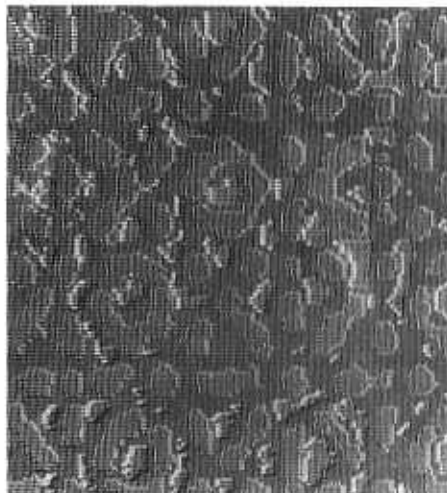
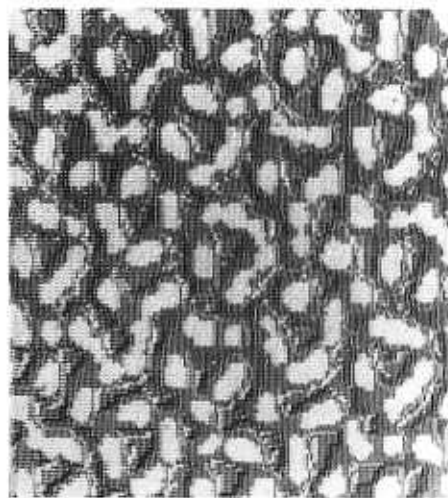
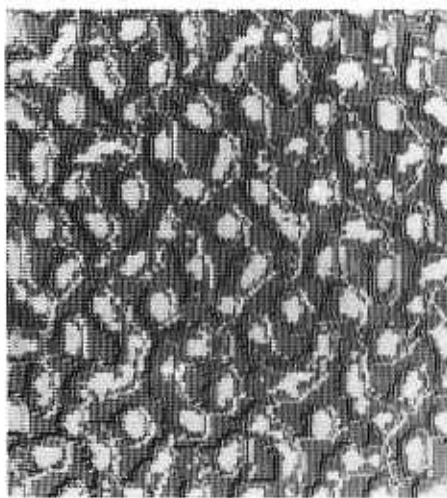
$$b_s = b_b \oplus b_g \oplus b_r \quad (9)$$

ergibt eine Menge, die nur noch aus den Untermengen

$b_s = \{[s^*]; [cmy]\}$ besteht. b_s enthält Binärobjekte, deren Schwerpunkte den Schwerpunkten der schwarzen Farbrasterpunkte entsprechen. Bild 3 zeigt als Beispiel die drei Farbauszugsbilder g_b, g_g, g_r , sowie das Verknüpfungsbild b_s .



2 Typisches Grauerthistogramm eines Farbauszugsbildes (gestrichelt bei Vorlage schwarzer Farbrasterpunkte; als Beispiele sind die Schwellen th_{schwarz} , $th_{\text{weiß}}$ - Grauwertmaximum des Bedruckstoffes - und t_i , $i \in \{b, g, r\}$, angegeben)



3 Farbauszugsbilder g_b , g_g und g_r eines Druckes mit Flächenbedeckungsgraden von 30% Cyan, 30% Magenta, 30% Gelb und 30% Schwarz sowie das Verarbeitungsergebnis b_s .

fungsergebnis b_s . g_r in einer Falschfarbendarstellung sowie b_s zeigt auch die 4. Umschlagseite in der oberen Reihe, links und rechts. Die Binärobjekte werden mit Hilfe eines Objektisolierungsverfahrens (Zeilenkonzidenzverfahren) ermittelt, indem während der Markierung der Einzelobjekte im Bild deren Koordinaten des umschreibenden Rechtecks i_{min} , i_{max} , j_{min} , j_{max} und deren Fläche f mit berechnet werden. Die Koordinaten des umschreibenden Rechtecks gestatten eine Schätzung des Schwerpunktes mit ausreichender Genauigkeit nach

$$\begin{aligned} i_s &= (i_{max} - i_{min})/2 \\ j_s &= (j_{max} - j_{min})/2 \end{aligned} \quad (10)$$

Mit den Merkmalen i_{min} , i_{max} , j_{min} , j_{max} , f werden die Einzelobjekte nach Fläche und Lage klassifiziert, so daß nur noch Objekte mit $f \geq 2$ und einem Randabstand von mindestens drei Pixel in einer Objektliste abgespeichert werden.

Dieser Algorithmus zur Schwerpunktermittlung ist nicht zur Bestimmung des gesuchten Flächenbedeckungsgrades durch Verwendung höherer Schwellen geeignet, da mit Erhöhung der Binarisierungsschwelle $t_{schwarz}$ weitere Untermengen zu b_s ($l = b, g, r$) hinzukommen, die bei der Verknüpfung zu b_s nicht beseitigt werden. Insbesondere liefern die Überdeckungen der Farben Cyan

und Magenta sowie Cyan und Gelb abweichend vom Idealfall Grauwerte im Bereich der Farbe Schwarz.

Aus diesen Gründen ist ein Algorithmus entwickelt worden, der in Anlehnung an die Algorithmen zum Gebietswachstum (Region-Growing) als „bedingtes Gebietswachstum“ bezeichnet werden soll. Ausgangspunkt sind die in der Objektliste vorliegenden Schwerpunkte der schwarzen Farbrasterpunkte. In konzentrischen Pixelringen um den Schwerpunkt (Bild 4) werden alle Pixel in den drei Farbauszugsbildern g_b , g_g und g_r auf die Erfüllung der Bedingungen

$$\begin{aligned} pg_b(i, j) &\leq t_b \\ pg_g(i, j) &\leq t_g \\ pg_r(i, j) &\leq t_r \end{aligned} \quad (11)$$

überprüft. Die Schwellen t_b , t_g und t_r kennzeichnen den Grauwertübergang zwischen dem schwarzen Farbrasterpunkt und dem Bedruckstoff. Der Algorithmus prüft sequentiell die Pixel vom inneren zum äußeren Ring und zählt alle Pixel bis zur erstmaligen Verletzung einer der obigen Bedingungen. Alle Pixel, die die obigen Bedingungen noch erfüllen und innerhalb des Ringens liegen, in dem der Abbruch erfolgt, werden mitgezählt. Diese Zahl repräsentiert die gesuchte Fläche, aus der der Flächenbedeckungsgrad in % aufgrund der bekannten Geometrie der Farb-

rasterpunktanordnung berechnet wird. Der Wachstumsprozeß wird somit nicht bis zur vollständigen Segmentierung des Bildes fortgesetzt, sondern bricht aufgrund der Bedingungen vorher ab. Die Anwendung erfolgt auf alle Schwerpunkte der Objektliste. Aus den einzelnen Flächen (in der benutzten Auflösung sind es 100 bis 120 Objekte) wird unter Beseitigung extremer Differenzen der Mittelwert berechnet. Die Schwellen t_b , t_g und t_r sind aus den jeweiligen Histogrammen ableitbar. Sie kennzeichnen den Wendepunkt (Nulldurchgang der 2. Ableitung) in der aufsteigenden Flanke des zum Bedruckstoff gehörenden Histogrammpeaks (Bild 2). Das beschriebene Verfahren macht folgende Voraussetzungen an die Auswahl des Meßsegmentes:

- Die schwarzen Farbrasterpunkte müssen isoliert sein und mindestens an einer Stelle eine gemeinsame Kante mit dem Bedruckstoff haben. Diese Voraussetzung ist erfüllt, wenn der Flächenbedeckungsgrad $\leq 50\%$ ist und im Rundraster gedruckt wird.

- Innerhalb des Meßsegmentes wird Farbhomogenität angenommen, da über alle Flächenwerte der Farbrasterpunkte gemittelt wird.

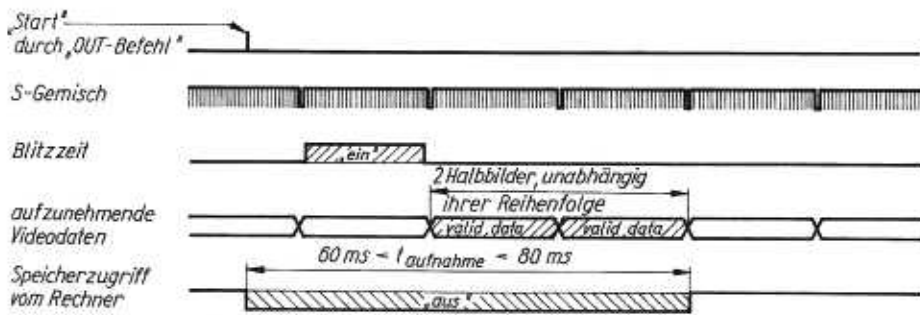
Da drucktechnisch bedingte Über- und Unterfärbungen sowohl die Dicke als auch den Flächenbedeckungsgrad beeinflussen, ist für eine genauere Farbanteilbestimmung auch eine Schätzung der Farbschichtdicke notwendig. Der bildanalytische Zugang gestattet eine solche Dickschätzung der Buntfarben über den mittleren Grauwert der Pixel der Untermengen $[c]$, $[m]$ und $[y]$. Die Meß-

			5	5	5					
		5	4	4	4	5				
	5	4	3	3	3	4	5			
	5	4	3	2	2	2	3	4	5	
5	4	3	2	1	1	1	2	3	4	5
5	4	3	2	1	5	1	2	3	4	
5	4	3	2	1	1	1	2	3	4	5
	5	4	3	2	2	2	3	4	5	
		5	4	3	3	3	4	5		
			5	4	4	4	5			
				5	5	5				

4 Pixelringe zum Algorithmus „bedingtes Gebietswachstum“

Tabelle: Beispiele für bildanalytisch (bil) ermittelte und berechnete (ber) Flächenbedeckungsgrade der vier Primärfarben Cyan (c), Gelb (y), Magenta (m) und Schwarz (s) im Vergleich mit mikroskopisch (mik) bestimmten Werten

Druckbeispiel	fläche	% Schwarz		Cyan		Gelb		Magenta	
		mik	ber	mik	ber	mik	ber	mik	ber
c				32	32				
y						40	40		
m								35	34
s		31	31						
y + m						35	37	33	32
y + s		31	30			45	43		
c + y + m				32	27	32	34	20	19
c + m + s		27	27	37	33			26	26
c + y + m + s		26	25	33	31	33	31	22	23



5 Zeitlicher Verlauf ausgewählter Signale während einer Bildaufnahme

genauigkeit wird vom Grauwertumfang der Pixel bestimmt. Durch logische Verknüpfungen von geeignet binarisierten Bildern können die monochromatischen Pixelmengen [c], [m] und [y] ermittelt werden.

2.3. Experimentelle Resultate

Mit Hilfe des im 3. Abschnitt beschriebenen Experimentalsystems wurden am unbewegten Druckbogen die in der Tabelle aufgeführten Flächenbedeckungsgrade für verschiedene Überdeckungen ermittelt. Zum Vergleich sind die mikroskopisch ermittelten Werten gegenübergestellt. Die Ungenauigkeit der Reproduzierbarkeit des bildanalytisch berechneten Flächenbedeckungsgrades der Farbe Schwarz konnte mit <1% bestimmt werden. Weitere Resultate werden in [10] und [11] dargestellt.

3. Hardware des Experimentalsystems

Das Bildaufnahmesystem besteht aus einem Aufnahmekopf und einem Videoeingabe- und Videospeichermodul in Form einer Erweiterungskarte für einen 16-bit-PC. Der Aufnahmekopf enthält die Beleuchtungseinrichtung, bestehend aus einem Xenonblitzgerät mit Strahlfokussierung, und Fotodioden zum Messen der drei Komponenten der Farbvalent des beleuchteten Meßsegmentes sowie zum Erfassen der Beleuchtungsstärke am Meßobjekt als Referenzwert. Eine CCD-Flächenkamera mit Objektiv zur Aufnahme der drei digitalen Farbauszugsbilder ist fest mit dieser Einheit verbunden. Weiterhin befinden sich am Aufnahmekopf die nachgeschalteten Analogverstärker für die Fotodioden sowie eine galvanische Entkopplung zum Auslösen des Lichtblitzes durch den PC. Von der CCD-Kamera gelangt außer dem Videosignal noch der Bildpunktakt zum Bildeingabe- und Bildspeichermodul. In Verbindung mit zwei programmierbaren 4-bit-Vorzählern können durch den Bildpunktakt in Horizontalrichtung sowie durch die abgetrennten Horizontalsynchronimpulse in Vertikalrichtung die Anfangskoordinaten des aufzunehmenden Meßsegmentes festgelegt werden. Das Bildpunktmittennaster der verwendeten CCD-Matrix besitzt ein Seitenverhältnis von 5:3 in Horizontalrichtung. Um eine Annäherung an ein quadratisches Bildpunktraster zu erzielen, werden bei der Aufnahme in den Halbbildern Zeilen entsprechend so ausgeblendet, daß bei einer Vollbildwiedergabe jede dritte Zeile fehlt. Durch diese Korrektur erhält man ein hinrei-

chendes Seitenverhältnis von 10:9. Das Videosignal wird mit dem Bildpunktakt über einen 6-bit-AD-Wandler digitalisiert. Die Referenzspannung für die maximale Videoamplitude ist über einen 6-bit-DA-Wandler programmierbar. Der Bildspeicher besitzt eine Kapazität von 16 Kbyte, wobei für jeden Bildpunkt 1 byte reserviert ist. Um ein Einschreiben bei einer Bildpunktfrequenz von etwa 7,2 MHz zu ermöglichen, werden zwei aufeinanderfolgende Bildpunkte parallel abgespeichert. Durch Nutzen eines aus dem Synchrongemisch generierten Halbbildsignals werden bei einer Aufnahme zwei aufeinanderfolgende Halbbilder im Videospeicher als Vollbild verschachtelt abgelegt. Außer bei Bildaufnahmen ist der Bildspeicher direkt im Adreßraum der 8086-CPU zum Beschreiben oder Lesen ansprechbar.

Die Meßwerte der Komponenten der Farbvalenz und der Beleuchtungsstärke sind über Eingabeports mit jeweils 10 bit Auflösung vom PC aufrufbar.

Den zeitlichen Zusammenhang einiger wichtiger Komponenten des Experimentalsystems bei einer Bildaufnahme zeigt Bild 5.

Kompaktplotter Robotron K 6416

Der Robotron K 6416 aus dem VEB Kombinat Robotron wird vorwiegend in Forschung und Entwicklung, Konstruktion und Projektierung genutzt. Er findet jedoch auch in den verschiedenen Bereichen der Wirtschaft, z. B. im Maschinenbau, Bau- und Verkehrswesen ebenfalls Anwendungsgebiete, wo eine bildliche Aussage komplizierter Informationen verständlicher dargestellt werden kann. Nicht zuletzt wird er innerhalb der Laborautomatisierung und der Büroautomatisierung z. B. für Geschäftsgrafiken eingesetzt. Die Auflösung beträgt 0,01 mm.

Der Kompaktplotter Robotron K 6416 ist ein Rollenplotter für die Zeichenformate ISO A3/A4 und ANSI A/B und besitzt eine Zeichengeschwindigkeit von 300 mm/s. Durch erweiterten Randmodus können technische Zeichnungen mit standardgerechter Größe der Umrandungen und des Schriftfeldes erzeugt werden. Es können sowohl weiße und transparente Zeichenpapiere als auch Zeichenfo-

Danksagung

Die Autoren danken besonders Herrn Prof. Dr. sc. techn. Klaus Fritzsche für die ständige Betreuung dieser Arbeit sowie viele Hinweise und Diskussionen.

Literatur

- [1] Die Entstehung des Farbeindrucks bei der autotypischen Farbmischung / Häuser, F. - Dissertation Universität Bonn, Institut für Kartographie und Topographie, 1982
- [2] Farbmetrik und Farbfernsehen / Lang, H. - Oldenburg-Verlag, München/Wien, 1978
- [3] Die theoretischen Grundlagen des Mehrfarbendrucks / Neugebauer, H. E. J. - In: Zeitschr. f. wiss. Photographie, Photochemie und Photochemie. - 36 (1937) 4. - S. 73-89
- [4] Theorie des Vierfarbendrucks mit einem Schwarzdruck / Neugebauer, H. E. J. - In: Zeitschr. f. wiss. Photographie, Photochemie und Photochemie. - 36 (1937) 8/9. - S. 169-170
- [5] Etwas zum Farbdruck / Scheuter, K. R. - In: Druckspiegel. - (1979) 2. - S. 180-193
- [6] Grenze der Rastertechnik und Neubeginn (vom amplituden- zum frequenzmodulierten Bildaufbau / Scheuter, K. R. - In: Der Druckspiegel DRUPA. - (1986). - S. 490-497
- [7] Informationen übertragen und drucken - Lehr- und Arbeitsbuch für das Berufsfeld Drucktechnik / Baufeldt, U.; Dorra, M.; Rösner, H.; Scheuermann, J.; Walk, H. - Verlag Beruf + Schule, Itzehoe, 1985
- [8] Einführung in die Farbmetrik / Richter, M. - Sammlung Götschen-de Gruyter Nr. 2808, Berlin, 1976
- [9] Zusammenhang zwischen Extinktion bzw. Transmission und Remission streuender Farbaufgaben auf weißem Untergrund / Hoffmann, K. - In: Farbe und Lack. - 76 (1970) 7. - S. 665-673
- [10] Determination of colour dot ratio in multi-colour printing by means of picture analysis / Friedrich, A.; Uebel, W.; Hoffmann, H. - In: Proc. CAIP '89, Leipzig, 1989
- [11] Bestimmung der Farbanteile mehrfarbiger Druckvorlagen mit bildanalytischen Methoden / Uebel, W.; Friedrich, A.; Hoffmann, H. - In: messen-steuern-regeln. - 32 (1989) 5

lien, einschließlich Projektionsfolien, mehrfarbig beschriftet werden.

Als Zeichenwerkzeuge kommen Tintenstifte mit Faser- und Plastspitze und Tuscheröhrchen zum Einsatz. Das Stiftkarussell kann für den programmgesteuerten Wechsel gleichzeitig acht Zeichenwerkzeuge unterschiedlicher Farbe oder Strichstärke aufnehmen. Der Antrieb der Papiertransportrollen, des Stiftwagens und des Stiftmagazins erfolgt über Schrittmotoren.

Durch den 14KByte-Datenpuffer kann ein großer Teil der zu zeichnenden Grafiken sofort vollständig vom Computer in den Plotter übertragen werden, so daß der Computer während des Plottens bereits für die nächste Ausgabe zur Verfügung steht.

Entwicklung von Texturanalysemethoden für die Fertigwarenschau in der Bekleidungsindustrie

Prof. Dr. sc. techn. Klaus Fritzsch, Dr. rer. nat. Ulrich Rösler, Akademie der Wissenschaften der DDR, Zentralinstitut für Kybernetik und Informationsprozesse; Ing. I. Tufiş, Research Institute for Computer Technique and Informatics, Bukarest

1. Texturanalyse für die visuelle Inspektion

Eine Textur wird als eine flächige, bildhafte Struktur aus elementaren Gebilden verstanden, die im geometrischen Sinne einander ähnlich sind oder nach einem einheitlichen deterministischen oder statistischen Bildungsgesetz aufgebaut sind bzw. zueinander in Beziehung stehen. Sie ist in jedem Fall – trotz der lokalen Strukturierung – innerhalb des Gesamtbildes oder innerhalb von Bildregionen als homogen anzusehen.

Die Texturanalyse wird mit Hilfe von statistischen und strukturellen Methoden durchgeführt. Nur selten werden die beiden Zugänge kombiniert angewendet [1].

Die statistische Texturanalyse basiert auf der Auswertung von Grautonlängen, Histogrammen, Paarhäufigkeitsmatrizen u. ä. Die daraus abgeleiteten Parameter werden in Merkmalvektoren zusammengefaßt. In den statistischen Kenngrößen ist keine Information über geometrische Parameter der Objekte in dem für die Mitteilung vorgegebenen Bildsegment enthalten. Deshalb können auch im allgemeinen aus der Lage der Vektoren im Merkmalraum keine Rückschlüsse auf die geometrische Struktur einer Textur gezogen werden. Somit ist der statistische Zugang vor allem bei der Diskrimination von Texturen angezeigt.

Beim strukturellen Zugang wird die Textur durch Texturelemente (Primitives) und deren räumliche Relation beschrieben. Texturelemente sind z. B. Kanten, Ecken, lokale Gebiete gleicher Grautons oder gleicher Farbe. Die strukturelle Texturbeschreibung ist reichhaltiger als die statistische, wird allerdings aufgrund der höheren Komplexität nur dann angewandt, wenn sich die statistischen Methoden als unzureichend erweisen.

2. Automatische Inspektion von Textilien

Die Inspektion von Textilien vor der Verarbeitung wird als Fertigwarenschau bezeichnet. Zu ihrer Automatisierung werden Texturanalyseverfahren entwickelt.

Bei den Texturen in Bekleidungsstoffen lassen sich drei Typen unterscheiden:

- Texturen aufgrund der für Stoffe charakteristischen Bindungsart und der endlichen Dicke des Fadenmaterials (Bindungstextur);
- Feinmusterung (in der Ausdehnung eini-

ger Fäden sowohl im Schuß- als auch in Kett- richtung) bei Atlas- und Köberware;

- Grobmusterung (größere Bildregionen mit homogener Bindungstextur bzw. Feinmusterung), zumeist rechteckig oder parallelogrammartig.

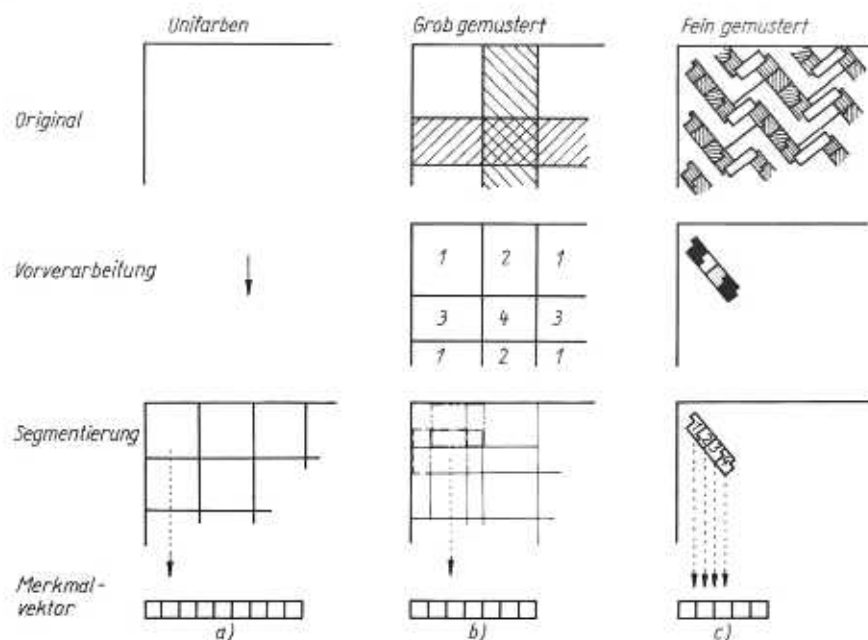
Je nach der Art der Textur und der Aufgabenstellung sind unterschiedliche Inspektionsverfahren einzusetzen. Zur Erzielung eines befriedigenden Nutzen-Aufwand-Verhältnisses wird bei der Entwicklung visueller Inspektionsmethoden die verfügbare Apriori-Information genutzt, um entsprechende Modelle vorzugeben, zum Beispiel die oben angegebenen Texturtypen bzw. vorkommenden Defektklassen. Es lassen sich im wesentlichen drei grundlegende Aufgaben unterscheiden:

- a) Feststellung von Abweichungen von der Solltextur, die als Prototyp vorgegeben wird (Defektdetektion);
- b) Klassifikation der Defekte bei bekannter Solltextur, d. h. in Abhängigkeit vom Typ der Textur;
- c) Klassifikation der Defekte unabhängig von der aktuell vorliegenden Textilie, was im allgemeinen mit der Feststellung der Ursache der Texturabweichung einhergeht.

Die Fehlerursachen lassen sich im Webfaden selbst, im Webvorgang oder im Veredelungsprozeß des textilen Flächengebildes lo-

kalisieren. Voraussetzungsgemäß müssen sie sich als Störung oder Änderung in der Textur des entsprechenden Bildes repräsentieren. Ein großer Teil der gegenwärtigen Forschungsaktivitäten bezieht sich auf die Aufgabenklasse a). Es zeigt sich jedoch, daß dies nicht bei allen Fehlern zu den erforderlichen Erkennungssicherheiten führt. Werden zur besseren Detektion die Schwellen für solche Fehler sehr niedrig gewählt, werden diese häufig auch an eigentlich fehlerfreien Stellen angezeigt (falscher Alarm). Die Situation läßt sich verbessern, indem zur Aufgabenklasse b) übergegangen wird. Die Lösung besteht dann beispielsweise in einem zweistufigen Prozeß¹⁾. In der ersten Stufe erfolgt eine Grobfehlererkennung gemäß a). In der zweiten Stufe wird an den Fehlerstellen der ersten Stufe eine Fehlerklassifikation versucht – dies erfordert naturgemäß einen höheren Aufwand – und ein Defekt nur dann angezeigt, wenn die Fehlerklasse ermittelt werden konnte. An dieser Stelle ist dann eine Rückweisung im Sinne der Klassifikationstheorie kein Fehler.

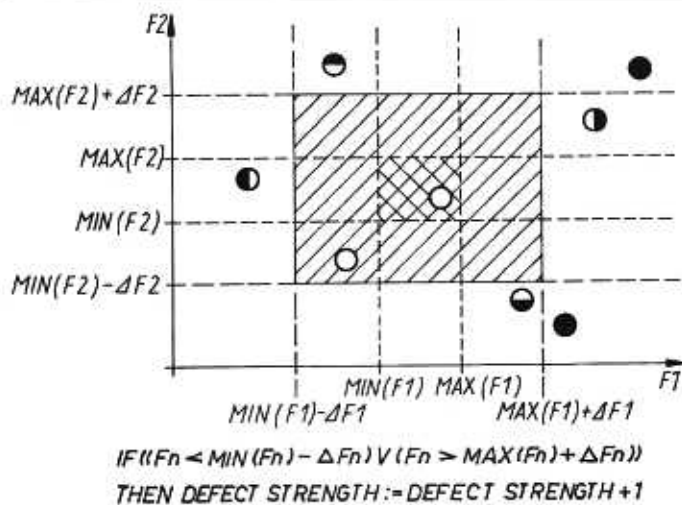
Im Bild 1 ist die Herangehensweise in der Reihenfolge des algorithmischen Aufwandes veranschaulicht. Für die Lösung der Aufgaben der automatisierten Warenschau bei Bekleidungsstoffen ist es nicht erforderlich, die Bindungstextur räumlich aufzulösen. Das be-



1 Verfahrensvarianten für die Texturanalyse bei Stoffen: a) Ermittlung der Merkmalvektoren für jedes Analysefragment bei unifarbene Stoffen; b) Ermittlung der Merkmalvektoren aus den sich überlappenden, mit unterschiedlichen Rändern gekennzeichneten Analysefragmenten bei grob gemusterten Stoffen; c) Kontraststeigerung, Regionfindung und Ermittlung der regionenspezifischen Merkmalvektoren bei feingemusterten Stoffen.

¹⁾ Nach Martin, Forschungsinstitut für Faser- und Textiltechnologie, wird eine ähnliche zweistufige Vorgehensweise auch bei der Inspektion der Rohware in den Weberien für sinnvoll gehalten.

²⁾ Die Idee der Überlappung der Segmente zur unkomplizierten Segmentierung bei gemusterten Stoffen stammt von S. Waack, Institut für Mathematik der Akademie der Wissenschaften der DDR



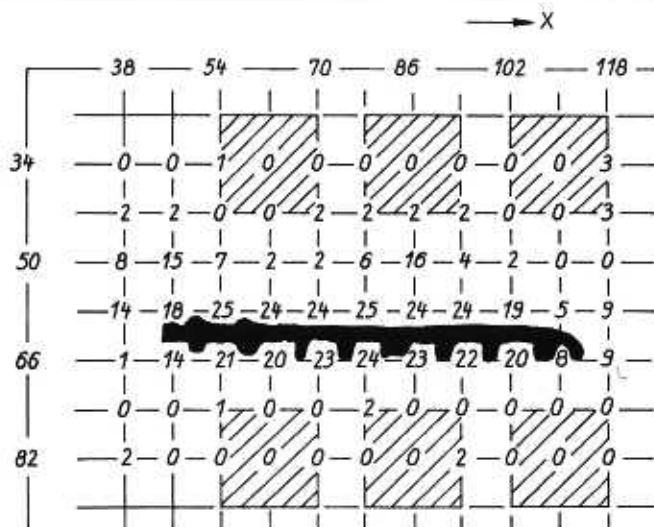
2 Parallelepipedklassifikator zur Bewertung eines Fehlers für zwei Dimensionen

Enhance 3	
Med - Min OR Med = Max	
+ Enhance 2	
- X - Med > X - Min	
+ X := Min	
- X - Med > X - Max	
+ X := Max	
- Vertex	
+ X := Med	
- Enhance 2	

Enhance 2	
X - Min < X - Max	
+ X := Min	
- X := Max	

Vertex	
loop over 8-neighborhood of x	
$u \leq \frac{n \cdot \text{Min} + \text{Med}}{n + 1}$	
+ label = 1	
- $u \leq \frac{\text{Med} + n \cdot \text{Max}}{1 + n}$	
+ label 2	
- label 3	
One and only once is a pixel u with label 1a neighbor of a pixel u with label 3	
+ X is a vertex pixel	
- X is no vertex pixel	

deutet bei unifarbigen Stoffen, daß die Segmentierung nicht von der Bildstruktur abhängt und somit in einer fest vorgegebenen Fensterung besteht. Die Verarbeitung erfolgt in den Stufen Bildaufnahme, vorgegebene Segmentierung und Merkmalextraktion (Bild 1a). Bei grob gemusterten Stoffen wird zusätzlich das Bild vorverarbeitet mit dem Ziel, die Regionen homogener Textur zu finden (Bild 1b). Die Segmentierung erfolgt mit Seg-



3 Fehlerbild eines Webfehlers (dunkel unterlegt), aus den Fehlerausprägungen halbüberlappender Segmente zusammengesetzt. Die sechs Segmentpositionen für die Lernphase sind schraffiert eingetragen (mittelgrauer Stoff mit Webfehler 141-B10-D10 [IMAGE 16. SCRJ]).

4 Struktogramm des Kantenverteilungsoperators

menten fester Größe, die sich im allgemeinen überlappen²¹.

Damit werden Probleme der Parkettierung und der Normierung, die sich aus unterschiedlichen Größen der homogenen Bildfragmente und der variablen Meßsegmentgrößen ergeben, zunächst übergangen. Nach der Segmentierung wird wie bei unifarbigen Stoffen fortgesetzt.

Bei feingemusterten Stoffen kann die Forderung nach hoher Trennschärfe der Defekterkennung unter Umständen den Einsatz struktureller Methoden erzwingen. Die ersten Stufen des Verfahrensablaufs sind die Vorverarbeitung zur Erzeugung von Regionen homogener Grautons, die Isolation dieser Regionen sowie Ermittlung von Merkmalsvektoren der gefundenen Regionen (Bild 1c).

3. Detektion von Defekten mit der statistischen Methode

Es wird ein Lösungsweg gemäß Aufgabenklasse a) dargestellt [2]. Die Fehlererkennung besteht in der Detektion von Abweichungen von textuellen Merkmalswerten gegenüber solchen prototypischen Werten, die aus fehlerfreien Regionen gleichen Materials unter gleichen Aufnahmebedingungen gewonnen wurden. Diese Abweichungen lassen auf den Fehlerort (gegeben durch die Position des als fehlerhaft festgestellten Segments), die Fehlerausdehnung (gegeben durch einander benachbarte Fehlersegmente) und die Fehlerausprägung (gegeben durch die Anzahl der signifikant abweichenden Merkmalswerte) schließen.

Statistische Merkmalsberechnungen legen meistens ein- bzw. mehrdimensionale Histogramme zugrunde. Aus den Statistiken zweiter und höherer Ordnung können Aussagen über strukturelle Beziehungen zwischen Bild-

elementen gefunden werden. Aus Aufwandsgründen beschränken sich die Berechnungen meist auf Statistiken der ersten beiden Ordnungen. Weiterhin wird die Tatsache ausgenutzt, daß Statistiken erster Ordnung von Grautondifferenzen als Untermengen der Statistiken zweiter Ordnung der Grauwerte betrachtet werden können. Die entsprechenden Merkmale haben eine gute Trennschärfe und lassen sich mit wesentlich geringerem Aufwand als die Merkmale aus den Statistiken zweiter Ordnung berechnen. Als Merkmale werden die Verteilungsmomente nullter bis zweiter Ordnung der Histogramme der Grautöne bzw. der Grautondifferenzen benutzt. Des weiteren können Abstände zwischen den als Vektoren aufgefaßten Histogrammen [3], einzelne Häufigkeiten [4], Formmerkmale oder Quantile der Histogramme genutzt werden.

Die Verteilung der Merkmalwerte F_n ($n = 1, 2, \dots, N$) aus einer Folge von Segmenten unterliegt einer Streuung, die sich durch die untere bzw. obere Schranke $\text{Min}(F_n)$ bzw. $\text{Max}(F_n)$ kennzeichnen läßt. Das dadurch vorgegebene Intervall wird in Näherung einer 3σ -Schranke nach oben und unten um F_n aufgeweitet. Damit ergibt sich im N -dimensionalen Merkmalraum ein Parallelepiped (Bild 2), das zur Charakterisierung der Defekte dient. Befindet sich ein Merkmalvektor vollständig im Innern des Epipeds (weiße Kreise), dann wird das zugehörige Bildsegment als fehlerfrei betrachtet. Liegen jedoch die Werte eines Tupels teilweise oder völlig außerhalb der des Epiped aufspannenden Intervalle (halb- oder vollschwarze Kreise), dann liegt ein Fehler vor, dessen Ausprägung gleich der Anzahl der außerhalb der Toleranzintervalle befindlichen Merkmalwerte ist. Die Fehlerausprägung DEFE wird bei Schwellenüberschreitung eines Merkmalwertes inkrementiert. In einer Lernphase werden die Begrenzungen $\text{Min}(F_n) - F_n$ und $\text{Max}(F_n) + F_n$ des Parallelepipeds für $n = 1, \dots, N$ bestimmt, indem durch einen Leh-

rer fehlerfreie Segmente ausgewählt und die dazugehörigen Extrema der Merkmalswerte ermittelt werden.

Die automatische Warenschau entspricht der darauf aufbauenden Kannphase. Die Warenbahn wird lückenlos wie in Bild 1 oder überlappend in Segmente eingeteilt. Für jedes Segment werden die Fehlerausprägungen ermittelt und lagerichtig, d. h. entsprechend ihrer Lage im Gesamtbild, zu einem Fehlerbild zusammengesetzt, bei dem jedes Pixel einem Segment entspricht (Bild 3). Dieses gibt, wenn auch mit einer relativ geringen geometrischen Auflösung, den Fehler nach Position, Ausdehnung, Form, Orientierung (in Schuß- bzw. Kettrichtung) wieder. Damit lassen sich die Fehlerarten Dickstelle, Nest, Fleck (Loch) und Noppe weitestgehend voneinander unterscheiden. Eine verfeinerte Klassifikation der Fehler ist aus der Analyse der Häufigkeitsverteilung der fehleranzeigenden Merkmale innerhalb des Fehlergebietes zu erwarten.

4. Ansätze zur Texturanalyse von gemusterten Textilien

4.1. Ansatz zur Segmentierung grobgemusterter Bekleidungsstoffe

Die Defektdetektion bei grobgemusterten Stoffen wird auf die gleichartige Aufgabe für unifarbene Stoffe zurückgeführt. Das zusätzlich zu lösende Problem ist die richtige Segmentierung. Sie erfolgt nicht starr, sondern in Abhängigkeit von dem Muster. Seien Q_1, \dots, Q_i die als texturhomogen anzusehenden Teilflächen der Muster, so wird das Analysesegment S_0 so gewählt, daß

$$S_0 \subset Q_i \text{ für } i = 1, \dots, l$$

wobei die Mindestfläche eines Analysesegmentes mit

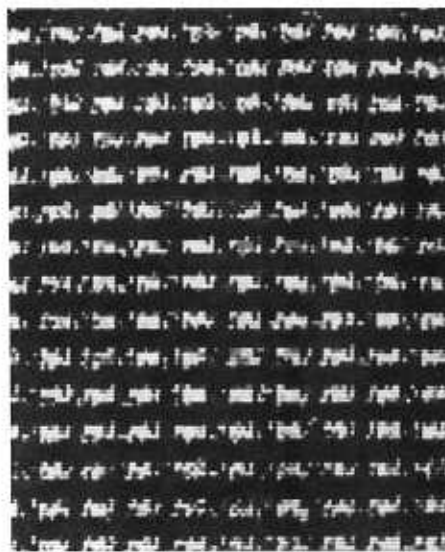
$$A(S_0) = A_0$$

vorgegeben wird.

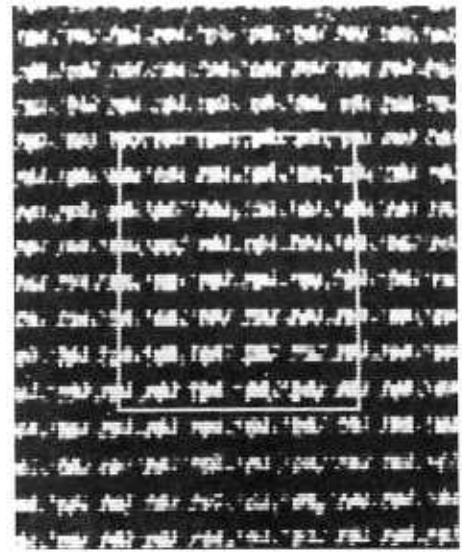
Stoffe mit $\min A(Q_i) < A_0$ sind mit diesem Verfahren nicht inspizierbar. Bei grobgemusterten Stoffen stellt die Voraussetzung rechteckiger oder parallelogrammarter Segmente keine wesentliche Einschränkung dar. Diese trifft dann gleichermaßen für die Analysesegmente zu.

4.2. Segmentierung feingemusterter Textilien

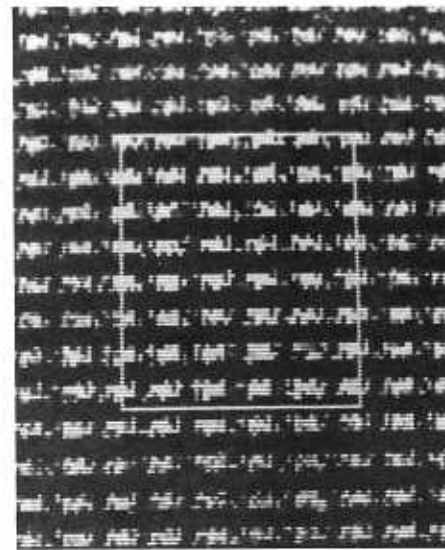
Wie die Analyse des Bildmaterials von feingemusterten Stoffen ergab, sind die Grautondifferenzen innerhalb der als Textur-elemente anzusehenden Regionen unerwartet hoch, bedingt durch die stets vorhandene Bindungsstruktur. Dies führt zu einem hohen Rechenaufwand bei der Regionenfindung



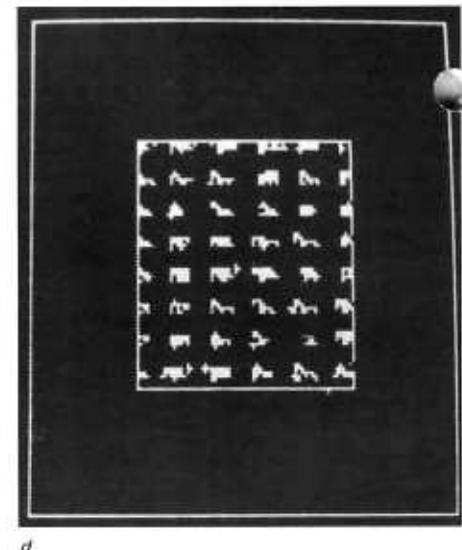
a



b



c



d

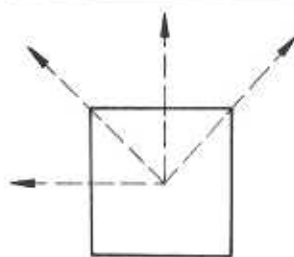
6 Verarbeitungsfolge mit Kantenversteilerung: a unverarbeitetes Bild (Schwarzweißkopie einer Falschfarbendarstellung); b Bild nach Kantenversteilerung; c Bild nach Regionenfindung und damit verbundenem Grautonausgleich; d nach Markierung aller Regionen mit Grautönen oberhalb des Quantils $q_0 = 10\%$.

mittels der Komponentenanalyse nach einem Homogenitätskriterium. Möglichkeiten zur Glättung bieten sich durch Medianfilterung und Kantenversteilerung. Die Medianfilterung glättet die Bindungstextur hervorragend, sie verschleift jedoch auch die Feinmusterung in meist nicht akzeptabler Weise. Sehr gute Eigenschaften weist ein lokaler Operator auf, der nach dem im Bild 4 dargestellten Algorithmus zur Kantenversteilerung arbeitet [5]. Er erweist sich als geeignet für die Vorverarbeitung vor der Regionenfindung. Für die Regionenfindung wurde der folgende Algorithmus entwickelt [6]. Auf der Basis eines Homogenitätskriteriums wird eine Aufteilung des Bildes in Elementarregionen vorgenommen. Dazu wird das Bild zeilenweise eingelesen und dabei ein Regionennachbarschaftsgraph $G(N, A)$ erstellt. N ist die Menge aller Knoten, die die Elementarregionen repräsentieren. A ist die Menge aller Kanten, die die Nachbarschaftsrelationen darstellen. Für die Nachbarschaft wurde die 8er-Umgebung benutzt (Bild 5). Das Homogenitätskriterium lautet:

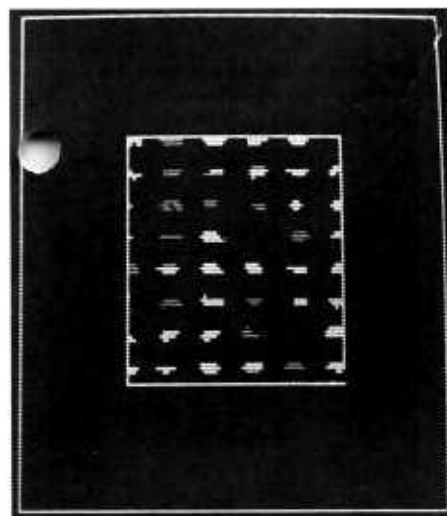
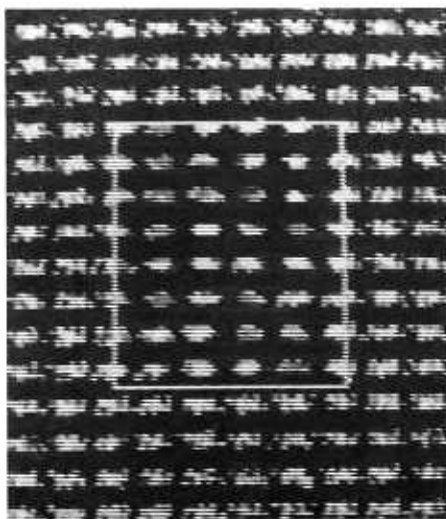
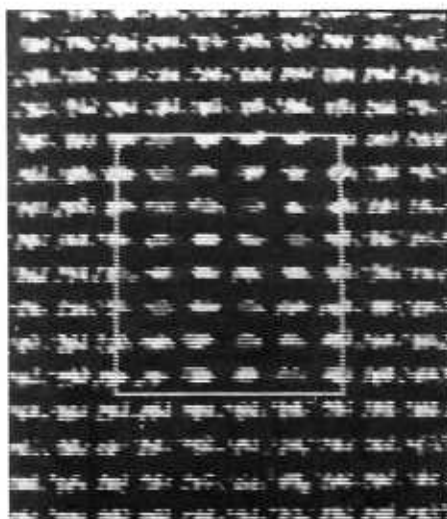
■ Benachbarte Pixel (im Sinne von Bild 5), deren Grautondifferenz kleiner als eine gegebene Schwelle ist, werden derselben Region zugeordnet.

■ Kann das aktuelle Pixel keiner bereits bestehenden Region zugeordnet werden, wird eine neue Region eröffnet.

Die Regionen werden durch die Lauflängendarstellung beschrieben, einige ausgewählte Merkmalswerte wie Fläche, Konturlänge, mittlerer Grauton werden dabei aufdatiert. Zur Ermittlung der Textur-elemente könnte der Nachbarschaftsgraph durch Verschmelzen benachbarter Regionen komprimiert werden. Dies sind relativ komplizierte Algorithmen, die noch nicht ausgearbeitet sind. Es zeigte sich jedoch, daß im Fall feingemusterter Textilien eine wesentlich einfachere Methode beachtliche Ergebnisse erbringt. Sie beruht auf der folgenden Idee: Infolge der Grautondifferenzen durch die Bindungstextur ist das Auffinden homogener Regionen im unverarbeiteten Bild nicht gleichbedeutend mit dem Auffinden der Textur-elemente. Jedoch sind die Grautondifferenzen

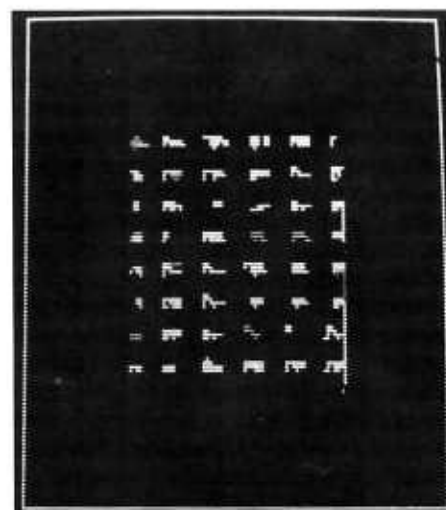
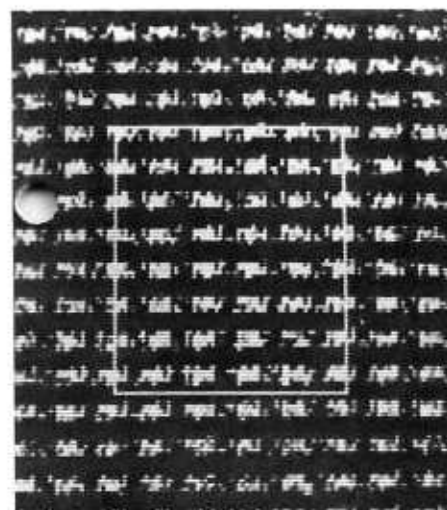


5 Nachbarschaftsdiagramm für Regionenfindung



a | b
c

7 *Verarbeitungsfolge mit Medianfilterung: a Bild 6a nach Medianfilterung; b Bild 7a nach Regionenfindung; c nach Markierung aller Regionen mit Grautönen oberhalb des Quantils $q_0 = 10\%$.*



a

b

8 *Verarbeitungsfolge für das Rohbild: a Bild 6a nach Regionenfindung; b nach Markierung aller Regionen mit Grautönen oberhalb des Quantils $q_0 = 10\%$.*

zwischen den zu einem Texturelement gehörenden Regionen gering, wenn die Kantenversteilerung vorgeschaltet wurde. Aus dem in Listenform erstellten Nachbarschaftsgraph können die Texturelemente ermittelt werden, indem man alle Regionen innerhalb eines Grautonintervalls sucht, in dieser Menge benachbarter Regionen feststellt und vereinigt.

Die Bilder 6 bis 8 zeigen Verarbeitungsfolgen, bei denen die Regionen ermittelt werden, deren Grautöne sich oberhalb einer Schwelle befinden; die Schwelle ist durch das 10%-Quantil des Histogramms bestimmt. Aus dem Vergleich der Bilder 6 und 8 geht hervor, daß die Kantenversteilerung gute Ergebnisse bringt. Die Medianfilterung (Bild 7) empfiehlt sich nicht, weil sie feine De-

tails verschleift und damit, wie im Bild zu sehen, einige Textur Elemente durch den Regionenfindungsalgorithmus nicht festgestellt werden.

Das Verfahren ist auch für das Lösen anderer Aufgaben einsetzbar. Zum Beispiel zeigen die Bilder auf der 4. Umschlagseite, mittlere Reihe, die den Bildern 6a und 8b entsprechenden Abbildungen für den Oberflächen-ausschnitt einer Hartfaserplatte.

Literatur

- [1] A Unified Structural-stochastic Model for Texture Analysis and Synthesis/Francois, J.; Meiri, A. Z. - In: Proc. 9th Int. Conf. on Pattern Recognition. - Italy, Nov. 1988. - pp. 41-45
- [2] Nutzung von Methoden der digitalen Bildverarbeitung für die Automatisierung der Warenschau/Rösler, U. - In: Bekleidung und Maschenware. - Leipzig (1989) 2. - S. 58-61
- [3] Generalized Texture Representation and Metric/Shen, H. C.; Wong, A. K. C. - In: Comp. Vis., Graphics and Image Processing. - 23 (1989). - S. 187-206
- [4] Ein Verfahren zur schnellen Texturanalyse in Halbtönen/Kubalski, W. - Dissertation der TH Aachen, 1986
- [5] Topologically Correct Edge Enhancement for Structural Texture Analysis/Fritzsche, K.; Tufiq, I. - In: Proc. CAIP '89. - Leipzig 1989
- [6] Automated Fabric Inspection based on a Structural Texture Analysis Method/Tufiq, I. - Preprint of the Base Laboratory for Computer Graphics and Image Processing. - Central Institute for Cybernetics and Information Processing, Berlin 1989

4-Mbit-Hybridspeicher

Der Kombinationscharakter von Hybridspeichern erlaubt es dem Produzenten, rund zwei Jahre früher mit einem höheren Integrationsniveau auf den Markt zu kommen, als es den Herstellern monolithischer Schaltkreise möglich ist. Dieser Vorteil wird international genutzt und hat im Kombinat VEB Keramische Werke Hermsdorf zur Entwicklung des ersten funktionsfähigen Musters eines 4-Mbit-Speichers geführt.

Dabei arbeiten die Hermsdorfer Fachleute nicht gegen, sondern mit Vertretern der monolithischen Schaltkreisproduktion zum volkswirtschaftlichen Vorteil nach einer abgestimmten Entwicklungsstrategie. Monolithische - auch integrierte oder Festkörperschaltkreise genannt - werden von den Kombinat VEB Carl Zeiss JENA und VEB Mikroelektronik Erfurt gefertigt.

Das 4-Mbit-Hybridspeichermodul aus Hermsdorf enthält 16 256-Kbit-Chips aus dem Kombinat VEB Carl Zeiss JENA und 16 Vielschichtkeramik-Kondensatoren aus dem VEB Elektronik Gera. Sein Einsatz ist vor allem in der Rechen- und BMSR-Technik vorgesehen.

Zellenlisten in der Kartografie (I)

Prof. Dr. Wladimir Kovalevski, Akademie der Wissenschaften der DDR, Zentralinstitut für Kybernetik und Informationsprozesse

1. Anwendung der Topologie von Komplexen zur Bildbeschreibung

Bis vor kurzem wurden in der Bildverarbeitung die topologischen Begriffe wie z. B. Zusammenhang, Begrenzung u. ä. mit Hilfe von Nachbarschaftsgraphen definiert. In der letzten Zeit konnte festgestellt werden, daß die Struktur eines Nachbarschaftsgraphen für die widerspruchsfreie Beschreibung der Topologie von Bildern nicht ausreichend ist [1]. Das Raster, das ein Träger von zweidimensionalen Bildern ist, soll als ein zweidimensionaler Zellenkomplex beschrieben werden [2], [3], [4]. Ein Nachbarschaftsgraph ist für diese Zwecke nicht geeignet, weil er ein eindimensionaler Zellenkomplex ist.

Der Begriff eines Zellenkomplexes stammt aus der kombinatorischen Topologie [5]. Ein zweidimensionaler Zellenkomplex besteht sowohl aus zweidimensionalen Elementen (2-Zellen) als auch aus deren eindimensionalen und nulldimensionalen Seiten, die die 2-Zelle beranden. Das sind die ein- und nulldimensionalen Zellen (1- und 0-Zellen). Die 2-Zellen sind die Flächenelemente, die 1-Zellen sind Linienelemente, und die 0-Zellen sind die Punkte. Auf der Menge der Zellen ist eine antisymmetrische transitive Relation definiert. Sie wird Berandungsrelation genannt. Eine Zelle höherer Dimension kann von Zellen kleinerer Dimensionen berandet werden. Dementsprechend können Flächenelemente von Punkten und Linienelementen berandet werden.

Die in der Bildverarbeitung üblichen elementaren Träger der Grauwerte (die Pixel) entsprechen nicht den Punkten, sondern den 2-Zellen, weil der Grauwert nur durch die Messung der Energie erfaßt werden kann, die von einer Elementarfläche reflektiert (bzw. ausgestrahlt) wird.

In einem Nachbarschaftsgraph sind nur die zwei- und eindimensionalen Elemente (und

zwar dual) dargestellt. Es wurde gezeigt, daß gerade das Fehlen der nulldimensionalen Elemente die bekannten Nachbarschaftsgraphen verursacht [4]. Diese Elemente sind auch für die sparsame Codierung von schmalen zusammenhängenden Gebieten in Bildern mit feinen Details entscheidend wichtig. Es wurde auch bewiesen [4], daß die Topologie der Zellenkomplexe die einzige mögliche nichttriviale Topologie auf endlichen Mengen ist. Diese Topologie ermöglicht die unmittelbare Anwendung der wichtigsten topologischen Begriffe wie offene Umgebung, Zusammenhang, Begrenzung u. a. auf endliche Mengen, zu denen auch digitalisierte Bilder gehören.

2. Zellenliste – eine Datenstruktur zur Speicherung von segmentierten Bildern

Der Begriff der Berandung läßt sich auf Mengen von Elementen (Elementarzellen) übertragen. So werden z. B. Gebiete im Bild von deren Begrenzungen und diese von Gabelpunkten berandet. Man kann also Gebiete, Begrenzungsabschnitte und Gabelungspunkte als Zellen eines neuen Zellenkomplexes betrachten (Bild 1). Gabelungspunkte sind die 0-Zellen, Gebiete sind die 2-Zellen, ein Abschnitt einer Begrenzung zwischen zwei 0-Zellen ist eine 1-Zelle oder Linie. Eine Begrenzung, die keine Gabelungspunkte enthält, bildet eine einzige geschlossene Linie, die auch eine 1-Zelle ist. In einem Binärbild gibt es nur solche Begrenzungen.

Mit Hilfe eines solchen Zellenkomplexes kann die topologische Struktur des Bildes ganz genau beschrieben werden. Wenn man Koordinaten bestimmter Punkte hinzufügt, so können auch die geometrischen Eigenschaften des Bildes erfaßt werden. Alle diese Daten werden in eine entsprechende Listenstruktur eingetragen, die das Bild vollständig und sparsam beschreibt. Diese Struktur wird „Zellenliste“ genannt. Die Zellenliste in ihrer einfachsten Form enthält vier Teillisten: die der 0-, 1- und 2-Zellen und eine Liste der metrischen Daten (vergleiche Tabelle 1). Die metrischen Daten dienen der Beschreibung der Form und Lage der 1-Zellen (Linien). Eine Linie ist immer eine digitale Kurve. Sie kann in sogenannte digitale Strecken zerlegt werden, wobei diese Zerlegung eine genaue Darstellung der Kurve ist. Jeder 1-Zelle wird ein Satz in der Liste der metrischen Daten zugewiesen. Dieser Satz enthält Koordinaten von Endpunkten der digitalen Strecken, aus denen die 1-Zelle besteht, und zusätzliche Parameter der digitalen Strecken. Die Parameter ermöglichen eine genaue Wiederherstellung der Begrenzungen. Diese Codierung kann als eine Verallgemeinerung des Kettencodes be-

trachtet werden: anstelle von acht möglichen Richtungen wird ihre Zahl praktisch unbegrenzt. Dementsprechend ist die durchschnittliche Länge der „Vektoren“ wesentlich größer.

Diese Art der Codierung von Kurven bringt wichtige Vorteile mit sich: der notwendige Datenumfang ist (bei Kurven geringer Krümmung) wesentlich kleiner als der eines üblichen Kettencodes, obwohl bei der Codierung keine Information verloren geht. Das ursprüngliche Bild kann aus der Liste ganz genau wiederhergestellt werden. Außer der hohen Datenkomprimierung besteht ein wichtiger Vorteil der Zellenliste darin, daß sich sowohl geometrische Transformationen von Bildern als auch die Bestimmung verschiedener geometrischer Eigenschaften von Bildteilen (Abstand, Winkel, Länge, Flächeninhalt u. ä.) auf einfache Berechnungen mit Koordinaten reduzieren. Das bringt entscheidende Vorteile bei der Strukturanalyse und bei der Objekterkennung: In beiden Fällen kann eine hohe Leistung lediglich durch effektive geometrische Rechnungen erreicht werden.

Als Beispiel ist der (etwas verkürzte) Inhalt der Liste für das Bild von Bild 1 in der Tabelle 1

Tabelle 1

The list contains: 4 branching points, 7 lines, 5 regions and 20 DSS end points.

The total number of memory bytes used = 352

Original image size 32 × 32 bytes;

Data compression rate = 2,91

Precise non-redundant representation:

Data compression rate = 5,21

No	Branching Points					
	Coordinates		Lines			
	X	Y	East	South	West	North
1	14	18	-5	-2	0	4
2	18	24	-3	0	2	6
3	22	18	0	3	7	-4
4	18	18	-7	-6	5	0

No	Lines					
	Points		Metric		Regions	
	Start	End	Start	End	Right	Left
1	0	0	1	4	1	2
2	1	2	5	7	2	3
3	2	3	8	10	2	4
4	3	1	11	14	2	5
5	1	4	15	16	3	5
6	4	2	17	18	3	4
7	4	3	19	20	4	5

No	Label	Regions	
		Start	Line
1	0	1	
2	255	-1	
3	100	5	
4	160	-6	
5	0	-7	

The metric list – coordinates of the DSS end points:

Line 1: (10, 10), (11, 30), (26, 29), (25, 10).

Line 2: (14, 18), (15, 24), (18, 24).

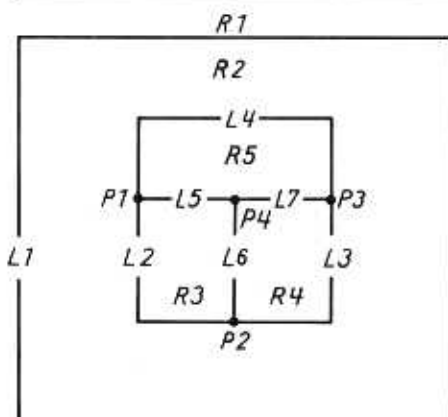
Line 3: (18, 24), (22, 23), (22, 18).

Line 4: (22, 18), (21, 14), (14, 15), (14, 18).

Line 5: (14, 18), (18, 18).

Line 6: (18, 18), (18, 24).

Line 7: (18, 18), (22, 18).



1 Beispiel eines Zellenkomplexes

zeigt. Die meisten Spalten der Teillisten enthalten Zeiger auf die Zeilen einer anderen Teilliste. Dadurch wird gezeigt, welche Zelle die jeweilige berandet oder von ihr berandet wird. So zeigt die Zahl - 5 in der ersten Zeile und vierten Spalte von „Branching Points“ auf die 5. Linie. Dementsprechend berandet der Punkt 1. die Linie 5., welche in Richtung „Osten“ geht. Das Vorzeichen bedeutet, daß die Linie 5. vom Punkt 1. weggeht (die Linien sind orientiert). Die Spalten 4. und 5. in der Teilliste „Lines“ enthalten Zeiger auf das erste und das letzte Koordinatenpaar in der metrischen Liste: z. B. für die Linie 1. vom Paar 1. bis zum Paar 4. (Die Paare sind durchgehend von 1. bis 20. numeriert.) Man kann sehen, daß die Punkte in der metrischen Liste von den Eckpunkten des Quadrates um ein Bildelement verschoben sind. Das geschieht dadurch, daß die Linie in möglichst lange digitale Strecken zerlegt wird. Eine ausführliche Beschreibung der Datenstruktur „Zellenliste“ ist in [4], [6] zu finden.

Zum automatischen Erzeugen von Zellenlisten aus segmentierten Rasterbildern wurde ein Algorithmus entwickelt, der die Begrenzung der Gebiete verfolgt und dabei die Erkennung von digitalen Strecken realisiert. Das entsprechende für den Rechner K 1630 konzipierte Programm kann bis zu 624 Gebiete in einem Binärbild oder bis zu 430 Gebiete in einem Bild mit 256 Graustufen erfassen. Die Anzahl der digitalen Strecken ist praktisch unbegrenzt. Die Bildcodierung durch Zellenlisten bringt eine hohe Komprimierungsrate mit sich: Für eine Testdatei aus 9 echten kartografischen Bildern wurde eine durchschnittliche Komprimierungsrate 19 im Vergleich zum Rasterbild gemessen, wenn die in den vier Listen enthaltene (nützliche) Redundanz nicht eliminiert war. Bei der Eliminierung der Redundanz (alle Teillisten lassen sich aus einer leicht veränderten Liste der Linien und der der metrischen Daten rekonstruieren) erreicht die Komprimierungsrate im Durchschnitt 32. Beim Verzicht auf die zusätzlichen Parameter der digitalen Strecken ist die Komprimierungsrate gleich 67. Dabei können die Begrenzungen lediglich mit einer Ungenauigkeit von 1 Pixel wiederhergestellt werden. Zum Vergleich wurde bei der Verwendung des Lauflängencodes (Run-Length-Code) für dieselben Bilder eine durchschnittliche Komprimierungsrate von 8 gemessen.

Die Zeiteffektivität des Programms ist zur Zeit durch die Möglichkeiten des Rechners K 1630 begrenzt: Im Durchschnitt werden 80 s für ein kartografisches Bild von 512×512 Pixel (aus der oben genannten Testdatei) gebraucht. Beim Übergang zu schnelleren Rechnern kann mit einer wesentlich höheren Geschwindigkeit gerechnet werden.

3. Algorithmen zum Nachbearbeiten von Zellenlisten

Eine der wichtigsten Aufgaben der Nachbearbeitung von Zellenkomplexen ist das Editieren. In der computergestützten Kartografie kann man damit die erfaßten kartografischen Unterlagen korrigieren oder sogar we-

sentlich verändern. Im Falle einer automatischen Erzeugung von neuen Karten können die durch die Unvollkommenheit der automatischen Verdrängung, Generalisierung u. ä. entstandenen Fehler ausgebessert werden. Das Editieren in der Liste hat wesentliche Vorteile im Vergleich zum Editieren im Raster:

- Im Raster kann man ohne großen Aufwand nur die Grauwerte von einzelnen Pixeln oder von vorher definierten Gebieten, z. B. von parametrisierten Rechtecken, Kreisen usw. ändern. Die im Bild vorhandenen Gebiete müssen interaktiv angegeben werden. Das ist aufwendig und meistens ungenau. In der Liste sind diese Gebiete explizit beschrieben und können leicht angesprochen werden.

- Im Raster ist keine topologische Information über die Gebiete und deren Begrenzungen vorhanden. Deswegen ist z. B. die Aufgabe, „zu einem gegebenen Gebiet ein benachbartes Gebiet anzuschließen“, nicht unmittelbar durchführbar: Man muß die Begrenzung des anzuschließenden Gebietes Punkt für Punkt interaktiv eingeben und dann den Grauwert im Inneren ändern (z. B. durch das Konturfüllen). In der Liste genügt es, einige Zeiger zu ändern und einige Sätze zu löschen.

- Geometrische Transformationen von einzelnen Linien und Gebieten sind im Rasterbild sehr aufwendig. In der Liste genügt es, einige Koordinaten, die bereits in einer Teilliste zusammengefaßt sind, automatisch umzurechnen.

Der in [6] beschriebene Listeneditor realisiert folgende Operationen:

- Verschmelzen zweier benachbarter Gebiete,
- Bilden eines neuen Gebietes,
- geometrisches Transformieren (Rotation, Translation) einer Gebietsbegrenzung als Ganzes,
- Ändern einzelner Punkte einer Begrenzung,
- Ändern des Grauwertes eines Gebietes,
- verschiedene Hilfsoperationen zum Veranschaulichen des Inhalts der Liste.

Der Inhalt der Liste wird zu jedem Augenblick als ein Rasterbild wiedergegeben, so daß die durchgeführten Veränderungen sofort sichtbar werden.

Durch andere Programme zum Nacharbeiten von Listen werden folgende Funktionen realisiert:

- Drucken des Inhaltes einer Zellenliste mit Berechnung der Komprimierungsrate,
- Umwandlung der Liste in ein Rasterbild (siehe 4. Umschlagseite, untere Reihe),
- Erzeugen der berandenden Linien für jedes Gebiet einer Liste,
- Geradenapproximation der Begrenzungen mit einer beliebigen vorgegebenen Toleranz. Die Toleranz bestimmt die maximale Abweichung der echten Begrenzung von den approximierenden Strecken. Das Programm benutzt zum Approximieren lediglich die Endpunkte der digitalen Strecken (vgl. Abschnitt 2.) und ist deshalb sehr schnell: Es braucht auf dem Rechner K 1630 lediglich

10 s (plus 5 s zum Lesen der Plattendatei) für ein durchschnittliches kartografisches Bild der Größe 512×512 .

- Erzeugen einer Hilfsdatei („Pseudoraster“ genannt) für ein schnelles Suchen von benachbarten Objekten in der Zellenliste. Das Bild wird (implizit) in Quadrate von je 32×32 Pixel zerlegt (siehe 4. Umschlagseite, untere Reihe, links). Das Programm erzeugt für jedes Quadrat eine Liste von Zeigern auf alle die Objekte, die dieses Quadrat schneiden. In der ersten Version des Programms sind digitale Strecken aus der Zellenliste als Objekte betrachtet worden. Nach dem Erzeugen der Quadratlisten (im Durchschnitt 13 s) kann ein Koordinatenpaar (x, y) angegeben werden. Durch eine Verschiebung dieser Zahlen (Division durch 32) werden das entsprechende Quadrat gefunden und alle Objekte aus der Quadratliste geholt. Im Bild auf der 4. Umschlagseite, untere Reihe, rechts, ist solch ein Punkt und die in seiner Umgebung liegenden digitalen Strecken rot markiert. Das Programm soll bei der kartografischen Bearbeitung wie Verdrängung, Freistellung u. ä. eine breite Anwendung finden.

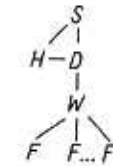
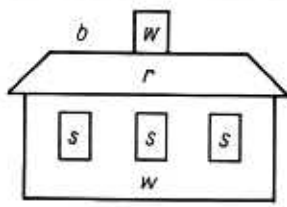
4. Objekterkennung in der Kartografie

Das automatische Erkennen von kartografischen Objekten ist wesentlich komplizierter als die Erkennung von Schriftzeichen. Selbst das Problem der Schriftzeichenerkennung kann nicht als endgültig gelöst betrachtet werden. Die Objekterkennung in der Kartografie ist durch die Vielfalt der Objekte, durch unbeständige Orientierung mancher Objekte und durch die Präsenz von langgestreckten linienhaften Objekten, die oft die sogenannten „Punktobjekte“ schneiden, weitgehend erschwert.

Die fortgeschrittenen Verfahren der Objekterkennung gehören zu dem Bereich der strukturellen Bildanalyse. Zu dieser Klasse gehören Verfahren, die auf der Idee der Teilgraphenisomorphie [7] beruhen. Das Bild wird in quasie-homogene Gebiete segmentiert und die Menge der Gebiete als ein Gebietsnachbarschaftsgraph dargestellt, dessen Knoten den Gebieten entsprechen und dessen Kanten jeweils zwei benachbarte Gebiete miteinander verbinden.

Die Idee des Verfahrens besteht darin, daß man die zu erkennenden Objekte als kleine (im Vergleich zum gesamten Bild) Mustergraphen darstellt und in dem Graphen des gesamten Bildes (Bildgraph) nach Teilgraphen sucht, welche einem Mustergraphen isomorph sind.

Um die Suche nach den Teilgraphen zu beschleunigen und „falsche Alarme“ auszuschließen, werden die Gebiete im Bild mit Merkmalen (z. B. Farben, Bild 2a) und die Knoten des Mustergraphen mit semantischen Symbolen versehen. Zum Beispiel sind die Gebiete in Bild 2a mit den Merkmalswerten „b“ wie „blau“, „w“ wie „weiß“ usw. und die Knoten des Mustergraphen in Bild 2b mit den Symbolen S wie „Schornstein“, H wie „Himmel“, D wie „Dach“ usw. markiert. Es wird auch eine Interpretationsrelation gegeben, die jedem Merkmalswert eine be-



c) $b - H$
 $w - S, W$
 $r - D$
 $s - F$

2 Ein Objekt mit Farben als Merkmale (a), der Mustergraph mit den semantischen Symbolen (b) und die Interpretationsrelation (c). Es bedeutet: H Himmel; S Schornstein; D Dach; W Wand; F Fenster

stimmt Teilmenge der semantischen Symbole zuweist, z. B. („weiß“ – „Schornstein“, „Wand“), („blau“ – „Himmel“) usw. Es wird nach Abbildungen vom Mustergraphen auf den Bildgraphen gesucht, bei welchen

a) ein Knoten nur auf einen anderen Knoten mit einem zulässigen Merkmalwert abgebildet wird,

b) ein Knotenpaar, das durch eine Kante verbunden ist, nur auf ein verbundenes Paar im Bildgraphen abgebildet wird.

Wie bereits vermerkt, sind die Gebietsnachbarschaftsgraphen kein geeignetes Mittel zum Beschreiben der Bildstruktur. Aus diesem Grund wurde eine neue, verallgemeinerte Problemstellung entwickelt [8]. Die wesentlichen Änderungen sind die folgenden:

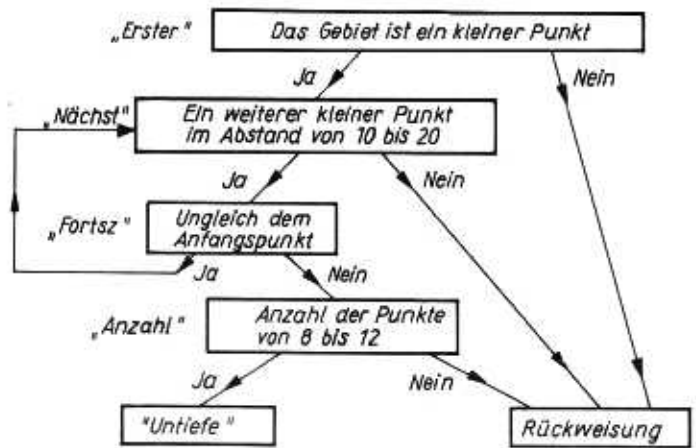
■ Im Gegensatz zu den bekannten Problemstellungen werden Bilder nicht als Graphen, sondern als 2-dimensionale Zellenkomplexe (Bildkomplexe) betrachtet. Dementsprechend werden nicht nur Gebiete (2-Zellen), sondern auch Begrenzungen von Gebieten, deren Teile (1-Zellen) und Gabelungspunkte (0-Zellen) als markierte Objektteile betrachtet. Mustergraphen, die die zu erkennenden Objekte beschreiben, werden auch durch zweidimensionale Zellenkomplexe (Musterkomplexe) ersetzt.

■ Die Merkmale der Objektteile entstehen nicht nur bei der Segmentierung des vorgegebenen Bildes, wie das der Fall für Farbe, Helligkeit, Textur usw. ist, sondern auch durch eine geometrische und topologische Auswertung der Zellen verschiedener Dimensionen. So kann z. B. eine 1-Zelle durch ihre Länge und Richtung und eine 0-Zelle durch die Anzahl der mit ihr inzidenten 1-Zellen charakterisiert werden.

■ Die Kanten des Mustergraphen, die eine *einzige* zweistellige Relation in der Menge der Knoten darstellen, werden durch mehrere verschiedene zweistellige Relationen ersetzt. Dazu gehören sowohl die Berandungsrelation im Musterkomplex, die ein unmittelbarer Vertreter der ehemaligen Nachbarschaftsrelation im Mustergraph ist, als auch andere Relationen zwischen zwei Zellen vom Musterkomplex, die nicht unbedingt in der Nähe voneinander liegen. Als ein Beispiel kann man die Relation von zwei Strecken nennen, die dann als wahr gilt, wenn der Winkel zwischen diesen Strecken in vorgegebenen Grenzen liegt.

Es gibt auch andere wichtige Änderungen in der Problemstellung, auf die hier wegen

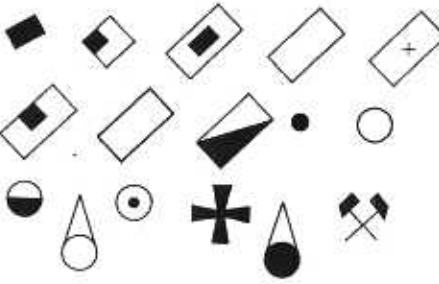
3 Entscheidungsgraph für das Objekt „Untiefe“



Platzmangel nicht eingegangen werden kann.

Das Finden der Isomorphie von Teilkomplexen, genau so wie der von Teilgraphen, ist im allgemeinen Fall mit einem umfangreichen Suchen verbunden, das man in extremen Fällen als eine „kombinatorische Explosion“ bezeichnet. Diese Schwierigkeit wird in dem entwickelten Verfahren durch die Auswahl von informativen Merkmalen und einer effektiven Datenorganisation überwunden: Beim Suchen nach einem bestimmten Teilkomplex werden an erster Stelle solche Merkmale einzelner Zellen (wie z. B. Gebiete oder Linien) ausgewertet, die die gesamte Menge der Zellen im Bild in annähernd gleichwahrscheinliche Teilmengen zerteilen. Dann wird die nächste Zelle des gesuchten Teilkomplexes ausgewertet, die in einer bevorzugten Relation zu der bereits gefundenen Zelle steht. Eine Relation heißt bevorzugt, wenn sie bei der Organisation der benutzten Datenstruktur explizit eingebaut ist. So ist z. B. die topologische Berandungsrelation explizit in die Datenstruktur einer Zellenliste eingebaut. Für jede Zelle können alle mit ihr inzidenten Zellen durch Zeiger ohne Suchen angesprochen werden. Ein zweites Beispiel für eine bevorzugte Relation bildet die „Umgebungsrelation“, die für jeden Punkt alle Zellen zeigt, die eine vorgegebene Umgebung dieses Punktes schneiden. Durch viele informative Merkmale und mehrere bevorzugte Relationen werden das Suchen auf ein Minimum reduziert und der Erkennungsalgorithmus beschleunigt.

Der Erkennungsvorgang für alle zu erkennenden Objektklassen wird in Form eines Entscheidungsgraphen dargestellt. Jeder Knoten dieses Graphen entspricht der Auswertung eines Merkmals oder einer Relation



4 Beispiele einiger Musterobjekte

oder dem Finden einer Zelle, die in einer bestimmten Relation zu der jeweiligen Zelle steht. In Abhängigkeit von dem Ergebnis wird entlang einer der Kanten des Graphen zu dem nächsten Knoten gegangen usw. Der Entscheidungsgraph wird mit einer editierbaren Datei beschrieben. Die Datei kann als eine einfache Wissensbasis betrachtet. Die Wissensbasis wird bei der Durchführung der Erkennung von einem Steuerprogramm gelesen. Dieses ruft ein in dem jeweiligen Knoten des Graphen angegebenes Unterprogramm zur Auswertung des notwendigen Merkmals oder einer Relation auf, wertet das Ergebnis aus und geht zum nächsten Knoten über. Alle die notwendigen Unterprogramme müssen im Voraus entwickelt, übersetzt und gelinkt werden. Durch Änderungen in der Wissensbasis kann der gesamte Erkennungsvorgang völlig geändert werden, ohne daß irgendein Programm geändert, übersetzt und gelinkt werden muß.

Als Beispiel sei die Erkennung des kartografischen Objektes „Untiefe“ betrachtet. Das Objekt ist als ein gepunkteter Kreis aus 8 bis 12 schwarzen Punkten dargestellt. Der Entscheidungsgraph ist in Bild 3 gezeigt.

Das beschriebene Verfahren wurde zum Erkennen von kartografischen Punktobjekten in den oben genannten Testdateien erfolgreich angewandt. Es wurden isolierte Objekte aus 25 Klassen erkannt. Einige Beispiele der Musterobjekte sind in Bild 4 gezeigt.

Die Parameter in der Objektbeschreibung (verschiedene Schwellenwerte, Toleranzen u. ä.) wurden so gewählt, daß man auf Kosten einer etwas höheren Rückweisungsrate eine möglichst niedrige Fehlerwahrscheinlichkeit erreichen konnte. In den durchgeführten Experimenten wurden etwa 100 Objekte richtig erkannt. Die Rückweisungsrate konnte mit 2% eingeschätzt werden. Die Geschwindigkeit der Erkennung mit dem Rechner SM 1420 (ausgenommen die Zeit für die Erzeugung der Zellenlisten mit dem langsamen Rechner K 1630) betrug 20 bis 25 Objekte pro Sekunde. Eine in den Experimenten benutzte Testkarte ist auf der 4. Umschlagseite, untere Reihe, dargestellt.

Der 2. Teil des Beitrags im folgenden Heft macht Aussagen zur „Konzeption der kartografischen Datenbasis“ und enthält die Literaturangaben für den Gesamtbeitrag.

Verfahren zur digitalen Bildkorrelation in multitemporalen Wetterbildern

IV. Experimentelle Untersuchungen zu Vergleichsmaßen, Anwendungsbeispiele

Dr. rer. nat. Reiner Creutzburg, Akademie der Wissenschaften der DDR, Zentralinstitut für Kybernetik und Informationsprozesse, Internationales Basislaboratorium für Bildverarbeitung und Computergraphik;
Dr. rer. nat. Hans-Jürgen Grundmann, Akademie der Wissenschaften der DDR, Institut für Kosmosforschung, Satellitenbodenstation Neustrelitz

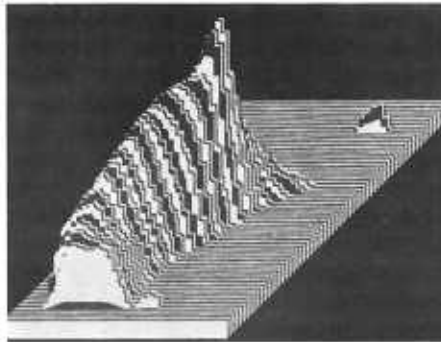
Einführung

Im Teil I dieser Arbeit wurden wesentliche Grundtatsachen über zahlentheoretische Transformationen dargelegt und ihre Beziehung zur diskreten Fouriertransformation und zyklischen Faltung aufgezeigt. Außerdem wurden Anwendungsbeispiele einer speziellen zahlentheoretischen Transformation, der Fermattransformation, bei der schnellen Berechnung von Windvektoren in multitemporalen Wetterbildern mittels Korrelationsmethoden gezeigt. Im Teil II wurde die Konstruktion geeigneter Moduln für zahlentheoretische Transformationen und die Implementierung der Fermattransformation eingegangen. Nachdem im Teil III auf Vergleichsmaße bei der digitalen Bildkorrelation eingegangen und ein stochastisches Korrelationsverfahren vorgestellt wurde, wird nun im Teil IV ein Beispiel zur Anwendung des stochastischen Korrelationsverfahrens angegeben. Anschließend werden Ergebnisse von experimentellen Untersuchungen zu Vergleichsmaßen angegeben. Darüber hinaus werden Anwendungsbeispiele zu den vorgestellten Korrelationsverfahren zur Bestimmung von Wolkenbewegungen beschrieben.

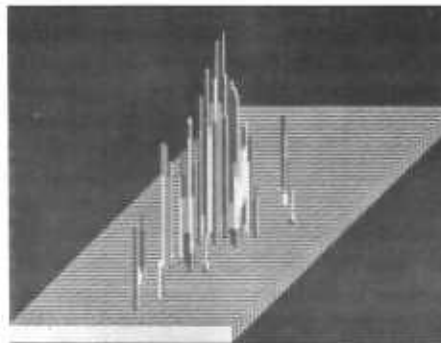
7.4. Ein Beispiel zur Anwendung des stochastischen Korrelationsverfahrens

Das vorgestellte stochastische Korrelationsverfahren wird nachfolgend unter Verwendung multitemporaler digitaler Wetterbilder des Satelliten Meteosat vorgestellt. Ein Vergleich mit der Methode der äquidistanten Rastersuche wird anhand eines Beispiels vorgenommen.

Die Bilder 6 und 7 (vgl. Teil I) zeigen Aufnahmen von Wettersatelliten, die im Abstand von 30 min empfangen wurden. Gesucht



14 Korrelationskoeffizienten $f_k(x_1, x_2)$ für $|x_1|, |x_2| \leq 32$ bei äquidistanter Rastersuche



15 Korrelationskoeffizienten $f_k(x_1, x_2)$ bei Verwendung des stochastischen Suchverfahrens

wird nun die Verlagerung des im Bild 13 gekennzeichneten Objektes. Die Suchschränke wurde mit $s = 32$ gewählt. Zur Generierung der charakteristischen Funktion $M(l, n)$ mit $0 \leq l, n \leq 511$ aus der das Objekt umschließenden Kontur wurde ein spezielles Programm genutzt.

Bild 14 zeigt die Funktion $f_k(x_1, x_2)$ mit $|x_1|, |x_2| \leq 32$, die durch äquidistante Rastersuche ermittelt wurde. Dazu mußten die 4096 maskierten Korrelationskoeffizienten nach (7.6.) berechnet werden. Das stochastische Korrelationsverfahren (Bild 15) benötigte im Vergleich dazu lediglich 237 Versuche, wobei 59 Versuche als Erfolg gewertet wurden. Damit konnte bei diesem Beispiel die Berechnung von 94% der Korrelationskoeffizienten eingespart werden.

8. Experimentelle Untersuchungen zu den Vergleichsmaßen

Die in den Teilen I bis III vorgestellten Verfahren zur Berechnung des zyklischen Korrelationskoeffizienten f_{yk} mit Hilfe einer zahlentheoretischen Transformation und das stochastische Suchverfahren zur Ermittlung des Maximums der Korrelationskoeffizienten

$f_k(x^*)$, $x = x_1^*i + x_2^*j$ (Abschnitt 7.) werden in diesem Kapitel einem Eignungstest unterzogen. Dabei soll ermittelt werden, inwieweit sich diese Algorithmen zum Wiederauffinden von Objekten bzw. Szenenausschnitten in multitemporalen Wetterbildern eignen, bzw. welche Voraussetzungen an die Bilder zu stellen sind.

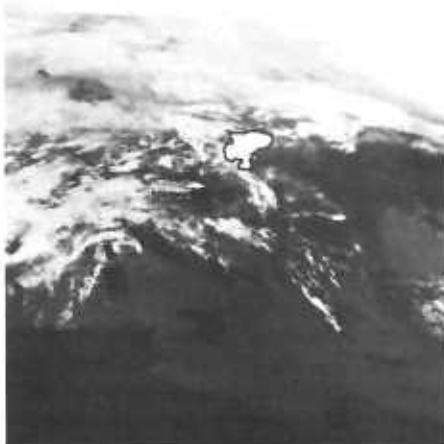
Da die in Wetterbildern zu verfolgenden Objekte bzw. Szenenausschnitte im allgemeinen nicht nur Translationen, sondern z.B. auch Drehungen, Deformationen und Rauscheinflüssen unterliegen, sind Tests zur Empfindlichkeit der Algorithmen bezüglich dieser Störeinflüsse erforderlich.

Das Verhalten der Vergleichsmaße zyklische Korrelation und Korrelationskoeffizient wurde am Beispiel von 6 Testgebieten aus einem Wetterbild (Meteosat 2, Infrarotkanal) ermittelt. Diese Testgebiete sind im Bild 16 dargestellt.

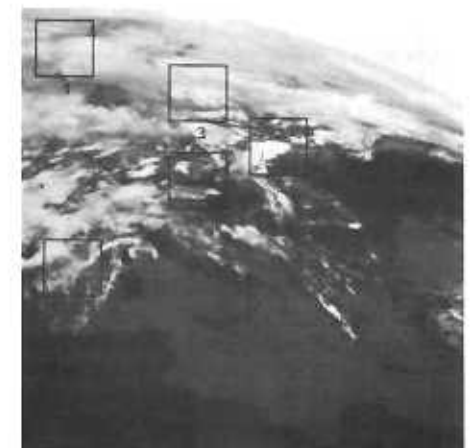
Weiterhin soll demonstriert werden, wie sich der durch die Voraussetzung einer periodischen Fortsetzung der Matrixsignale bedingte Fehler bei der Berechnung des zyklischen Korrelationskoeffizienten auf dessen Eignung zur Ermittlung von Verschiebungen auswirkt.

Korreliert werden die Matrixsignale $y = [y(l, n)]$ und $h = [h(l, n)]$, wobei h das durch simulierte Störung aus y hervorgegangene Signal darstellt. Bei fehlender Störung liegt Autokorrelation vor.

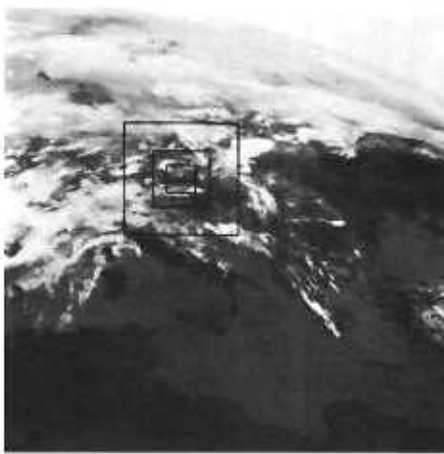
Die zyklische Korrelation f_{yk} wird mit Hilfe der Fermattransformation für 64×64 Punkte berechnet. Bei der Bestimmung des Korrelationskoeffizienten f_k mit Hilfe des Displayprozessors wird die charakteristische Funktion $M(l, n)$ entsprechend (7.1.) so gewählt, daß die für die Simulation verwendeten quadratischen Masken eine Größe von 32×32 ,



13 Markiertes Objekt, dessen Translation bestimmt wird



16 Testgebiete



17 Quadratische Masken aus 32×32 , 64×64 , 128×128 Bildpunkten

64×64 bzw. 128×128 Punkten haben. Bild 17 verdeutlicht die Größenverhältnisse. Die eingezeichneten Quadrate bestehen aus 32×32 , 64×64 bzw. 128×128 Bildpunkten. Um die Wirksamkeit des stochastischen Suchverfahrens (vgl. Abschnitt 7.2.) nachzuweisen, wurden dessen Ergebnisse durch nachfolgende äquidistante Rastersuche einer Kontrolle unterzogen.

Das Verhalten der Vergleichsmaße Korrelationskoeffizient und zyklischer Korrelationskoeffizient wird anhand folgender Störeinflüsse demonstriert:

- Drehung,
- Maßstabsänderung,
- Rauschen.

Zur Drehung und Maßstabsänderung wurde eine Koordinatentransformation durchgeführt. Transformiert werden die Bildkoordinaten (l', n') in (l, n) . Bei einer Transformation der endlichen Gitterpunktmenge E_{512^2} tritt im allgemeinen eine nicht eindeutige Abbildung auf, die im allgemeinen auch keine Abbildung auf E_{512^2} ist. Es muß mit folgenden Fällen gerechnet werden:

- Es gibt Gitterpunkte (l, n) , die keine Urbilder (l', n') bei der Transformation haben.
- Es gibt Bilder (l, n) der Transformation, die nicht in E_{512^2} liegen.
- Es gibt Bilder $(l, n) \in E_{512^2}$, die unter Umständen mehrere Urbilder $(l', n') \in E_{512^2}$ besitzen.

In allgemeiner Form lautet die Vorschrift zur Transformation der Bildkoordinaten (l', n') in (l, n) :

$$\begin{aligned} l &= [u(l', n')] \\ n &= [v(l', n')] \end{aligned} \quad (8.1a)$$

mit $0 \leq l, n \leq 511$.

Die Koordinaten $u(l', n')$ und $v(l', n')$ sind im allgemeinen nicht ganzzahlig. Deshalb ist von den Koordinaten $u(l', n')$ bzw. $v(l', n')$ jeweils der größte ganzzahlige Wert zu nehmen. Anschließend ist noch zu prüfen, ob $0 \leq l, n \leq 511$ gilt. Das transformierte Bild $y(l, n)$ ist folgendermaßen erklärt:

$$y(l, n) = \begin{cases} y'(l', n'), & \text{falls } (l, n), (l', n') \in E_{512^2}, \\ l = [u(l', n')], n = [v(l', n')] \\ 0 \text{ oder allg. } \bar{y} \text{ (Mittelwert)}, & \text{sonst.} \end{cases} \quad (8.1b)$$

Im Fall 1) ist für das transformierte Bildsignal einfach der Mittelwert

$$y(l, n) = \frac{1}{N^2} \sum_{l'=0}^{N-1} \sum_{n'=0}^{N-1} y'(l', n'), \quad (N=4)$$

zu setzen. Fall 2) wird weggelassen. Im Fall 3) wird $y(l, n)$ im allgemeinen auch durch den Mittelwert

$$y(l, n) = \frac{1}{A} \sum \sum y'(l', n'),$$

der Summe über alle (l', n') , die auf (l, n) abgebildet werden; A Anzahl dieser (l', n') , erklärt.

Da die Elemente digitaler Bilder in einem festen Raster angeordnet sind, gliedert sich der Transformationsalgorithmus in zwei Schritte. Zuerst müssen die Koordinaten des Bildes $u(l', n')$, $y(l', n')$ transformiert werden. Dies führt im allgemeinen zu nichtganzzahligen Werten für die Neuberechneten Positionen der entsprechenden Bildelemente. Durch Interpolation sind nun in einem zweiten Schritt die Werte von $[u(l', n')]$, $[y(l', n')]$ zu berechnen, die einem Bildelement mit ganzzahligen Koordinaten entsprechen. Zur geometrischen Transformation wurde ein Programm entwickelt [41], das auf einer Helmert-Transformation (8.2.) beruht.

Unter einer Helmert-Transformation versteht man:

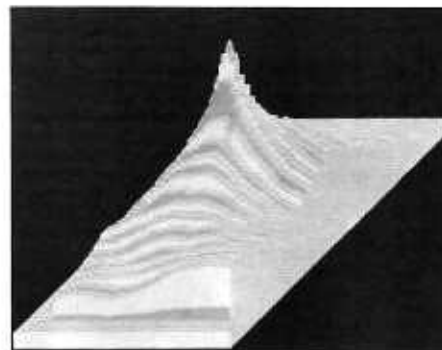
$$\begin{aligned} u(l', n') &= a_1 + a_2 l' + a_3 n', \\ y(l', n') &= b_1 + b_2 l' + b_3 n', \end{aligned} \quad (8.2.)$$

a, b reell, $i = \{1, 2, 3\}$.

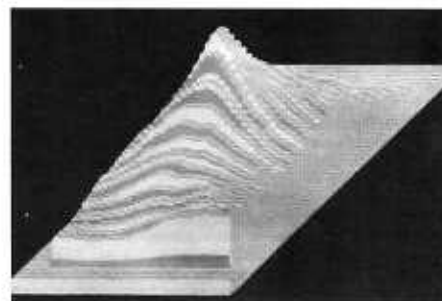
Mit Hilfe dieser Transformation lassen sich unter anderem Rotation, Maßstabsänderung und Translation von Bildern durchführen.

Drehung

Die Drehung eines Bildes läßt sich durch



18 Korrelationskoeffizienten $f_k(x_1, x_2)$ bei Drehwinkel $\alpha = 0^\circ$ (Autokorrelation)



19 Korrelationskoeffizienten $f_k(x_1, x_2)$ bei Drehwinkel $\alpha = 3^\circ$

$$\begin{aligned} u(l', n') &= l' \cos \alpha - n' \sin \alpha, \\ y(l', n') &= l' \sin \alpha + n' \cos \alpha \end{aligned} \quad (8.3.)$$

beschreiben.

Bild 18 zeigt die Korrelationskoeffizienten $f_k(x_1, x_2)$ mit $-31 \leq x_1, x_2 \leq 32$ (Testgebiet 5) für $\alpha = 0^\circ$ (Autokorrelation).

Bei einer Drehung um 3° (Bild 19) sinkt das Maximum des Korrelationskoeffizienten $f_k(0, 0)$ von 1 auf den Wert 0,86. Die Lage des globalen Maximums ist jedoch unverändert $(x_1^*, x_2^*) = (0, 0)$.

Die gleichen Ergebnisse ergeben sich auch bei Drehungen um 6° und 9° . Erst bei einer Drehung um 12° stellt $f_k(0, 0)$ nicht mehr das globale Maximum dar.

Für Masken der Größe 32×32 , 64×64 und 128×128 Punkte ist im Bild 20 der Korrelationskoeffizient $f_k(0, 0)$ als Funktion des Drehwinkels α dargestellt. $f_k(0, 0)$ als Funktion von α wird im Bild 21 für verschiedene Testgebiete bei einer Maske von 64×64 Pixeln gezeigt.

Aus den Bildern ist ersichtlich, daß der Korrelationskoeffizient durch Drehung erheblich beeinflußt wird. Dabei erwies sich große Masken gegenüber kleinen Masken als besser geeignet, bei vorliegender Drehung die Verschiebungen zu bestimmen.

Bild 22 zeigt das Maximum der zyklischen Korrelationskoeffizienten f_{yh} (für $N = 64$) als Funktion des Drehwinkels α (Testgebiet 5).

Der Vergleich mit Bild 20 läßt eine etwas stärkere Abnahme des Maximums der zyklischen Korrelation f_{yh} gegenüber dem Korrelationskoeffizienten $f_k(0, 0)$ erkennen. Bis zu einem Winkel von $\alpha = 3^\circ$ läßt sich jedoch die Lage des Korrelationsmaximums bei allen Testbeispielen als Indikator der Verschiebung verwenden.

Maßstabsänderungen

Für Maßstabsänderungen wurde die Transformation

$$\begin{aligned} u(l', n') &= W l', \\ v(l', n') &= V n', \end{aligned} \quad (8.4.)$$

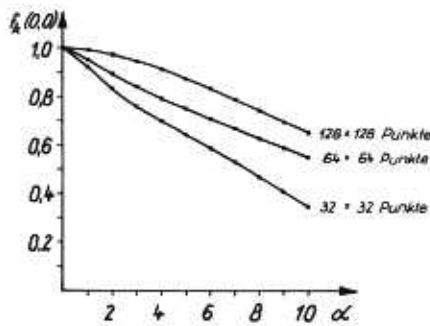
W, V reell; $W, V > 0$

verwendet. Wie bei der Drehung wurden dabei durch Interpolation die Werte berechnet, die einem Bildelement mit ganzzahligen Koordinaten entsprechen.

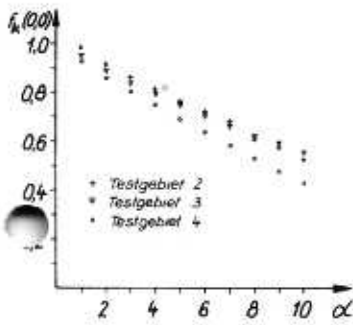
Für $W = V$ und $0,8 < W < 1,2$ ist im Bild 23 der Korrelationskoeffizient $f_k(0, 0)$ sowie im Bild 24 das Maximum der zyklischen Korrelation f_{yh} für das Testgebiet 2 dargestellt. Die Größe der Maske zur Berechnung von f_k betrug 64×64 Punkte. Es zeigte sich in allen sechs Testgebieten, daß für $0,95 < W < 1,05$ die Lage des Maximums der zyklischen Korrelation f_{yh} bzw. des Korrelationskoeffizienten f_k als Indikator einer Verschiebung verwendet werden kann.

Rauschen

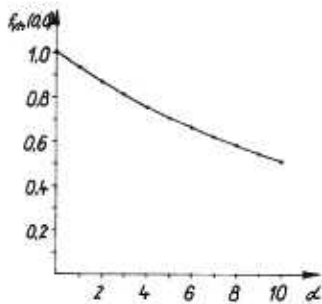
Die Simulation einer Störung durch Amplitudenrauschen erfolgte durch punktweise Addition von (gleichverteilten) ganzzahligen Zufallszahlen ξ mit $\xi = \{0, 1, 2, \dots, U\}$, wobei U den Maximalwert der Zufallszahlen bezeichnet. Diese wurden durch einen Pseudozufallszahlengenerator erzeugt.



20 Korrelationskoeffizient $f_k(0, 0)$ als Funktion des Drehwinkels α für verschiedene Masken (Testgebiet 5)



21 Korrelationskoeffizient $f_k(0, 0)$ als Funktion des Drehwinkels α für verschiedene Testgebiete bei einer Maske von 64×64 Punkten



22 Maximum der zyklischen Korrelationskoeffizienten $f_{vh}(0, 0)$ als Funktion des Drehwinkels α bei $N = 64$ (Testgebiet 5)

Der Korrelationskoeffizient $f_k(0, 0)$ als Funktion von U bei Korrelation des unverrauschten Matrixsignals y mit dem verrauschten Matrixsignal h ist im Bild 25 dargestellt.

Da der Korrelationsalgorithmus eine durch die Summenbildung bedingte Mittelung über die Anzahl der zu vergleichenden Bildelemente durchführt, nimmt der Einfluß des Rauschens mit zunehmender Größe der Maske ab. Das ist in Bild 25 für Masken der Größe 32×32 , 64×64 und 128×128 Punkte erkennbar. Für den zyklischen Korrelationskoeffizienten $f_{vh}(0, 0)$ ergaben sich für $N = 64$ erwartungsgemäß die gleichen Ergebnisse wie beim Korrelationskoeffizienten $f_k(0, 0)$ mit einer Maske von 64×64 Punkten.

Translation

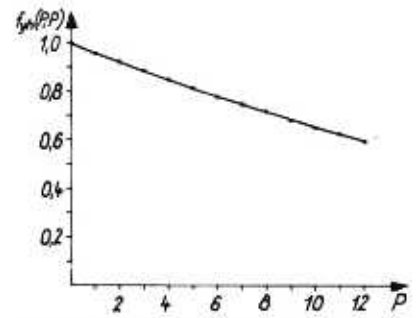
Eine Translation

$$\begin{aligned} l &= u(l', n') = l' + P, \\ n &= v(l', n') = n' + Q \end{aligned} \quad (8.5.)$$

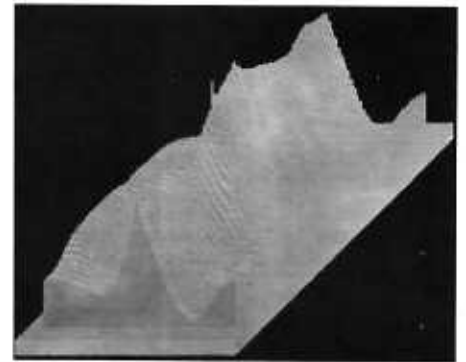
P, Q ganz,

$$\begin{aligned} y(l, n) &= y(l' + P, n' + Q) \\ &= \begin{cases} y(l', n'), & \text{falls } 0 \leq l' + P, l', n' + Q, n \leq 511 \\ 0, & \text{sonst,} \end{cases} \end{aligned}$$

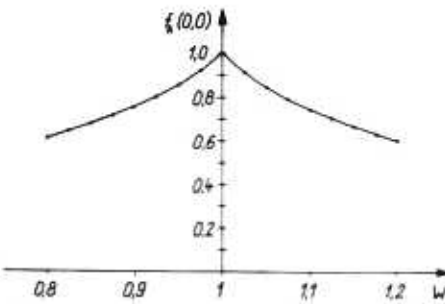
läßt sich mit Hilfe der Korrelationskoeffizienten $f_k(x_1, x_2)$ für alle $|P|, |Q| < s$ bestimmen. Die Lage des Maximums des zyklischen Korrelationskoeffizienten f_{vh} ist nur unter der Bedingung $|P|, |Q| \ll N$ zur Erkennung von Translationen verwendbar. Es tritt bedingt durch die Voraussetzung der Periodizität der Matrixsignale eine Verfälschung auf. Bild 26 zeigt den zyklischen Korrelationskoeffizienten $f_{vh}(P, Q)$ für $P = Q$ und $0 \leq P \leq 12$, der bei diesem Test (Testgebiet 4) stets auch das globale Maximum darstellt. Dieses Ergebnis konnte durch insgesamt 64 Tests in allen 6 Testgebieten für $|P|, |Q| \leq 8$ bestätigt werden. Ein Beispiel, bei dem sich P und Q nicht aus der Lage des Maximums der zyklischen Korrelationsfunktion ermitteln lassen, zeigt Bild 27. Für diesen Test (Testgebiet 1) wurde $P = Q = -10$ gewählt. Das globale Maximum stellt $f_{vh}(0, -6)$ dar, während $f_{vh}(-10, -10)$ le-



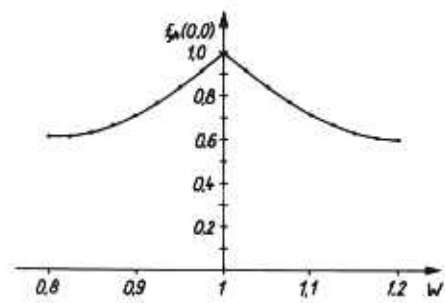
26 Zyklischer Korrelationskoeffizient f_{vh} bei nicht-zyklischer Translation P (Testgebiet 4)



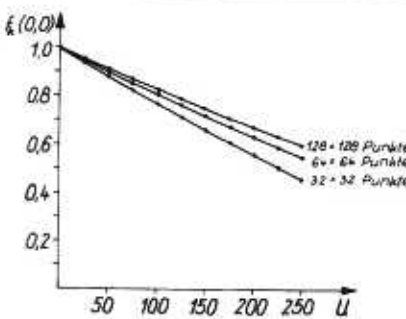
27 Zyklischer Korrelationskoeffizient f_{vh} bei nicht-zyklischer Translation. (Der Lage des globalen Maximums entspricht hier nicht die Translation.)



23 Korrelationskoeffizient $f_k(0, 0)$ bei Maßstabsänderungen (Testgebiet 2)



24 Maximum der zyklischen Korrelationskoeffizienten f_{vh} bei Maßstabsänderungen (Testgebiet 2)



25 Korrelationskoeffizient $f_k(0, 0)$ als Funktion von U bei Korrelation des unverrauschten Matrixsignals mit dem verrauschten Matrixsignal für Masken der Größe 32×32 , 64×64 und 128×128

diglich ein lokales Maximum ist (im Bild 27 als Spitze zu erkennen).

Die experimentellen Untersuchungen zu den Vergleichsmaßen Korrelationskoeffizient f_k und zyklischer Korrelationskoeffizient f_{vh} und deren Algorithmen führten zusammengefaßt zu folgenden Ergebnissen bzw. Schlußfolgerungen:

1.) Die Korrelationsmaße Korrelationskoeffizient f_k und zyklischer Korrelationskoeffizient f_{vh} lassen sich unter folgenden Voraussetzungen bezüglich der Bildgeometrie zum Wiederauffinden von Objekten bzw. Szenenausschnitten in Satellitenwetterbildern anwenden:

- a) bei Drehung der Bilder bis maximal 3° ,
- b) bei Maßstabsänderungen im Bereich $0,95 < W, V < 1,05$.

Sind diese Voraussetzungen nicht erfüllt, müssen die Satellitenwetterbilder geometrisch transformiert werden.

2.) Die Anwendung des zyklischen Korrelationskoeffizienten ($N = 64$) ist bei Translationen der Objekte bzw. Szenenausschnitte auf $|P|, |Q| \leq 8$ entsprechend (8.5.) beschränkt. Dieser starken Einschränkung unterliegt das stochastische Suchverfahren zur Ermittlung des Maximums der Korrelationsfunktion nicht. Hier muß $|P|, |Q| < s$ gelten, wobei die Suchschränke s wählbar ist.

3.) Wie der Vergleich mit dem Verfahren der äquidistanten Rastersuche ergibt, kann durch das stochastische Suchverfahren in jedem Testfall das globale Maximum $f_k(x)$ bestimmt werden.

4.) Das stochastische Suchverfahren nach Abschnitt 7.3. erweist sich in allen Testfällen als wesentlich weniger rechenzeitaufwendig

als das Verfahren zur Berechnung zyklischer Korrelationskoeffizienten mit Hilfe zahlen-theoretischer Transformationen (vgl. Teil I bis II).

9. Anwendungsbeispiele

9.1. Anwendung der Korrelationsverfahren zur Bestimmung von Wolkenbewegungen

Multitemporale Wetterbilder des Satelliten Meteosat 2 können zur Bestimmung von Wolkenbewegungen eingesetzt werden. Dieser Satellit liefert u. a. halbstündlich Bilder im Infrarot- und sichtbaren Spektralbereich mit relativ geringer Auflösung der Erdoberfläche (im Bereich von 2,5 bis 5 km). Es kann vorausgesetzt werden, daß zwei nacheinander zu empfangende Bilder bis auf ± 2 Bildpunkte genau den gleichen Ausschnitt der Erdoberfläche überdecken. Somit ist es möglich, durch Korrelationsmethoden bestimmte Verschiebungen in den Bildern als Bewegung von Wolken zu interpretieren.

Bild 8 (vgl. Teil I) zeigt Korrelationsergebnisse, die durch Auswertung von zwei digitalen Wetterbildern entstanden sind, die im Bild 6 (Wetterbild zum Zeitpunkt t) und im Bild 7 (Wetterbild zum Zeitpunkt $t + 30$ min) dargestellt sind. Es wurden 16 Verschiebungsvektoren bei Verwendung des zyklischen Korrelationskoeffizienten f_{vh} (64×64 Pixel) berechnet. Die eingetragenen Vektoren sind im Bild 8 neben den Zahlen zu erkennen. Dabei wird für die Ermittlung des aus 16 Vektoren bestehenden Verschiebungsvektorfeldes bei Berechnung der zyklischen Korrelationskoeffizienten mit Hilfe der Fermattransformation (vgl. Teil I bis II) eine Rechenzeit von 1328 s benötigt.

Die Anwendung des stochastischen Suchverfahrens zur Ermittlung des Maximums der Korrelationskoeffizienten $f_k(x^*)$ gemäß Abschnitt 7. führt exakt zu den gleichen Ergebnissen, wobei jedoch für die Berechnung des Verschiebungsvektorfeldes (16 Vektoren) lediglich 358 s benötigt werden. Es wird also bei Anwendung dieses Verfahrens eine Zeiteinsparung von 73 % erreicht.

Die Verfolgung eines Objektes (z. B. eines Wolkengebietes) in einer Meteosat-Wetterbildfolge wird mit den Bildern der 2. Umschlagseite demonstriert. Dazu fanden digitale Wetterbilder aus dem infraroten Spektralbereich Verwendung, die im zeitlichen Abstand von 30 min empfangen wurden.

Hier wurde zur Objektverfolgung ein wesentlicher Vorteil des stochastischen Suchverfahrens zur Ermittlung des Maximums der Korrelationskoeffizienten $f_k(x^*)$ genutzt, zu dessen Implementierung ein Displayprozessor des Bildverarbeitungssystems BVS A6472 Verwendung fand. Es sind bei diesem Verfahren, bedingt durch die parallele Arbeitsweise des Displayprozessors, alle Formen und Größen von Gebieten, über die korreliert wird, zugelassen, wenn dabei die Größe des Bildspeichers nicht überschritten wird. So kann das als Rasterbild abgebildete Objekt selbst und nicht, wie z. B. beim zyklischen Korrelationskoeffizienten f_{vh} , ein das Objekt überdeckendes Quadrat zur Korrelation genutzt werden.

Die Bilder der 2. Umschlagseite zeigen der Reihe nach die Maskierung eines charakteristischen Objektes (Wolkengebiet) und die jeweiligen Verschiebungen des Objektes nach 30 min, 60 min, 90 min und 120 min. Für die Bestimmung einer Verschiebung werden bei Verwendung des stochastischen Suchverfahrens zur Ermittlung des Maximums der Korrelationskoeffizienten $f_k(x^*)$ im Mittel 22,3 s benötigt. Aufgrund des gewählten Verfahrens ist diese Zeit unabhängig von der Maskengröße.

9.2. Automatisierte Suche nach Paßpunkten in Satellitenwetterbildern

Während digitale Wetterbilder des Satelliten Meteosat kongruent sind, das heißt bis auf ± 2 Bildpunkte genau den gleichen Ausschnitt der Erdoberfläche zeigen, muß diese Bildkongruenz bei Wetterbildern von polumlaufernden Satelliten der Serie NOAA erst hergestellt werden.

Es sei nun E_{512}^2 die Menge aller Gitterpunkte (l, n) mit $0 \leq l, n \leq 511$. Wir betrachten digitale Bilder, die durch die Matrixsignale $y = [y(l, n)]$, $h = [h(l, n)]$ und $h' = [h'(l', n')]$ mit $0 \leq l', n' \leq 511$ der Größe 512×512 repräsentiert werden und bezeichnen

$y = [y(l, n)]$ als Referenzbild,
 $h' = [h'(l', n')]$ als Ausgangsbild,
 $h = [h(l, n)]$ als entzerrtes Bild.

Eine geometrische Transformation des Ausgangsbildes h (8.1 a), (8.1 b) soll derart ausgeführt werden, daß zwischen dem Referenzbild y und dem entzerrten Bild h Kongruenz besteht. Das bedeutet, daß bis auf ± 2 Bildpunkte genau der gleiche Ausschnitt der Erdoberfläche gezeigt wird.

Zur Entzerrung wird die Helmert-Transformation (8.2.) verwendet. Diese Transformation ist rechentechnisch einfach zu realisieren. Entsprechende Verfahren sind in [41] und [42] beschrieben. Um die Koeffizienten a_i und b_i ($i = 1, 2, 3$) in (8.2.) zu berechnen, werden dabei 3 Paßpunkte (p_m, q_m) , ($m = 1, 2, 3$) mit $0 \leq p_m, q_m \leq 511$ und die entsprechenden Deformationsvektoren $d_m = d_{1m}i + d_{2m}j$ ($m = 1, 2, 3$) mit $0 \leq d_{1m}, d_{2m} \leq 511$ benötigt.

Als Paßpunkte werden diejenigen Punkte bezeichnet, deren Positionen in beiden Bildern bekannt oder bestimmbar sind. Sie dienen dazu, die geometrischen Beziehungen zwischen Bilddarstellungen des gleichen Gebietes an bestimmten Orten, die durch die Paßpunktkoordinaten (p_m, q_m) , $0 \leq p_m, q_m \leq 511$, festgelegt sind, anzugeben. Bezieht man die Paßpunktkoordinaten auf „wahre“ Koordinaten eines Referenzbildes, so ergeben sich durch Koordinatenvergleich Deformationsvektoren d_m in den Paßpunkten, die durch ihre Anteile in den Richtungen der Bildkoordinaten bestimmbar sind.

Eine interaktive Bestimmung von Paßpunkten und den dazugehörigen Deformationsvektoren z. B. anhand von Landmarken ist mühevoll und zeitaufwendig. Unterschiedliche Beleuchtungsverhältnisse während der Aufnahme des Ausgangs- und des Referenzbildes erschweren diesen Prozeß zusätzlich. Die Anwendung des stochastischen Suchverfahrens zur Ermittlung des Maximums der Korrelationskoeffizienten $f_k(x^*)$ mit $x^* =$

$x_1^*i + x_2^*j$ (vgl. Abschnitt 7.) ermöglicht eine Automatisierung des Verfahrens der Suche nach Paßpunkten und den dazugehörigen Deformationsvektoren und damit eine wesentliche Zeiteinsparung. Dazu werden bei dem in den folgenden Beispielen demonstrierten Verfahren äquidistant 16 Paßpunkte (p_m, q_m) mit $50 \leq p_m, q_m \leq 462$ ($1 \leq m \leq 16$) im Referenzbild y festgelegt. Weiterhin werden mit Hilfe des stochastischen Suchverfahrens zur Ermittlung des Maximums der Korrelationskoeffizienten durch Korrelation des Referenzbildes mit dem Ausgangsbild h' die 16 dazugehörigen Korrelationskoeffizienten $f_{km}(x_m)$ ($1 \leq m \leq 16$) und damit die 16 Verschiebungsvektoren x_m mit $1 \leq m \leq 16$ bestimmt.

Die Größe der Korrelationsmaske beträgt 80 mal 80 Punkte, wobei die zur Maskierung (7.5.) benötigte charakteristische Funktion $M(l, n)$ (7.1.)

$$M(l, n) = \begin{cases} 1, & p - 39 \leq l \leq p + 40, \\ & q - 39 \leq n \leq q + 40, \\ 0, & \text{sonst} \end{cases}$$

gesetzt wurde und der Paßpunkt den Mittelpunkt der Maske darstellt.

Die Komponenten der Verschiebungsvektoren x_m^* entsprechen den Komponenten der Deformationsvektoren d_m , d. h.

$$x_{1m}^* = d_{1m}; \quad x_{2m}^* = d_{2m}.$$

Aus den 16 Paßpunkten und den dazugehörigen Deformationsvektoren werden dann diejenigen (dreier) interaktiv ausgewählt, die zur Berechnung der Parameter der Helmert-Transformation verwendet werden sollen.

Dieser interaktive Schritt ist notwendig, um z. B. solche Paßpunkte von der Berechnung auszuschließen, die von Wolken verdeckt sind. Es wird ein automatisiertes Verfahren zur Bestimmung von Deformationsvektoren in Paßpunkten angegeben. Die Entzerrung der Bilder selbst verläuft nicht vollautomatisch, da es sich als notwendig erweist, solche Deformationsvektoren auszuschließen, bei denen durch Störungen der Matrixsignale Verfälschungen auftreten. Nach der Entzerrung erfolgt eine Kontrolle, ob Deckungsgleichheit im oben genannten Sinne erreicht wurde.

Nach Ausführung der Helmert-Transformation (Entzerrung) werden zur Kontrolle wiederum durch das stochastische Suchverfahren zur Bestimmung des Maximums der Korrelationskoeffizienten $f_k(x^*)$ 16 Verschiebungsvektoren x_m^* berechnet, wobei zur Korrelation jetzt jedoch das Referenzbild y und das entzerrte Bild h verwendet werden. Gilt für alle x_m^* ($m = 1, 2, \dots, 16$) für die Werte $|x_{1m}|, |x_{2m}|$ die Beziehung $|x_{1m}|, |x_{2m}| \leq 2$, so wird von einer Deckungsgleichheit der Bilder und damit von einer erfolgreichen Entzerrung ausgegangen.

Literatur

- [1] ...[15] siehe Teil I. – In: Bild und Ton. – Leipzig 40 (1987) 12. – S. 370–374
 [16] ...[21] siehe Teil II. – In: Bild und Ton. – Leipzig 41 (1988) 1. – S. 23–25

- [22] ...[40] siehe Teil III. – In: Bild und Ton. – Leipzig 42 (1989) 1. – S. 5–9
- [41] Geometrische Transformation von digitalen Bildern auf dem Bildverarbeitungssystem BVS A6472 / Drauschke, G.; Grundmann, H.-J. – Bericht, Institut für Kosmosforschung der AdW der DDR. – Neustrelitz, 1985
- [42] Konzeption, Konfiguration und Einsatzmöglichkeiten digitaler Rechner in der Photogrammetrie / Przybilla, H.-J. – Dissertation, Universität Bonn. – Bonn, 1985

Aus der internationalen Zeitschriften-Fachliteratur

Dünnschicht-Elektrolumineszenzdisplays / Müller, G. O.; Mach, R. – In: radio fernsehen elektronik. – Berlin 37 (1988) 12. – S. 805–809, 12 Abb.

Isgehend vom Stand der derzeitigen Bildwiedergabetechnik, in der die Farbblöhrre dominiert, wird auf die Alternativlösung der Flachmatrix hingewiesen, wobei das Elektrolumineszenzdisplay in letzter Zeit durch Neuerungen eine große Bedeutung erlangt hat. Das EL-Display hat folgende Vorteile: flacher Aufbau, höchste Spannung im Wiedergabegerät 200 V, innerhalb von 20 μ s wird eine ganze Zeile angeregt, Erhöhung der Bildwechselfrequenz. Das EL-Display besteht aus einem Schichtaufbau mit Zinksulfid, dotiert mit Mangan, als Leuchtstoff. Einfarbige EL-Displays (256 \times 512 Bildpunkte, 260 mm \times 320 mm) stehen heute schon zur Verfügung, eine farbtüchtige Variante konnte nur im Labor realisiert werden.

Aufzeichnungsgrenzen der DMM-Technologie / Hohmuth, G. – In: radio fernsehen elektronik. – Berlin 38 (1989) 1. – S. 39–41, 11 bb., 3 Lit.

Bei der DMM-Technologie lassen sich die Probleme der maximalen Tiefenauslenkung durch neue Vertikalamplitudenbegrenzer bzw. programmgesteuerte elliptische Entzerrer beherrschen. Bezüglich der Schnelle ergeben sich dagegen erheblich komplexere Verhältnisse. Beim Überschneiden der Grenzschnele sitzt bei dem Kupferschnitt die schräge Unterkante des Stiehels auf der geschnittenen Rille auf. Es ergeben sich knackartige Störgeräusche, die die Aufzeichnung unbrauchbar machen. Präzisierte Grenzdaten für die Aufzeichnung werden mitgeteilt.

Digitale Bildverarbeitung zur Kontrolle der Fertigungsqualität / Geschke, A.; Echeit, B. – In: Feingerätetechnik. – Berlin 38 (1989) 1. – S. 10–13, 8 Abb., 3 Lit.

Universelle Bildverarbeitungssysteme (BVS) zeigen eine hohe Flexibilität des Gerätesystems und lassen sich bei entsprechender Softwarebasis leicht an spezielle Forderungen anpassen. Die vom VEB Kombinat Robotron produzierten Bildverarbeitungssysteme A6470 basieren in unterschiedlicher Lei-

stungsfähigkeit auf dem Kleinrechner K 1630 mit der im System Kleinrechner üblichen Peripherie (Kassettenplattenspeicher, Magnetbandgeräte, Drucker) und bildverarbeitungs-spezifischen Komponenten unterschiedlichen Umfangs. Das BVS A6471 enthält als Bildverarbeitungs-komponente eine Grafikeinheit mit 768 \times 512 \times 8 bit. Prinzipielle Einsatzmöglichkeiten der digitalen Bildverarbeitung und allgemeingültige Bildverarbeitungsschritte werden erläutert.

Zur Röntgenuntersuchung von Kunst- und Gebrauchsgegenständen / James jun., A. E.; u. a. – In: Electromedica. – Erlangen 56 (1988) 4. – S. 144–151, 11 Abb., 13 Lit.

Die Röntgenaufnahme-technik gilt seit langem als objektive Methode der Erforschung von Kunstgegenständen.

Das Autorenkollektiv, dessen Mitglieder aus verschiedenen Wissenschaftsbereichen stammen, beschreibt ganz unterschiedliche Verfahren zur Röntgenuntersuchung von Kunstwerken, sie reichen von der einfachen Röntgenaufnahme bis zur Anwendung von CT, MR, digitalen Röntgentechniken einschließlich der dreidimensionalen Rekonstruktion.

Visuelle Auswertung von Rasterbildern / Hoeschen, D.; u. a. – In: PTB-Mitteilungen. – Braunschweig 99 (1989) 1. – S. 10–14, 7 Abb., 2 Tab., 10 Lit.

Die Abbildungsgüte in der radiologischen Diagnostik wird durch Bildgüteparameter der verwendeten Film-Folien-Systeme (Schwärzungskurve, MTF) bestimmt. Vergleichende Messungen ergaben bisher, daß Mittelwerte und Standardabweichungen von aufwendigen MTF-Messungen und der visuellen Abmusterung auf deutliche Meßunsicherheiten verweisen, die keine Vorteile objektiver Verfahren erkennen lassen. Mit einem Bildverarbeitungssystem wurden entsprechende vom Rauschen überlagerte Rasterbilder erzeugt und durch 27 Auswerter betrachtet.

Um internationalen Bestrebungen zur Qualitätssicherung gerecht zu werden, ist es notwendig, die Meßverfahren so zu verbessern, daß die Standardabweichungen der Meßverfahren denen der visuellen Abmusterung deutlich überlegen sind.

Algorithmen, Strukturen, Maschinen / Bauer, F. L. – In: Naturwissenschaftliche Rundschau. – Stuttgart 42 (1989) 2. – S. 43–54, 51 Abb.

Die Informatik ist eine junge Wissenschaft, sie entstand vor etwa 50 Jahren. Ihre Wurzeln reichen jedoch sehr viel weiter zurück und liegen zu einem großen Teil außerhalb der Mathematik, in den Bereichen Logik, Kryptologie, Instrumentenkunde, Feinmechanik und Nachrichtentechnik.

Das Zusammenfinden isoliert betrachteter Ideen und Phänomene führte in einem kurzen Zeitabschnitt zum Dreiklang „Algorithmus, Struktur, Maschine“. Mit diesen wesentlichen Inhalten der Informatik setzt sich der Beitrag ausführlich und anhand einer

Fülle sorgfältig ausgewählter Abbildungen auseinander.

NEC develops 2-Million-Pixel HDTV camera (NEC entwickelt Hochzeilen-Kamera für 2 Millionen Bildpunkte) / ... – In: Japan Electronic Engng. – Tokyo 25 (1988) 261. – S. 16, 3 Abb.

Der Prototyp einer Hochzeilen-Fernsehkamera aus Japan weist einen CCD-Bildsensor mit 2 Millionen Bildpunkten auf. Der CCD-Bildsensor besteht aus einer Anordnung aus 1920 \times 1035 Bildelementen und arbeitet mit 74,25 MHz. Damit paßt die Fernsehkamera in das japanische Hi-Vision-Hochzeilensystem mit 1125 Zeilen und einer Bildfrequenz von 60 Hz. Die Auflösung beträgt horizontal und vertikal jeweils 1000 Linien. Zur Vermeidung von Überstrahlereffekten wird im Bildsensor eine vertikale Überfluß-Drain-Struktur angewendet.

Seiko Epson integrates driver circuit, LCD elements (Seiko Epson integriert Steuerschaltung und LCD-Elemente) / ... – In: Japan Electronic Engng. – Tokyo 25 (1988) 261. – S. 25, 1 Abb.

Eine Neuerung auf dem Gebiet der Kamerarecorder ist ein Flüssigkristall-Sucher, wobei Flüssigkristall-Display und Steuerschaltungen auf demselben Chip vereinbar sind. Zur Ansteuerung werden Dünnschicht-Feldeffekttransistoren verwendet. Der 14,4 mm \times 19,2 mm große Bildschirm enthält 7 Millionen Bildpunkte und ist mit einem 2,6-Zoll-LCD für einen Farbfernsehempfänger vergleichbar. Das Kontrastverhältnis ist mit 100 : 1 sehr hoch, ebenso die Auflösung von 300 Linien vertikal und horizontal.

Image-transfer standard is almost ready (Bildübertragungsstandard ist fast fertig) / Gosch, J. – In: Electronics. – New York 61 (1988) 13. – S. 52 A, 1 Abb.

Mit ADCT (Adaptive-Discrete-Cosine-Transform – adaptive diskrete Cosinustransformation) wird ein Bildverarbeitungsverfahren zur Übertragung von Schwarzweiß- und Farbbildern zwischen unterschiedlichen Computern bezeichnet, das entsprechend von CCITT-Vorschlägen zum einheitlichen Weltstandard werden soll. ADCT bildet eine zweidimensionale Transformationscodierung, die in der Frequenzebene durchgeführt wird. Das transformierte Signal wird auch komprimiert und danach übertragen. In einer ISDN-Anwendung wird ein Farbbild mit einem digitalen Videoformat von 720 \times 575 Bildpunkten in weniger als 5 s bereitgestellt. Jeder Punkt ist mit 16 bit codiert. Die Übertragung erfordert eine Kompression von 16 : 1, d. h. auf 1 bit/Bildpunkt.

Automatisierung der optischen Qualitätsprüfung / Tiziani, H.-J. – In: Technisches Messen tm. – München 55 (1988) 12. – S. 481–491, 23 Abb., 19 Lit.

Die Automatisierung der Sichtprüfungsaufgaben ermöglicht eine Rationalisierung der Abläufe und sichert konstante Beurteilungskriterien. Objektive Prüfungsentscheidungen

reduzieren die ermüdungsbedingten Durchschlupfraten. Allerdings ist die Universalität und Lernfähigkeit des menschlichen Sichtprüfers mit den heute verfügbaren technischen Hilfsmitteln nicht ersetzbar. Der Überblick über optische Verfahren umfaßt: Verfahren zur Profilmessung, der Einsatz des Laserscanners zur Oberflächeninspektion glänzender Oberflächen, die parallel arbeitende optische Bildverarbeitung, die Moiré-Technik und der Einfluß der Beleuchtung auf die Fehlererkennung. Mit der zunehmenden Leistungssteigerung der digitalen Bildverarbeitung kann zusammen mit der optischen Vorverarbeitung die gesteckte Zielstellung erreicht werden.

Fonoautomat PA 1203 mit Tangentialtragarm und Direktantrieb / Scherber, P.; Fritzsche, K. – In: radio fernsehen elektronik. – Berlin 38 (1989) 2. – S. 123–127, 3 Abb., 1 Tab., 3 Lit.

Der automatisch funktionierende und über Tasten gesteuerte Fonoautomat stellt in der Version PA 1203 ein Grundgerät dar, das in verschiedenen Varianten produziert werden kann und sich durch einen flachen Direktantrieb und einen Tangentialtragarm auszeichnet. Die Nenn Drehzahlen umfassen 33 und 45 U/min, die Gleichlaufschwankungen sind kleiner als 0,12%, der Rumpelfremdspannungsabstand größer als 40 dB, der Fremdspannungsabstand größer als 56 dB. Der Linearmotor hat die Aufgabe, Tragarmtransportgeschwindigkeiten zwischen 35 µm/s bis 14 mm/s zu steuern. Verschiedene Gerätefunktionen werden mit optoelektronischen Mitteln gesteuert. Strichrasterimpulse werden zur Geschwindigkeitsregelung und für die digitale Endabschaltung benutzt.

Grafischer Eingabedialog für hochauflösendes Farbgrafiksystem / Schulz, S. – In: Nachrichtentechnik Elektronik. – Berlin 39 (1989) 3. – S. 104–106, 5 Abb., 4 Lit.

Der vorgestellte Eingabemodul wird den Forderungen nach einem variablen und komfortablen Eingabedialog gerecht. Bei effektiver Nutzung der Hardwaremöglichkeiten und schneller Algorithmen zur Generierung von PROMPT, ECHO und ACKNOWLEDGEMENT wird eine interaktive Arbeit mit sehr guten Reaktionszeiten möglich. Die strikte Einhaltung des CGI-Standards gewährleistet die Kompatibilität zu entsprechenden grafischen Programmpaketen.

A7100-Grafik / Krannich, H.-D. – In: Mikroprozessortechnik. – Berlin 3 (1989) 3. – S. 67–70, 13 Abb., 4 Lit.

Das leistungsfähige, grafische Subsystem des A7100 kann mit der Betriebssystemerweiterung SCP-GX für den Anwender nutzbar gemacht werden. Auf Grundlage von Fortran 77 wird für den Anwender eine Bibliothek von Unterprogrammen zur Verfügung gestellt. Eine einheitliche Realisierung für diese Zielstellung wird mit den Programmiersprachen Turbo-Pascal, Fortran 77 und C vorgestellt. Alle erstellten grafischen Programme lassen sich auf Quelltextebene ohne

Schwierigkeiten auf den A7150 (DCP) übertragen.

Flutkatodensysteme – flächenhafte Elektrodenquellen für Flachdisplays / Tischer, M. – In: Elektronik. – München 36 (1989) 1. – S. 59–63, 8 Abb., 8 Lit.

Flachbildröhren stellen eine Form der Farb bildröhre dar, die auch für flache Displays geeignet ist, und wurden in der Vergangenheit in unterschiedlichen Prototypen vorgestellt, die alle keine durchgreifende praktische Bedeutung erlangten. Man ist zu Lösungen gelangt, die eine Reduzierung der Steuerebenen bei gleichzeitigem Multiplexbetrieb gestatten, wobei eine flächenhafte Katode bzw. ihre Simulation angestrebt wird, die auch eine räumliche Selektion und die Möglichkeit einer Helligkeitssteuerung aufweist. Durch zusätzliche Potentialebenen in Form von Drahtstrukturen zwischen Katode und Anode gelingt es, relativ große Ströme aus den Katodendrähten zu ziehen und gleichzeitig eine Fokussierung in Gestalt eines Elektronenbündels zu erreichen. Durch eine passende Beschaltung der Zieh- und Katodendrähte wird das entsprechende Elektronenbündel an- oder abgeschaltet, so daß man im Katodenraum eine Auswahl der Zeilenbereiche vornehmen kann.

PAL-bildkompatibles HDTV: Chance oder Irrtum? / Werz, S. – In: Fernseh & Kinotechnik. – Heidelberg 43 (1989) 1. – S. 7–8

Die Diskussion um ein 50-Hz/1250-Zeilen- oder 60-Hz/1125-Zeilen-Hochzeilenfernsehsystem geht lediglich von einer erzielbaren technischen Kompatibilität (Abwärtskompatibilität) zu heutigen oder MAC-Fernsehnormen aus. Wesentlich ist es aber, auch die Bildkompatibilität von HDTV zu D2-MAC und PAL/SECAM zu berücksichtigen, worunter man die informationsseitig ausreichende Darstellung eines aufgenommenen HDTV-Bildes mit einem Bildseitenverhältnis von 5,33 : 3 auf einem herkömmlichen Bildschirm (4 : 3) ohne Verlust wesentlicher Bildinhalte versteht. Die Aufnahme zweier Bilder, eins für HDTV und eins für das herkömmliche Fernsehen, ist nicht möglich. Einen Ausweg bietet hier ein Verfahren, das es bei der Produktion in der HDTV-Kamera ermöglicht, den jeweils für das kleinere Bildformat und die kleinere Bildwiedergabe optimal geeigneten Bildausschnitt (z. B. Ball + Spieler) frei auszuwählen, wobei Variationsmöglichkeiten für die Bildverkleinerung zwischen 1 : 1 und 1 : 2,5 vorhanden sind, so daß der PAL/SECAM-Bildschirm immer voll ausgenutzt und die Auswahl-Maske im HDTV-Bildfeld frei verschiebbar ist. Diese Bildauswahl ist von einem zweiten Kameramann oder Bildregisseur vorzunehmen. Die dazu notwendige Einrichtung (intelligenter Normenwandler) kann auch eine 60-Hz-/50-Hz-Wandlung vornehmen.

Elektrolumineszenz im Vergleich zu anderen flachen Bildschirmtechnologien / Tröller, G. – In: Fernseh & Kinotechnik. – Heidelberg 43 (1989) 1. – S. 9–16, 18, 4 Abb., 4 Tab., 38 Lit.

Die heute erforschten Technologien für den flachen Fernseh- und HDTV-Bildschirm umfassen den Flüssigkristall-(LCD-), den Vakuum-Fluoreszenz-(VFD-), den Plasma-(PDP-), den Elektrolumineszenz-(EL-)Bildschirm und die flache Bildröhre. Die besten Ergebnisse konnten bisher mit LCDs erzielt werden, wie eine Anzahl kleiner Farbfernsehgeräte mit kleinen LCDs beweisen. Leider ist hier der Kontrast vom Winkel abhängig, unter dem die Anzeige gesehen wird. In jüngster Zeit hat die EL-Technik auf sich aufmerksam gemacht, mit der sich auch farbige flache Bildschirme – allerdings mit geringer Leuchtdichte – aufbauen ließen. Auf diesem Gebiet ist eine starke Forschungskonzentration zu beobachten, so daß bald mit weiteren Neuerungen zu rechnen ist. Alle Technologien werden in einer Tabelle zusammenfassend verglichen.

IBC 1988 in Brighton/England / Kaldenberg v., R. – In: Fernseh & Kinotechnik. – Heidelberg 43 (1989) 1. – S. 30–35, 7 Abb.

Der Beitrag gibt einen Überblick über die wichtigsten Neuerscheinungen im Bereich der digitalen Aufzeichnung, der analogen Aufzeichnung und bei den Kameras. Die Ausstellung zeigte auch, daß das digitale Zeitalter im Studio nicht erst begonnen hat, sondern daß man sich schon mittendrin befindet. Für das digitale D2-Format wurden die Videorecorder VPR-300 (Ampex) und DVR-100 (Sony) gezeigt, für das Komponentenformat D1 das DCR-100. Weitere Digitalgeräte umfassen Bildmischer, Zeichen- und Farbgeneratoren. Bei der analogen Bildspeicherung dominieren Betacam und Betacam-SP, MII sowie S-VHS für den Industriebereich. Das Angebot an CCD-Kameras ist groß, trotzdem kann sich die Röhrenkamera weiter behaupten, wie auch eine neue Aufnahme röhre (APD-Röhre) zeigt.

Das Bildanalyse-System IBT/ Powollik, D.; Westendorf, Ch.-M.; Fritsch, K. – In: Bild und Ton. – Leipzig 42 (1989) 9. – S. 261–265, 2 Abb., 5 Lit.

Der Beitrag stellt das am Zentralinstitut für Kybernetik und Informationsprozesse der Akademie der Wissenschaften der DDR auf der Basis modernster Schaltkreistechnologie neu entwickelte Bildanalyse-System IBT vor. Dieses System vereint in sich die interaktive Bildverarbeitung mittels Videoprocessor und die industrielle Bilderkennung. Schwerpunkte des Beitrags sind die Systemgestaltung, der gerätetechnische Aufbau sowie die Softwareversorgung.

Bestimmung der Farbanteile mehrfarbiger Druckvorlagen mit bildanalytischen Methoden/ Uebel, W.; Friedrich, A.; Hoffmann, H. – In: Bild und Ton. – Leipzig 42 (1989) 9. – S. 270–273, 5 Abb., 4. Umschlagseite, 1 Tab., 11 Lit.

Für die automatische Farbgebungssteuerung im Mehrfarbendruckprozeß ist die Bestimmung der Farbanteile der Primärdruckfarben am gedruckten Bogen Voraussetzung. Auf der Grundlage des Neugebauer-Gleichungssystems können die Flächendeckungsgrade der Buntfarben durch fotoelektronische Messung der Farbvalenzen bestimmt werden. Für die Farbe Schwarz wird der Flächendeckungsgrad mit Bildanalysemethoden ermittelt, indem vom Meßsegment mittels einer CCD-Flächenkamera drei Farbauszugsbilder erstellt werden.

Verfahren zur digitalen Bildkorrelation in multitemporalen Wetterbildern. IV. Experimentelle Untersuchungen zu Vergleichsmaßen, Anwendungsbeispiele/ Creutzburg, R.; Grundmann, H.-J. – In: Bild und Ton. – Leipzig 42 (1989) 9. – S. 281–285, 15 Abb., 2. Umschlagseite, 42 Lit.

Nach den ersten drei Teilen dieser Arbeit (siehe die Hefte 12/1987, 1/1988 und 1/1989) beendet dieser vierte Teil die Beitragsserie mit Betrachtungen zur Anwendung des stochastischen Korrelationsverfahrens. Es wurden außerdem experimentelle Untersuchungen zu Vergleichsmaßen angegeben sowie Anwendungsbeispiele zu den vorgestellten Korrelationsverfahren zur Bestimmung von Wolkenbewegungen.

KONDENSATOR-MIKROFONE

▶ Studio-Mikrofone SMS 70 u. a.

▶ Drahtlose Studio-Übertragungsanlagen

▶ Meßmikrofone 20 Hz...100 kHz

Fordern Sie bitte unsere Prospekte an!

RFT·VEB MIKROFONTECHNIK GEFELL

DDR·6552 Gefell·Telefon 262·Telex 58-8843

Exporteur: ELEKTROTECHNIK EXPORT-IMPORT

Volkseigener Außenhandelsbetrieb der DDR

DDR·1020 Berlin, Alexanderplatz·Haus der Elektroindustrie

Konstruktion von Bildanalyseprogrammen für die Echokardiografie/ Heße, R.; Klette, R. – In: Bild und Ton. – Leipzig 42 (1989) 9. – S. 265 bis 269, 5 Abb., Titelbild, 9 Lit.

Für die Echokardiografie ist eine Vielzahl von Bildinformationen unter verschiedenen Gesichtspunkten mittels digitaler Bildverarbeitung interaktiv zu analysieren. Als Alternative zu wiederholten, zeitaufwendigen menügesteuerten Analysedurchläufen kann ein Programmkonstruktions-System eingesetzt werden, welches im einfachen Dialog zunächst ein Programm in einer Zielsprache generiert, das im Anschluß zeiteffektiv für die wiederholten Analyseprozesse einzusetzen ist. Es werden ein Programmkonstruktions-System beschrieben und beispielhaft Ausführungen zur Spezifizierung einzelner Analyseschritte gemacht.

Entwicklung von Texturanalysemethoden für die Fertigwarenschau in der Bekleidungsindustrie/ Fritsch, K.; Rösler, U.; Tufiş, I. – In: Bild und Ton. – Leipzig 42 (1989) 9. – S. 274–277, 8 Abb., 4. Umschlagseite, 6 Lit.

Die Lösungssätze für die automatische visuelle Inspektion von Textilien (die automatische Fertigwarenschau) beruhen auf der Texturanalyse. Ein auf der statistischen Texturanalyse beruhendes Verfahren für unifarbene Stoffe wird beschrieben, seine Erweiterung auf grob gemusterte Stoffe im Konzept vorgestellt. Für die Inspektion fein gemusterter Stoffe wird der erste Verfahrensschritt dargestellt, der das Auffinden grautonhomogener Textur-elemente beinhaltet.

Prüf- und Meßfilme

zur Qualitätskontrolle
und Justierung
filmtechnischer Geräte
und Anlagen

35 mm · 16 mm · 8 mm



Hersteller:

**VEB DEFA-Studio
für Spielfilme**

Hauptabt. Neue Technik
August-Bebel-Str. 26–53
1590 Potsdam-Babelsberg

Verkauf für das Ausland durch den

DEFA-AUSSENHANDEL
Volkseigener Außen-
handelsbetrieb der
Deutschen Demokra-
tischen Republik
Milastraße 2
DDR - 1058 Berlin

Ausführlich informiert Sie der Katalog

В последней четвертой части этой работы (см. № 12/1987, № 1/1988 и № 1/1989) налагаются возможности применения стохастического метода корреляции. Кроме того, здесь приведены результаты экспериментальных исследований сравнительного характера, а также примеры применения изложенного метода корреляции для определения движения облаков.

The Image Analysis System IBT / Powollik, D.; Westendorf, Ch.-M.; Fritsch, K. — In: Bild und Ton. — Leipzig 42 (1989) 9. — S. 261–265, 2 Abb., 5 Lit.

The article introduces the image analysis system IBT newly developed at the Zentralinstitut für Kybernetik und Informationsprozesse (Central Institute of Cybernetics and Information Processes) of the Academy of Sciences of the GDR on the basis of the latest circuit technology. This system combines interactive image processing by means of a video processor with industrial image recognition. Main subjects of the article are the system design, the apparatus construction and software supply.

Construction of Image Analysis Programs for Echo Cardiography / Heße, R.; Klette, R. — In: Bild und Ton. — Leipzig 42 (1989) 9. — S. 265–269, 5 Abb., Titelbild, 9 Lit.

For echo cardiography a great number of image information has to be interactively analyzed under various aspects by means of digital image processing. As an alternative to repeated time-consuming menu-controlled analysis passes a program construction system can be used which in simple first generates a program in a target language which may be subsequently used time-effectively for its repeated analysis processes. A program construction system is described and examples of specification of individual analyzing steps are given.

Determination of the Colour Proportions of Multi-colour Printing Originals by Image-analytical Methods / Uebel, W.; Friedrich, A.; Hoffmann, H. — In: Bild und Ton. — Leipzig 42 (1989) 9. — S. 270–273, 5 Abb., 4. Umschlagseite, 1 Tab., 11 Lit.

For automatic coloration control in multi-colour printing processes the determination of the colour proportions of the primary printing inks on the printed sheet is a first condition. On the basis of the Neugebauer equation system the surface covering degrees of the chromatic colours can be determined by photoelectric measurement of the colour valences. For the colour black the surface covering degree is ascertained by image analysis methods by making three colour separations of the sector measured by means of a CCD surface camera.

Development of Texture Analysis Methods for Finished Product Inspection in the Clothing Industry / Fritsch, K.; Rösel, U.; Tuffis, I. — In: Bild und Ton. — Leipzig 42 (1989) 9. — S. 274–277, 8 Abb., 4. Umschlagseite, 6 Lit.

The solution methods for automatic visual inspection of textiles (automatic finished product inspection) are based on texture analysis. A method for unicolor fabrics based on statistical texture analysis is described and its extension to coarsely figured fabrics is described in theory. For the inspection of finely figured fabrics the first step of the process is described comprising the finding of texture elements in homogeneous gray tones.

Cell Lists in Cartography / Kovalevski, W. — In: Bild und Ton. — Leipzig 42 (1989) 9. — S. 278–280, 4 Abb., 4. Umschlagseite, 1 Tab.

A new data structure for economical storage of segmented images without loss of information is presented. The structure has been successfully used for object recognition and for solving various geometrical problems. On the basis of the described structure a conception of a data base for the storage and processing of cartographical and geographical data has been developed.

Method for Digital Image Correlation in Multitemporal Weather Images. IV. Experimental Studies Concerning Comparison Dimensions, Examples of Application / Creutzburg, R.; Grundmann, H.-J. — In: Bild und Ton. — Leipzig 42 (1989) 9. — S. 281–285, 15 Abb., 2. Umschlagseite, 42 Lit.

After the first three parts of this work (see number 12/1987, 1/1988 and 1/1989) this fourth part finishes the series of articles by considerations on the application of the stochastic correlation method. Moreover, experimental studies on comparison dimensions are described and examples of application of the presented correlation methods for determining cloud motions are given.

Le système d'analyse d'image IBT / Powollik, D.; Westendorf, Ch.-M.; Fritsch, K. — dans: Bild und Ton. — Leipzig 42 (1989) 9. — p. 261–265, 2 fig., 5 réf.

Les auteurs présentent le système d'analyse IBT, développé sur la base des technologies les plus actuelles en matière de circuits intégrés au sein de l'Institut Central pour la Cybernétique et les Processus d'Informatique de l'Académie des Sciences de la R.D.A. Ce système réunit le traitement d'images interactif par processeur vidéo et l'identification d'image de la télévision industrielle. Sont présentés la configuration du système, l'appareillage et les logiciels.

La construction de programmes d'analyse d'image pour l'application dans la cardiographie par écho / Heße, R.; Klette, R. — dans: Bild und Ton. — Leipzig 42 (1989) 9. — p. 265–269, 5 fig., page titre, 9 réf.

Dans la cardiographie par écho, une multitude d'informations d'image doit être analysée en mode interactif à l'aide du traitement d'image numérique et sous les aspects les plus divers. Les auteurs proposent, en alternative aux opérations répétitives de l'analyse commandée par menu, l'emploi d'un système de construction de programmes. Ce système sert à générer d'abord un programme en langage d'exécution, mis au point par dialogue simple, et ce programme est ensuite appliqué aux processus d'analyse caractérisés par des opérations répétitives. Un tel système de construction de programmes est décrit dans l'article, et des étapes d'analyse individuelles y sont spécifiées à titre d'exemple.

La détermination des fractions de couleurs dans les clichés multicolores à l'aide de méthodes d'analyse d'image / Uebel, W.; Friedrich, A.; Hoffmann, H. — dans: Bild und Ton. — Leipzig 42 (1989) 9. — p. 270–273, 5 fig., verso du numéro, 1 tab., 11 réf.

La commande automatique de la coloration dans les processus d'impression multicolore repose sur la détermination des fractions des couleurs primaires sur la feuille d'impression. Sur la base d'un système d'équations d'après Neugebauer, les degrés de couverture en couleur par unité de surface pourront être déterminés par mesure photoélectrique des valences de couleur. Pour déterminer la fraction noire, le degré de couverture de la surface est mesuré à l'aide de méthodes d'analyse d'image de trois extraits de couleur obtenus avec un capteur d'image à CCD matriciel.

L'étude de méthodes d'analyse de texture pour l'inspection visuelle dans l'industrie textile / Fritsch, K.; Rösel, U.; Tuffis, I. — dans: Bild und Ton. — Leipzig 42 (1989) 9. — p. 274–277, 8 fig., verso du numéro, 6 réf.

Le chemin de la solution du problème de l'inspection visuelle automatisée de textiles est celui de l'analyse de texture. Les auteurs décrivent un procédé d'analyse statistique applicable aux tissus unicolores, et la conception étudiée pour l'appliquer aussi à des tissus à dessins macrogéométriques. Pour l'inspection de tissus à dessins microgéométriques, les auteurs proposent une première étape d'analyse permettant l'identification des éléments de texture à valeurs de gris homogènes.

L'emploi de catalogues de cellules dans la cartographie / Kovalevski, W. — dans: Bild und Ton. — Leipzig 42 (1989) 9. — p. 278–280, 4 fig., verso du numéro, 1 tab.

L'auteur présente une nouvelle structure de données permettant, à moins de capacité de mémoire nécessaire, le codage d'images par segments sans perte d'information. Cette structure de données a déjà servi pour identifier des objets et pour résoudre de nombreux problèmes géométriques. Sur la base de cette structure, l'auteur a développé une conception pour une base de données servant à mémoriser et à traiter des données cartographiques et géographiques.

Procédés de corrélation numérique des images météorologiques multitemporales. IV. Etudes expérimentales sur des mesures comparatives. Exemples d'application / Creutzburg, R.; Grundmann, H.-J. — dans: Bild und Ton. — Leipzig 42 (1989) 9. — p. 281–285, 15 fig., verso de la page titre, 42 réf.

Après la publication des parties I à III de cet article (voir les numéros 12/87, 1/88 et 1/89), la partie IV termine le traitement de ce sujet par des considérations sur l'application du procédé de corrélation stochastique. Les auteurs rapportent en outre de leurs études expérimentales sur des mesures comparatives et donnent des exemples d'application du procédé de corrélation pour déterminer les mouvements de nuages.

Система обработки изображения IBT / Powollik, D.; Westendorf, Ch.-M.; Fritsch, K. — In: Bild und Ton. — Leipzig 42 (1989) 9. — S. 261–265, 2 Abb., 5 Lit.

Вниманию читателя предлагается разработанная Центральным институтом кибернетики и информационных процессов при Академии наук ГДР на базе современной технологии интегральных схем система обработки изображения. Эта система объединяет в себе интерактивную обработку изображения с помощью видеопроцессора и промышленное распознавание изображений. В центре внимания стоят такие вопросы как, например: иложение системы, техническая структура приборов, а также программное обеспечение.

Конструкция программ анализа изображений для эхокардиографии / Heße, R.; Klette, R. — In: Bild und Ton. — Leipzig 42 (1989) 9. — S. 265–269, 5 Abb., Titelbild, 9 Lit.

В сфере эхокардиографии необходимо интерактивным путём анализировать обширную информацию в виде изображений в различных аспектах на основе цифровой обработки изображений. Альтернативой этим повторяющимся, длительным, управляемым с помощью меню процессам может послужить система конструкций программ, которая сначала в форме простого диалога генерирует программу на одном целевом языке, которую потом при повторении процессов анализа можно использовать с меньшей затратой времени. В статье приводится описание.

Определение доли краски многокрасочных оригиналов методом анализа изображений / Uebel, W.; Friedrich, A.; Hoffmann, H. — In: Bild und Ton. — Leipzig 42 (1989) 9. — S. 270–273, 5 Abb., 4. Umschlagseite, 1 Tab., 11 Lit.

Для автоматической подачи краски в процесс многоцветной печати важной предпосылкой является определение доли первой краски на печатной полосе. На основе системы уравнений Нойгебауэра степень покрытия площади цветными красками можно определить с помощью фотоэлектронного замера характеристики цвета. Что касается чёрной краски, то здесь степень покрытия площади определяется методом анализа изображений, при этом с помощью плоскостной камеры — CCD изготавливаются три цветодобных снимка измеренного сегмента.

Разработка методов анализа текстуры для контроля готовых изделий в производстве одежды / Fritsch, K.; Rösel, U.; Tuffis, I. — In: Bild und Ton. — Leipzig 42 (1989) 9. — S. 274–277, 8 Abb., 4. Umschlagseite, 6 Lit.

Набор элементов для автоматической визуальной инспекции текстильных материалов (автоматический контроль готовых изделий) основывается на анализе текстуры. В статье приводится описание метода статистического анализа текстуры для одноцветных материалов и рассказывается о концепции расширения этого метода на материалы с грубым рисунком. Приводится также описание первого шага для контроля материалов с мелким рисунком, включающего в себя нахождение гомогенных серотонных элементов текстуры.

Структура данных в картографии / Kovalevski, W. — In: Bild und Ton. — Leipzig 42 (1989) 9. — S. 278–280, 4 Abb., 4. Umschlagseite, 1 Tab.

Представлена новая структура данных для экономного кодирования сегментированных изображений без потери информации. Эта структура была успешно использована для распознавания объектов и решения ряда геометрических задач. На её основе разработана база данных для хранения и обработки картографической и географической информации.

Метод цифровой корреляции изображений в мульти-темпоральных метеорологических снимках. IV. Экспериментальные исследования сравнительного характера, применение / Creutzburg, R.; Grundmann, H.-J. — In: Bild und Ton. — Leipzig 42 (1989) 9. — S. 281–285, 15 Abb., 2. Umschlagseite, 42 Lit.

Hinweise für unsere Autoren

Damit die Zusammenarbeit zwischen Ihnen als Autor und uns, der Redaktion, von unnötiger Kleinarbeit befreit wird, unsere Partnerschaft mehr inhaltlicher Art sein kann und letztendlich die Qualität der Zeitschrift „Bild und Ton“ weiter ansteigt, bitten wir, beim Anfertigen von Manuskriptseiten künftig folgende Hinweise zu beachten.

Das Manuskript besteht aus den Teilen Textmanuskript, Tabellen, Literatur, Fußnoten, Bildunterschriften, Inhaltsreferat (max. 10 Manuskriptzeilen à 63 Anschläge), das heißt, jeder Teil beginnt auf einer neuen Seite, sowie dem Bildmanuskript.

1 ■ Das Textmanuskript beginnt mit einer nicht zu langen Überschrift, darunter stehen in der Reihenfolge die Angaben über den Autor und seine Arbeitsstelle. Die **Autorenangaben** sind: **akademischer Grad, ausgeschriebener Vorname und Familienname.**

Beispiel (frei erfunden)

Möglichkeiten der Shadingkorrektur

Prof. Dr. sc. techn. Raimund Horlbach, Wilhelm-Pieck-Universität Rostock, Sektion Physik

2 ■ Unter diesen Angaben folgen auf der 1. Manuskriptseite lediglich **20 (!) Zeilen**, alle anderen Manuskriptseiten beinhalten 30 Zeilen (zweizeilig geschrieben, 63 Anschläge/Zeile). Computerausdrucke müssen die gleiche Qualität haben wie Schreibmaschinentexte (ä statt ae usw., kontrastreiche Schrift, abgeteilte Worte, rechts nicht auf Rand bündig usw.).

Bei Verweisen auf Abbildungen im fortlaufenden Text bitten wir, den Begriff „Bild ...“ zu verwenden.

3 ■ Fußnoten kennzeichnen im laufenden Text hochgestellte Ziffern mit einer Klammer. Die Texte der Fußnoten stehen auf einem gesonderten Blatt.

4 ■ Mehrere Literaturverweise zu einer Problematik sind einzeln, durch Komma getrennt, aufzuführen.

Beispiel

In [1], [2], [3] und [4] verweisen die Autoren auf ...

5 ■ Die Literaturangaben am Schluß des Beitrags haben folgende Form (und beginnen auf einer neuen Manuskriptseite):

Literatur

[1] Ein Gerät zur Untersuchung der visuellen Leistung / Müller, A.; Claus, B.; Albrecht, C.-H. – In: Bild und Ton. – Leipzig 35 (1982) 2. – S. 37–42

[2] Videotechnik / Meyer, Kurt; Haffrich, Bernd. – VEB Fachbuchverlag Leipzig, 1965. – 312 S.

6 ■ Bildunterschriften beginnen auf einer neuen Manuskriptseite und werden wie folgt beschrieben:

1a, b Die Kennlinien der beiden Systeme zeigen ab 200°C einen deutlichen Anstieg.

a

b

2 Schema, welches den Ablauf des Prozesses verdeutlicht.

7 ■ Für das Bildmanuskript sind **Strichzeichnungen** in sauberer Ausführung als Skizze anzufertigen. Wenn sie vom Autor schon mit schwarzer Tusche auf Transparentpapier gezeichnet werden können, muß bei der späteren Wiedergabe in der Zeitschrift die Schrift noch minimal 2 mm groß sein. Es kommen 59 mm, 91 mm, 122 mm oder 185 mm breite Bilder in Frage.

In derselben Größe werden **Schwarzweißhalbtöne (Fotos)** im fortlaufenden Text veröffentlicht. Als Original dienen in diesem Fall Kopien möglichst zwischen etwa 7 cm × 10 cm und 18 cm × 24 cm Größe.

Als **farbige Bildvorlagen**, welche auf dem Titelbild oder auf der 4. Umschlagseite gedruckt werden können, eignen sich Diapositive (Format 24 mm × 36 mm und größer) sowie Farbpapierbilder (Formate wie bei Schwarzweißhalbtönen oder größer).

Für das Titelbild können mehrere Dias angeboten werden, für die 4. Umschlagseite möglichst nur eins, und zwar im Hochformat. Das gleiche gilt für Schwarzweißbildangebote für die Umschlagseiten.

Übersendung des Manuskripts

Das komplette Textmanuskript (**zweifach**) sowie ein Bildmanuskript senden Sie bitte an den

VEB Fotokinoverlag Leipzig, Redaktion „Bild und Ton“, PF 67, Leipzig, 7031

Sonderdrucke können wir aus technischen Gründen leider nicht liefern. Statt dessen können zum Autorenrabatt (1,13 M statt 1,50 M) Sonderexemplare der gesamten Zeitschrift zur Verfügung gestellt werden. Falls Sie solche beziehen möchten, teilen Sie uns dies bitte bei der Manuskripteinsendung mit. Zwischen fünf und fünfzig (im Sonderfall auch noch mehr) Zeitschriften können Sie so erhalten.

Für Ihr Entgegenkommen danken wir.

BILD UND TON erscheint als wissenschaftliche Zeitschrift für visuelle und auditive Medien.

Herausgeber: Prof. Dr. Albert Wilkening, Stahnsdorf, 1533

BILD UND TON erscheint im VEB Fotokinoverlag Leipzig, Karl-Heine-Straße 16, Leipzig, 7031; Fernruf: 4950168; Fernschreiber: Leipzig 051451.

Verlagsdirektor: Dr. Erhard Walter; Chefredakteur der Zeitschriftengruppe: Roland Brinisch; Redaktion: Lothar Prangel (verantwortlicher Redakteur), Andreas Huth.

Zuschriften an die Redaktion: BILD UND TON, PF 67, Leipzig, 7031

Redaktionsbeirat: Dipl.-Ing. Gerhard Cepnik, Ministerium für Kultur, HV Film; Dr. Ulrich Diedrich, Technische Universität Otto von Guericke, Magdeburg; Prof. Dr. sc. nat. Joachim Epperlein, TU Karl-Marx-Stadt; Obering. Klaus Flechtner, DEFA-Studio für Spielfilme, Potsdam-Babelsberg; Dr. Siegmund Hecht, Technische Hochschule Ilmenau; Dr. Gerhard Jehmlich, Kombinat VEB Carl Zeiss JENA; Prof. Dr. sc. nat. Johann-Albrecht Keller, DEFA-Zentralstelle für Filmtechnik; Dr. sc. nat. Reinhard Klette, Akademie der Wissenschaften der DDR, ZI für Kybernetik und Informationsprozesse; Dr. Dieter Klinke, VEB Photopapierwerk Dresden; Dipl.-Ing. Joachim Kullmann, VEB Werk für Fernsehelektronik Berlin; Dr. Hans Lenk, ASMW Berlin; Dr. Peter Löhner, VEB Fotochemisches Kombinat Wolfen; Dr. Rainer Lotz, Staatliches Komitee für Fernsehen beim Ministerrat der DDR; Dipl.-Ing. Hans-Raimar Pohlitz, Rundfunk- und Fernsichttechnisches Zentralamt, Berlin; Prof. Dr. D. Schreiber, Informatikzentrum d. Ministeriums f. Hoch- und Fachschulwesen der TU Dresden; Dipl.-Kameramann Jürgen Schweinitz, NVWF; Dipl.-Ing. Rolf Unger, Kombinat VEB Carl Zeiss JENA

Veröffentlicht unter Lizenznummer 1048 des Presseamtes beim Vorsitzenden des Ministerrates der DDR. Gesamtherstellung: LVZ-Druckerei „Hermann Duncker“, Leipzig, Betriebsstell. Floßplatz, DDR.

Gestaltung: Helga Köhler.

Nachdrucke, Auszüge und Übersetzungen nur mit Quellenangabe und Zustimmung der Berechtigten über den Verlag gestattet.

Artikel-Nr. (EDV): 2035. ISSN 0006-2383. Verlags-Postamt Leipzig. Printed in GDR.

BILD UND TON erscheint einmal monatlich. Jahresbezugspreis 60,- DM, Preis pro Heft 5,- DM. Diese Preise gelten ausschließlich Mehrwertsteuer, Verpackungs- und Versandkosten.

Der gültige Jahresbezugspreis für die DDR ist der Postzeitungsliste zu entnehmen.

Anzeigenannahme: Für Bevölkerungsanzeigen alle Anzeigenannahmestellen in der DDR, für Wirtschaftsanzeigen der VEB Fachbuchverlag, PSF 349, Leipzig, 7010. Anzeigenpreise nach Preiskatalog Nr. 286/1. Anzeigenannahme für Aufträge aus dem Ausland: Interwerbung GmbH, Gesellschaft für Werbung und Auslandsreisen der DDR, Hermann-Duncker-Straße 89, Postfach 230, Berlin-Karlshorst, DDR-1157. Telex: 112 106.

Bezugsmöglichkeiten für die Zeitschrift:

In der DDR bei allen Postämtern und über den VEB Fotokinoverlag, Karl-Heine-Straße 16, Leipzig, 7031; in der UdSSR bei

allen Abonnementsannahmestellen von „Sojuzpetschatj“ in den Betrieben und Hoch- und Fachschulen wie auch bei den Agenturen von „Sojuzpetschatj“ und bei jedem beliebigen Postamt unter Angabe der ISSN-Nummer 0006-2383; in den anderen sozialistischen Ländern über den jeweiligen Postzeitungsvertrieb; in den übrigen Ländern über den internationalen Buch- und Zeitschriftenhandel, den VEB Fotokinoverlag, Karl-Heine-Straße 16, Leipzig, DDR-7031, und die Firma Buchexport, Volkseigener Außenhandelsbetrieb der DDR, Leninstraße 16, Leipzig, DDR-7010

Подписка на журнал принимается:

В СССР во всех пунктах подписки „Союзпечати“ на предприятиях, в вузах и техникумах, в агентствах „Союзпечати“ и в каждом почтамте указанием индекса журнала. В других социалистических странах общественными распространителями печати. Во всех остальных странах в международной книготорговле, через VEB Fachbuchverlag, Karl-Heine-Straße 16, Leipzig, DDR-7031, и через BUCHEXPORT, Volkseigener Außenhandelsbetrieb der DDR, Leninstraße 16, Leipzig, DDR-7010

Subscriptions of the journal are to be directed:

To the international book and journal trade, to the VEB Fachbuchverlag, Karl-Heine-Straße 16, Leipzig, DDR-7031, and to the BUCHEXPORT, Volkseigener Außenhandelsbetrieb der DDR, Leninstraße 16, Leipzig, DDR-7010

Il est possible de s'abonner à la revue:

Par l'intermédiaire du commerce de livres et journaux international, du VEB Fachbuchverlag, Karl-Heine-Straße 16, Leipzig, DDR-7010, et du BUCHEXPORT, Volkseigener Außenhandelsbetrieb der DDR, Leninstraße 16, Leipzig, DDR-7010

Drei Anwendungsbeispiele der digitalen Bildverarbeitung, die am Zentralinstitut für Kybernetik und Informationsprozesse der Akademie der Wissenschaften erarbeitet wurden. Oben: Bildanalyse eines Vierfarbendruckes (siehe Beitrag von Uebel u. a.); Mitte: Texturanalyse von Holzspanplatten (siehe Beitrag von Fritsch u. a.); unten: Anwendung von Zellenlisten in der Kartografie (siehe Beitrag von Kovalevskij).

