

Automatisierung der industriellen Warenschau bei komplex gemusterter Bahnenware - eine Herausforderung an die Bildanalyse

K.-H. Franke, C. Lucht
Technische Universität Ilmenau
Fakultät für Informatik und Automatisierung,
Fachgebiet: Graphische Datenverarbeitung
PF 100565, 98694 Ilmenau
E-Mail: karl-heinz.franke@prakinf.tu-ilmenau.de
carsten.lucht@rz.tu-ilmenau.de

Zusammenfassung

Dieser Beitrag widmet sich der automatischen Kontrolle von komplex gemusterter, mehrfarbiger Bahnenware am Beispiel der Textilproduktion und stellt dar, welche Anforderungen für die Bildverarbeitung hinsichtlich Gerätetechnik und Methodik entstehen. In diesem Zusammenhang werden anschließend Lösungsansätze zur Farbmusterunterdrückung als Teilproblem der textilen Oberflächeninspektion vorgestellt.

1 Einleitung

Die Gewährleistung von gleichbleibend hohen Qualitätsmerkmalen durch 100%-Kontrolle ist bei vielen Produkten inzwischen zu einem entscheidenden Argument im Wettbewerb geworden. Bei den meisten industriellen Prozessen herrscht der Trend zur Automatisierung dieser Aufgaben vor. Die wesentlichen Gründe dafür sind die Objektivierung der Kontrollergebnisse, die Reduzierung der Produktionskosten oder die Humanisierung der Arbeitswelt.

Die Prozeßüberwachung und Qualitätskontrolle strukturierter Oberflächen von bandförmigen, bewegten Materialien (Bahnenware) in der Textilproduktion und in Branchen mit ähnlichen Anforderungen (z.B. Holzverarbeitung) wird häufig noch mittels visueller Begutachtung durch den Menschen realisiert. Dies liegt u.a. an den hohen Anforderungen, die aus der Komplexität der Kontrollaufgabe bei gleichzeitig hohen Qualitäts- und Geschwindigkeitsvorgaben resultieren.

Dieser Beitrag widmet sich der automatischen Kontrolle von Bahnenware am Beispiel der Textilproduktion und präsentiert Zwischenergebnisse aus dem aktuellen AIF-Forschungsprojekt „Neue Bildverarbeitungstechnologien“. Im Zusammenhang mit wesentlichen Anforderungen an den Kontrollprozeß wird auf die Auswahl geeigneter Gerätetechnik (Kamera, Beleuchtung, Rechentechnik) eingegangen. Im Anschluß werden wichtige Aspekte der Aufgabenstellung hervorgehoben und anhand ausgewählter Lösungsansätze zu einem Teilproblem der textilen Oberflächeninspektion vertieft.

2 Problemstellung

Bei der Qualitätskontrolle in der Textilindustrie sind komplexe, großflächige und meist mehrfarbige Muster zu untersuchen, deren Beschreibungen von statistisch bis streng determiniert variieren. Gleichzeitig soll in der Mehrzahl der Fälle die Fein- oder Fadenstruktur der Textilware (z.B. Gewebe, Wirk- und Strickware) überwacht werden. Es ist also einerseits örtlich weitreichende Kontextinformation zu verarbeiten, andererseits muß eine hohe Grundauflösung realisiert werden, um die Parameter der Fadenstruktur zugänglich zu machen (bis zu 140 Fäden/cm bei synthetischen Geweben [1]).

Der Inspektionsprozeß erfolgt auf mehrere Meter breiten Warenbahnen mit hoher Transportgeschwindigkeit. In Abhängigkeit von Material und Verarbeitungsschritt können Geschwindigkeiten bis 200 m/min und mehr erreicht werden. Als wesentliche Randbedingung muß das rauhe, industrielle Umfeld angesehen werden. Neben Einflußfaktoren wie Lichtverhältnisse, mechanische Erschütterungen, Temperatur und Feuchtigkeit darf vor allem die Staubentwicklung nicht unterschätzt werden.

Bedingt durch die Art der Ware (vor allem Maschenware) und die gegenwärtig eingesetzten Maschinenstraßen kommt es zusätzlich zu Krumpfungs- und Verzugserscheinungen, die bei der Musteranalyse in geeigneter Weise berücksichtigt bzw. toleriert werden müssen. Andere Aufgabenstellungen setzen die genaue Messung des Rapportes sowie des Verzuges voraus, um ihn beim Ausrichten und Fixieren der textilen Waren zu korrigieren.

Die Palette der möglichen Fehler betreffend gibt es, wie bei den meisten Aufgaben dieser Art, keine umfassenden oder gar vollständigen Fehlerbeschreibungen. Dies liegt an der aufwendigen Fehlererfassung bei der industriellen Kontrolle, an zum Teil fehlenden bzw. schwer zu erstellenden Fehlerstatistiken und Fehlerklassen und an der Tatsache, daß mit veränderlicher Produktpalette immer wieder neuartige Fehler auftreten [2].

3 Anforderungen an das Inspektionssystem

Die Besonderheiten der Problemstellung führen zu hohen Anforderungen an die Komponenten des Inspektionssystems und damit zu starken Einschränkungen bezüglich der Geräteauswahl.

So muß bei der Bilderfassung auf die bewährten Laserscanner und Schwarz-Weiß-CCD-Kameras verzichtet werden. Sie sind für die Analyse von komplexen Farbmustern ungeeignet, auch wenn eine Ergänzung durch einzelne Farbsensoren ins Auge gefaßt wird. Aus heutiger Sicht können nur Farbmatrix- und vorrangig Farbzeilen-CCD-Kameras diese Aufgabe erfüllen. Hohe Bahngeschwindigkeiten und gleichzeitig sehr kleine Objektdetails erfordern sehr schnelle und hochauflösende Kamerasysteme. Beste Eignung besitzen dabei Farbzeilenkameras mit 3-CCD-Technologie (drei separate Zeilensensoren, Farbzuordnung wird durch dichroitische Strahlteilerprisma erreicht). Gegenüber einzeiligen Farbzeilenkameras sind deutliche Vorteile hinsichtlich Geschwindigkeit und erforderlicher Bildfeldgröße vorhanden. Kameras mit dreizeiligen Sensoren können aufgrund der starken Strukturierung von Textiloberflächen und der damit verbundenen Notwendigkeit einer exakten Synchronisation von Warenbewegung und Bildaufnahme (Vermeidung von Pseudofarben an Strukturkanten) nicht empfohlen werden. Bei vergleichenden Untersuchungen von aktuell am Markt angebotenen Farbzeilenkameras mußten

allgemein Schwächen bei der Sensorempfindlichkeit (insbesondere im blauen Farbkanal), der erreichbaren Zeilengeschwindigkeit und Auflösung festgestellt werden. Die Leistungsfähigkeit neuentwickelter Zeilensensoren läßt jedoch auf stark verbesserte Farbzeilenkameras in naher Zukunft hoffen.

Scharfe Abbildungen bei großen Geschwindigkeiten bedingen kurze Belichtungszeiten und somit leistungsstarke Beleuchtungssysteme. Des Weiteren müssen hohe örtliche Homogenität, zeitliche Beleuchtungskonstanz, gute Farbwiedergabe, tageslichtähnliche Farbtemperatur und nicht zuletzt eine hohe Lebensdauer gewährleistet werden. Die meisten konventionellen Beleuchtungssysteme genügen diesen Anforderungen nicht. Speziell bei Nutzung von Farbzeilenkameras müssen extrem lichtstarke Systeme eingesetzt werden. Prädestiniert für diese Aufgabe sind Halogen-Metaldampflampen, wobei nur einige wenige, ausgewählte Typen in Verbindung mit speziellen elektronischen Vorschaltgeräten die Gesamtheit der Anforderungen erfüllen. Alternativ können auch Kaltlichtquellen mit faseroptischer Querschnittswandlung auf Basis von Halogen- und Xenonbogenlampen eingesetzt werden. Bei Betrachtung des derzeitigen Marktes muß festgestellt werden, daß die Anzahl verfügbarer, geeigneter Beleuchtungssysteme sehr gering ist.

Die Verarbeitung der Bilddaten bei gleichzeitiger Bewältigung eines hohen Datenflusses bedarf einer leistungsstarken Rechentechnik mit angepaßter Verarbeitungsstruktur. Für die visuelle Oberflächeninspektion bedeutet dies nicht selten eine Abkehr von preiswerten Standardsystemen hin zu parallelverarbeitenden Architekturen und speziellen Beschleunigungskonzepten. Die für die In-line-Kontrolle erforderliche Echtzeitverarbeitung kann meist nur mit erheblichem Aufwand verwirklicht werden.

Ganz entscheidend für das Leistungsvermögen eines Inspektionssystems ist die verwendete Bildverarbeitungssoftware. Effiziente Algorithmen müssen sich durch hohe Ergebnisqualität, Geschwindigkeit, Adaptionfähigkeit, Stabilität, Bedienbarkeit und optimale Hardwareumsetzbarkeit auszeichnen.

Betrachtet man den gegenwärtigen Entwicklungsstand in der automatischen Warenschau, so ist feststellen, daß die Leistungsfähigkeit der verwendeten Systeme nicht ausreicht. Trotz der bereits erreichten hohen Erkennungssicherheit von Fehlern auf unifarbenen Materialoberflächen ist die Fehlerklassifikation noch mangelhaft. Am Markt fehlen Systeme, die über die Inspektion der Oberflächenstruktur hinaus eine schnelle Analyse komplexer Farbmuster ermöglichen. Neben der mäßigen Leistungsfähigkeit von Technik und Algorithmik zeichnen auch inakzeptabel hohe Preise dafür verantwortlich, daß die breite Markteinführung hochwertiger, automatischer Inspektionssysteme noch nicht gelungen ist.

Aus der geschilderten Situation leitet sich eine hohe Herausforderung an die Bildverarbeitungsbranche ab, die durch ständig wachsenden Bedarf an automatischer Qualitätskontrolle unterstrichen wird.

4 Resultierende Aufgaben für die Bildverarbeitung

Ausgehend von den bereits genannten Anforderungen ergeben sich für die Bildverarbeitung folgende Aufgabenstellungen:

- Vermessung des Musterrapportes und Bestimmung von Warenverzug

- Bewertung von Farbkonstanz und Formabweichung bezüglich einzelner Musterbereiche
- Überprüfung der Anordnung von Musterelementen, Ermittlung von Rapportversatz (z.B. bei Mehrfarbendruck)
- Detektion und Klassifizierung von Defekten in der Feinstruktur (z.B. Löcher, Fadenbrüche, Nester) sowie von Veredlungsfehler (z.B. Druckfehler) unter Nutzung spezifischer Fehlerkataloge

Diese Aufgabenstellung verlangt den Einsatz einer breiten Palette von Bildverarbeitungsalgorithmen. Den wesentlichen Schwerpunkt bilden dabei Verfahren aus der Farb- und Texturanalyse [3]. Darauf aufbauend ist eine Mustersegmentierung mit anschließender struktureller und morphologischer Analyse durchzuführen. Der gesamte Bildanalyseprozeß muß in Echtzeit realisiert werden.

Aufgrund der hohen Musterkomplexität und Geschwindigkeitsanforderung werden auch bildvergleichende Ansätze notwendig. Voraussetzung für den erfolgreichen Einsatz dieser Verfahren ist die genaue Bestimmung von Musterverzerrungen, welche aufgrund der flexiblen Materialeigenschaften von Textilien (Rapportunterschiede, Verzug) in verschiedener Ausprägung auftreten können.

Die Bewertung der Farbkonstanz erfordert zudem die Realisierung einer optimalen Farbkalibrierung, welche während des textilen Produktionsprozesses durchgeführt wird und den Inspektionsvorgang nicht entscheidend beeinträchtigen darf.

Anhand eines Lösungsansatzes zur Farbmusterunterdrückung auf Schlingenteppichbelägen soll die Problemstellung beispielhaft veranschaulicht werden.

5 Farbmusterunterdrückung als ausgewählter Lösungsansatz

Die Herstellung von Schlingenteppichbelägen erfolgt durch Aufknüpfen farbiger Wollfäden auf ein Trägermaterial. Je nach Art der Gestaltung der Teppiche entstehen dabei mehr oder weniger komplexe, farbige Muster. Innerhalb einer Qualitätskontrolle besteht nun die Aufgabe, die Vollständigkeit der Wollfäden sowie deren gleichmäßige Anordnung zu überprüfen.

Zur Lösung dieser Aufgabenstellung kann man aus einem großen Fundus an Texturalgorithmen schöpfen, welche jedoch vorrangig der Analyse von skalarem Bildmaterial dienen und deren Leistungsfähigkeit durch die Farbmusterung stark beeinträchtigt wird. Für die Verbesserung der Ergebnisqualität ist es zweckmäßig, die Farbmusterung zu unterdrücken. Bei der Reduzierung der Farbinformation muß gewährleistet sein, daß die Oberflächenstruktur der Teppichware weitestgehend erhalten bleibt. Als optimales Ergebnis wird eine grauwertige Schlingentextur ohne farbmusterbedingte Grauwertschwankungen erwartet. Eine fehlerminimale Bewertung der Oberflächentextur mit angepaßten Grauwertalgorithmen sollte dann möglich sein.

Für die Realisierung der Farbmusterunterdrückung sind verschiedene Verfahren einsetzbar. Eine Möglichkeit besteht in der Aufteilung des Farbraumes in mehrere Regionen, für die separate Histogramme bezüglich einer Lernmusterprobe gebildet werden. Von diesen Teilhistogrammen lassen sich Parameter ableiten, die eine anschließende Histogrammtransformation gestatten. Wesentliches Kriterium für den Erfolg dieser Methode ist die zweckmäßige Aufteilung des

Farbraumes. Dabei sind prinzipiell alle Farbräume geeignet, welche eine Differenzierung zwischen Helligkeit bzw. Intensität und Chrominanzkomponenten vornehmen. Als Beispiel sei ein von *Ohta* vorgeschlagener Farbraum angeführt [4]. Grundsätzlich bieten sich zwei Varianten für die Farbraumaufteilung an. Bei der ersten Variante wird der Farbraum zweidimensional nach den in (1) dargestellten Farbraumkomponenten I_2 und I_3 aufgeteilt. In der zweiten Variante wird lediglich der in (1) gezeigte Buntton B genutzt. Als histogrammbildendes Merkmal wird in beiden Fällen die Intensität I_1 verwendet.

$$I_1 = \frac{1}{3} \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{pmatrix}^T \underline{F}, \quad I_2 = \frac{1}{2} \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ -1 \end{pmatrix}^T \underline{F}, \quad I_3 = \frac{1}{4} \begin{pmatrix} -1 \\ 2 \\ -1 \end{pmatrix}^T \underline{F}, \quad B = \tan^{-1} \begin{pmatrix} I_2 \\ I_3 \end{pmatrix} \quad (1)$$

Sowohl die erste als auch die zweite Aufteilungsvariante führt zu einer deutlichen Homogenisierung des Textureindrucks.

Alternativ zu der eben beschriebenen Aufteilung des Farbraumes ist eine Farbsegmentierung unter Verwendung von Farbklassifikatoren möglich. Die Histogrammtransformation erfolgt dann bezüglich der Farbklassen. Unter Beachtung der hohen Geschwindigkeitsanforderungen sollte die Farbklassifikation bildpunktweise in Form einer Look-up-Tabelle erfolgen. Damit können für die Belehrung von Farbsegmentierung bzw. Farbklassifikation aufwendigere Verfahren (z.B. spezielle Clusteralgorithmen [2]) realisiert werden. Um homogene Farbsegmente zu erhalten, muß das Bild vorher geglättet werden. Hierzu lassen sich vorzugsweise schnelle, pyramidale Tiefpaßfilter einsetzen. Aufgrund der notwendigen Tiefpaßfilterung vor der Farbklassifikation ist dieser Ansatz im Vergleich zur erstgenannten Farbunterdrückungsmethode rechenaufwendiger, verhält sich jedoch in der Gesamtheit robuster.

Die verbesserte Fehlererkennung durch Anwendung der Farbunterdrückung veranschaulicht Abbildung 1 - 6. Auf den Bildausschnitt einer Teppichoberfläche (Abb.1) mit fleckenartiger Farbmusterstruktur wird die zweite Farbunterdrückungsmethode (Abb. 2, 4) und eine lineare Helligkeitsprojektion (Abb. 3) angewandt. Zur Auswertung der grauwertigen Oberflächenstruktur wird ein auf Gaborfilter basierendes Texturanalyseverfahren genutzt. Man kann feststellen, daß die linienhafte Fehlstelle (Schlingenmusterversatz) in der Bildmitte mit Farbmusterunterdrückung deutlich sicherer detektiert wird (Abb. 5, 6).

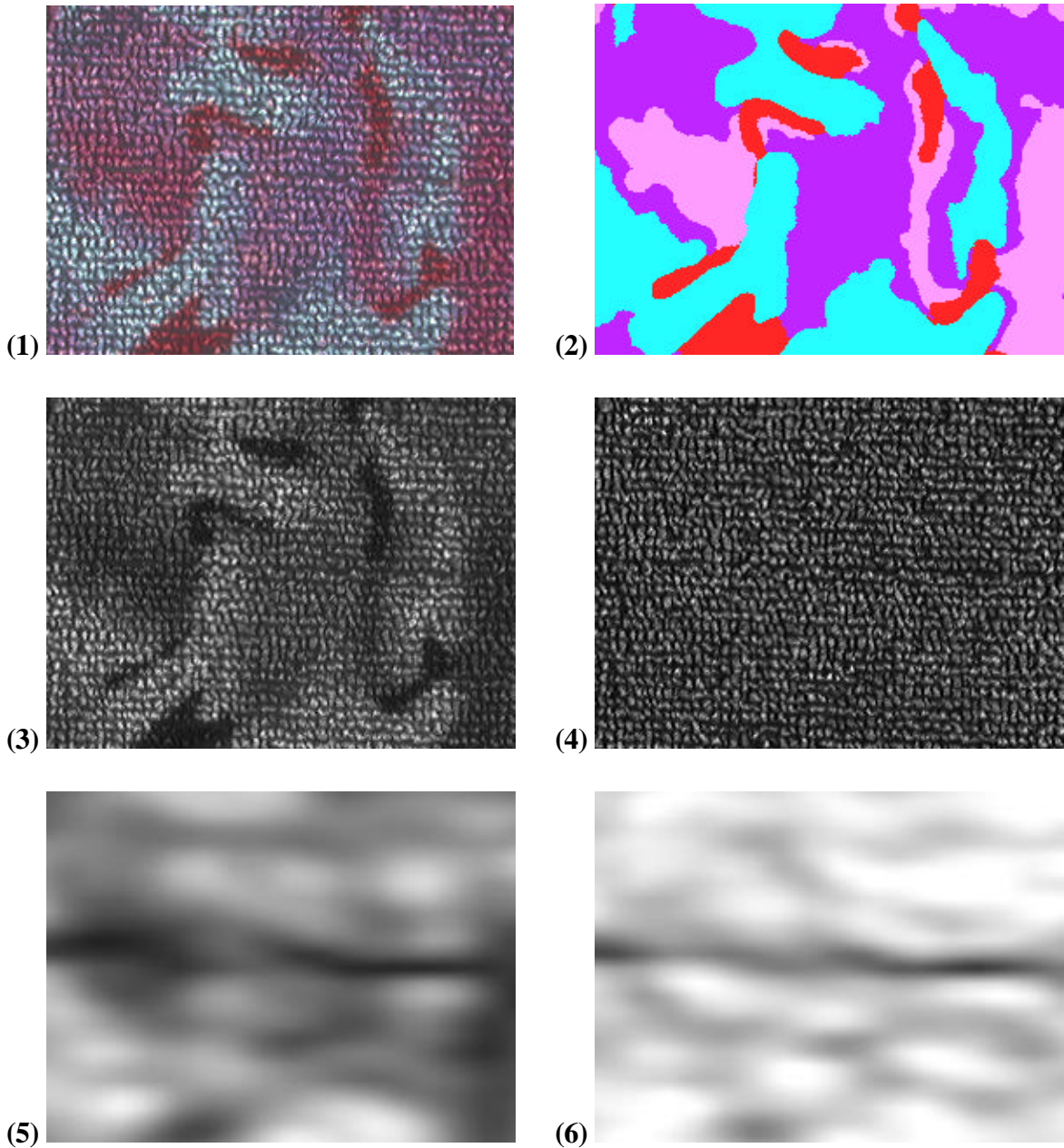
6 Resümee

Die automatisierte Warenschau von komplex gemusterten, mehrfarbigen Bahnenwaren stellt hohe Anforderung an alle Komponenten eines Bildverarbeitungssystems, so daß heutige Problemlösungen im Grenzbereich des Realisierbaren angesiedelt sind. Prinzipiell kann man jedoch einschätzen, daß für die Inspektion von farbigen und komplex gemusterten Textiloberflächen ein leistungsfähiges Methodenrepertoire zur Verfügung steht, auf dessen Basis eine Lösung der Aufgabenstellung in Angriff genommen werden kann. Bei anhaltend fortschreitender Hard- und Softwareentwicklung können in naher Zukunft erste, marktfähige Inspektionssysteme vorgestellt werden.

Literatur

- [1] Nickolay, B.; Schicktanz, K.-H.; Schmalfuß, H.: "*Automatische Warenschau*", *Studie für die Textilindustrie*, 1993
- [2] Franke, K.-H.; Machleidt, T.: "Farbpixelklassifikation mittels partitionierender Clusteralgorithmen und Vergleich mit neuronalen Ansätzen", in *Tagungsband 2. Nationaler Workshop Farbbildverarbeitung*, S. 61-64, 10.-11.10.1996, Schriftenreihe des ZBS e.V., ISSN 1432-3346, S. 61-64
- [3] Lucht, C.; Kempe, H.: "Der Farbaspekt in der Texturanalyse und die Erweiterung eines Texturseparationsverfahrens auf mehrkanalige Bilddaten" in *Tagungsband 2. Nationaler Workshop Farbbildverarbeitung*, S. 17-20, 10.-11.10.1996, Schriftenreihe des ZBS e.V., ISSN 1432-3346, S. 17-20
- [4] Ohta, Y.; Kanade, T.; Sakai, T.: "Color Information for Region Segmentation", S. 222-241, in *Computer Graphics and Image Processing 13*, 1980

7 Abbildungen



Farbunterdrückung und Detektion von Strukturfehlern in Teppichware

(Farbsegmentierungsmethode)

(1) fehlerhafte, farbige Teppichprobe (vergrößerter Abstand zwischen zwei Schlingenreihen in der Bildmitte), (2) Labelbild nach Farbsegmentierung (Clusteralgorithmus), (3) Helligkeitsbild der farbigen Teppichprobe, (4) Grauwertbild nach Anwendung der Farbunterdrückung, detektierter Strukturfehler (5) ohne (6) mit Farbunterdrückung