

Entwicklung von Zeilenkameras für den Einsatz in der Landwirtschaft

Dr.-Ing. Gert Schönfelder, Dresden

Der Arbeit befaßt sich mit den Besonderheiten der Bildverarbeitung unter den Bedingungen des Feldbaus. Aus den Anforderungen werden Merkmale für eine optimierte Kameratechnik für dieses Gebiet abgeleitet.

1. Zielstellung der Arbeiten

Am Institut Landmaschinen der TU Dresden befaßt man sich seit einigen Jahren mit dem Einsatz der Bildverarbeitung zur Bestimmung der Bestandskante vor einem Mähdrescher. Mit den dabei gewonnen Erfahrungen wurde eine spezielle Kameratechnik entwickelt.

Die entstandene Technik ermöglicht die Erfassung von Entfernungsprofilen im Raum von stochastischen Objekten. Es ist damit also möglich, Objektkanten und Stoffflüsse von landwirtschaftlichen Gütern zu bestimmen und zu überwachen.

2. Anforderungen an die Bildverarbeitung

Bei der Bildverarbeitung unter den Bedingungen des Feldbaus treten eine Reihe von Problemen auf, welche im Rahmen der Bearbeitung untersucht wurden und zu lösen sind.

2.1. Unterschiede BV Maschinenbau / Landtechnik

Die im Allgemeinen betrachtete Bildverarbeitung unter Echtzeitbedingungen bezieht sich zum überwiegenden Teil auf Problemstellung im Maschinen- und Anlagenbau sowie in der Prozeßmeßtechnik. Auf einige wesentliche Unterschiede soll hier eingegangen werden:

Lichtrichtung und Lichtintensität

Im Bereich der Landtechnik, vor allem bei der Feldbearbeitung, hat man auf die Richtung und Intensität der Beleuchtung keinen Einfluß. Die Richtung wird dabei von der Tageszeit und der Fahrtrichtung des Systems bestimmt, so daß die Beleuchtung der auszuwertenden Bereiche sehr zufällig sein kann. Die Beleuchtungsintensität hängt ebenfalls von der Tageszeit und der Wettersituation ab. Sie überstreicht etwa den Bereich von 1 Lux (einsetzende Dämmerung) bis zu 100.000 Lux (klarer Himmel im Hochsommer), was bei den meisten Kameras eine komplexere Regelung erfordert.

Die damit erforderliche Dynamik der Belichtung bringt den Verlust von Bildqualität mit sich, welche man im stationären Fall über Blende, Belichtungszeit und daraus resultierende Tiefenschärfe optimieren könnte.

Ausleuchtung

Die Ausleuchtung der Bildbereiche stellt ebenfalls ein großes Problem dar. In der freien Natur und unter undefiniertem Standort der Lichtquelle (Sonne) kommt es immer wieder zu Schattenbildung und Überstrahlungen im Bild. Diese Bildbereiche müssen ausgelassen werden oder erfordern einen hohen Rechenaufwand zur Korrektur dieser Fehlstellen.

Hintergrund

Da die Bildauswertung in natürlicher Umgebung erfolgt, beinhalten diese Bilder im allgemeinen außer dem betrachteten Objekt auch noch einen nicht interessierenden Hintergrund. Dieser hat prinzipiell die gleichen Eigenschaften wie der zu bestimmende Bildinhalt und kann dadurch nur schwer von diesem getrennt werden.

Definition der Objekte

Bei der Erkennung der Kanten eines Pflanzenbestandes ist nur eine unscharfe Definition der Begrenzungslinien möglich. Das kommt einmal durch die unregelmäßige Begrenzung der Pflanzen und ihre nicht durchgehend flächige Form.

Als Auswirkung dieser Probleme ist die erste Folge eine geringere Präzision der Messung der Objekteigenschaften. Auch gestalten sich die Methoden der „klassischen“ Bildverarbeitung recht aufwendig, so das sie im allgemeinen nicht in Echtzeit ausführbar sind. Gerade hier wirken sich stabile Beleuchtungsverhältnisse und klare, scharfe Konturen als beschleunigend auf die Auswertelgorithmen aus.

2.2. Arbeiten im freien Raum

Bestimmung von Entfernungen

Für die Bestimmung von Objekten vor einer Landmaschine ist eine räumliche Messung erforderlich. Diese kann mittels einer einfachen Kamera erfolgen, wenn im Bild natürliche oder künstliche Referenzgrößen enthalten sind. Die natürlichen Referenzgrößen sind dabei bekannte Ausmaße des Objektes oder eine definierte Entfernung vom Objekt zur Kamera. Die Einbringung künstlicher Referenzen kann durch Laserlicht oder Musterprojektionen auf das zu vermessende Objekt erfolgen.

Bestimmung der Objekte/Meßpunkte

Die zweite grundsätzliche Problemgruppe ist die Beschreibung des im Bild enthaltenen Objektes, was sich als sehr schwer erweist. Der Grund liegt in den diffusen Strukturen des Erntegutes (Getreide, Gras, ...), welches keine, oder zumindest nur eine sehr aufwendige, mathematische Beschreibung zuläßt. Hier wurde bewußt auf die Möglichkeiten der Objekterkennung und Strukturanalyse verzichtet, da die dafür bekannten Algorithmen sehr rechenzeitaufwendig sind und somit für eine Onlineverarbeitung ausscheiden. Die Orientierung geht dabei auf statistische Methoden des Bildvergleiches, welche algorithmisch einfacher sind, jedoch ein gut strukturiertes, detailreiches Bild erfordern. Es überwiegen dadurch die Methoden der Meßtechnik und Statistik gegenüber denen der „klassischen“ Bildverarbeitung bei der Bestimmung der Entfernung von Punkten im Bild.

Je markanter und detailreicher der betrachtete Bildabschnitt ist, um so genauer wird dabei die Entfernungsbestimmung. Aus diesem Grund ist ein Ziel der Arbeiten die Entwicklung von Hard- und Software zur Erfassung gut strukturierter Bildinformationen auch über einen großen Bereich der Lichtintensität.

Auswertegeschwindigkeit

Die Verarbeitung der Bilder auf der Landmaschine erfolgt in Echtzeit, was in diesem Fall die Auswertung von mehr als 20 Bildern pro Sekunde mit mehreren Meßpunkten je Bild bedeutet. Durch die Arbeit mit statistischen Methoden steigert sich die Stabilität der Aussagen mit einer

zunehmenden Anzahl von Meßpunkten. Diese Forderung wird noch verstärkt durch die großen Streuungen bei der Bestimmung der Meßpunkte im Bild und die inhomogene Frontfläche. Eine Erntemaschine bewegt sich mit Geschwindigkeiten bis zu 3m/s (ca. 11 km/h), was bei einer Bildrate von 25 Bildern je Sekunde bei Videokameras aller 12 cm eine Messung ergibt. Wünschenswert sind Meßabstände von 1..3 cm. Damit ist der Einsatz von Videotechnik nicht mehr problemlos möglich.

Bilderfassung

Durch den Umstand, das sich die Landmaschine gegenüber dem zu bestimmenden Objekt bewegt, kann die Bilderfassung auch in Form eines „Scanners“ erfolgen. Dabei ist im einfachsten Fall der Einsatz eines Zeilensensors möglich. Das gesamte Bild ergibt sich durch eine Zusammensetzung der Einzelzeilen über die Maschinenbewegung. Prinzipiell ist auch die Arbeit mit Videokameras möglich, wenn aus einem Bild mehrere „Zeilenbilder“ gewonnen werden. Es ist damit allerdings eine sehr aufwendige Korrekturrechnung erforderlich, um diese Bildzeilen mit Hilfe der Maschinenbewegung in ihre natürliche Reihenfolge im Raum zu sortieren.

2.3. Anforderungen an eine Kamera

Aus den bisher beschriebenen Problemstellungen lassen sich eine Reihe von Anforderungen für eine Kamera definieren, welche sich für den Einsatz unter den Bedingungen der Landwirtschaft eignet. Zu diesen Anforderungen zählen:

- "monolithisches" Stereosystem
- Erfassung (und Verarbeitung) von mehr als 100 Bildern/s
- Erweiterung des Dynamikbereiches der Helligkeitsregelung
- Ausblendung von Punktlichtern bei der Helligkeitsregelung
- Datenreduzierung und vorlaufende Bewertung der Bildinformation
- Bildaufbereitung (Filterung)
- kompakte Ausführung als "smart Sensor"
- preiswerte und einfache Herstellung

Für die Erstellung der erforderlichen Meßpunktzahlen ist klar, das eine Meßrate von mehr als 25 Bildern/s erforderlich ist. Damit scheidet Videotechnik aus und es muß auf Zeilenkameras zurückgegriffen werden. Mit diesen sind dann bis über 1000 Bilder/s realisierbar, was nur von der Auswertung und der Belichtung begrenzt wird. Die Anwendbarkeit schränkt sich damit allerdings auf Fließprozesse oder zueinander bewegte Systeme ein, was für die betrachteten Fälle allgemein zutrifft.

Ein wichtiger Punkt ist die Gestaltung der Belichtungsregelung in ihrem Umfang und ihren Regelkriterien. Hier liegt der Schwerpunkt in einem großen Regelbereich, um den großen Arbeitsbereich mit reiner Elektronik abdecken zu können. Es hilft in diesem Zusammenhang nicht immer, nur nach dem hellsten Punkt im Bild zu suchen oder feste Bildausschnitte für die Istgröße zu definieren.

Zur Entlastung der nachfolgenden Stufen zur Bildauswertung ist es sinnvoll, bereits während der Erfassung eine "Vorsortierung" der Bilder durchzuführen. In diesem Rahmen werden die Bilder nach vorgegeben Kriterien bewertet und damit über ihre Verwendbarkeit

entschieden. So lassen sich Bilder ohne Informationsgehalt (z.B. nur Himmel oder völlig schwarz) bereits im Vorfeld aussortieren und entlasten damit die Bildauswertung. In diesem Zusammenhang kann auch eine Vorverarbeitung erfolgen. Das wird im Allgemeinen der Einsatz unterschiedlicher Filterfunktionen und eine Fehlerkorrektur zwischen den beiden Kanälen sein.

Da kein professionelles Bildverarbeitungssysteme dieses Anforderungspaket erfüllt, wurde auf die Entwicklung eines eigenen Systems gesetzt.

3. Entwicklung eines speziellen Bildverarbeitungssystems

Aus der Summe der technischen und ökonomischen Anforderungen wurde für die Eigentwicklung eines Bildverarbeitungssystems entschieden.

Die Kamera ist als Mono- und Stereo-System realisiert worden. Beide Systeme sind bis auf den Kamerakopf identisch in modularer Form aufgebaut. Zum Erreichen der erforderlichen hohen Verarbeitungsleistung werden digitale Signalprozessoren eingesetzt, welche auch in einem umfangreichen Leistungsspektrum verfügbar sind.

Da es sich um Meßsysteme handelt, wurde bei beiden Varianten nur mit schwarz/weiß-Kameras gearbeitet. Auf die Strukturinformationen aus der Farbe wurde zugunsten des technischen Aufwandes (und damit des Systempreises) verzichtet.

Um den oben definierten Anforderungen näher zu kommen, wurde eine Stereokamera unter Verwendung von Zeilensensoren entwickelt. Die Kamera wurde dabei als Multiprozessorsystem konzipiert, um für unterschiedliche Anwendungsfälle eine variable Rechenleistung zur Verfügung stellen zu können. Das Grundkonzept sieht dabei getrennte Prozessoren für die Bilderfassung, die Bildauswertung und die Kommunikation zum übergeordneten System vor. Damit ist die minimale Prozessorzahl auf 3 festgelegt, wobei die Zahl der verarbeitenden Prozessoren auf (theoretisch) 6 erhöht werden kann. Als Sensoren wurden standardmäßige CCD-Zeilensensoren (SONY) eingesetzt. Das System kann mit unterschiedlichen Sensortypen betrieben werden.

Der Kamera-Prozessor befaßt sich mit der Ansteuerung der Sensoren und der Aufbereitung der Bilddaten. Die Sensoren sind dabei elektrisch parallel geschaltet, so daß sie unter identischen zeitlichen und elektrischen Bedingungen laufen. Die Ansteuerung dieser Sensoren erfolgt vollständig auf Softwarebasis, so daß alle Parameter frei beeinflußt werden können. Dieser Prozessor kümmert sich vor allem um die Fragen der Belichtungsregelung und die Auswertung der Belichtungskriterien. Durch diese Verfahrensweise sind auch Multimode-Belichtungen möglich, welche den Arbeitsbereich auf unterschiedliche Bilddetails ausrichten und dadurch über eine Bildserie zu einer Erweiterung der Dynamik kommen.

Die Ergebnisse des Kamera-Prozessors werden über ein serielles Interface (15 Mbit) der nächsten Stufe zur Verfügung gestellt. Mit dieser Bereitstellung beginnt die Kamera mit einem neuen Erfassungszyklus, so daß sie völlig autonom von der Auswertung arbeiten kann.

Der Verarbeitungsprozessor befaßt sich mit der Auswertung der Bilder. Dabei wurde darauf geachtet, daß die Algorithmen eine Bildauswertung unter ausschließlicher Verwendung der Prozessorinternen Speicherressourcen durchführen. Nur dadurch wird gesichert, daß die ma-

ximale Rechenleistung erzielbar ist. Die Ergebnisse der Auswertung werden ebenfalls in einem Speicherbereich der nächsten Verarbeitungsstufe übergeben.

Der Kommunikationscontroller entlastet die Signalprozessoren von der relativ langwierigen Aufgabe der Datenübertragung. Er kann außerdem zur Nachbereitung der Meßergebnisse (Mittelwertbildung, Trendberechnung usw.) eingesetzt werden.

Für Verarbeitungs- und Kamera-Prozessor kamen die Signalprozessoren TMS320C50 von Texas Instruments zu Einsatz. Als Kommunikationscontroller wird der RISC-Controller der AVR-Familie (AT90S8515) ersetzt.

erzielte Parameter

Mit dem aufgebauten System werden seit 2 Jahren Feldeinsätze gefahren. Die wesentlichsten erreichten Parameter seien hier kurz aufgeführt:

- Die Belichtungsregelung arbeitet in einem Bereich von 350ns .. 350ms (automatisch) oder kann in diesem Bereich begrenzt oder fest vorgegeben werden. Dieser Bereich entspricht einer Lichtempfindlichkeit von 0,4 Lux .. 400 KLux für den hellsten Punkt im Bild.
- Durch eine statistische Auswertung der Lichtverhältnisse im Bild ist eine Unterdrückung von Punktlichtern möglich, wie sie bei direkter Sonneneinstrahlung entsteht.
- Durch die Minimierung der analogen Komponenten in der Kamera und eine optimale Ausnutzung der Sensoreigenschaften konnte der Signal-Rausch-Abstand verbessert werden.
- Bei stereometrischen Messungen werden ca. 20 Bilder /s ausgewertet in denen jeweils an 23 Punkten im Bild die Entfernung bestimmt wird.
- Die Bildgröße beträgt 2x2048 Pixel bei Verwendung von Kleinbildobjektiven (Fotoapparat). Beim Einsatz von Videoobjektiven (C-Mount) sinkt die nutzbare Pixelzahl auf etwa 800..1000 Pixel je Sensor.

4. Unterscheidung des BV-Systems der TU zu anderen Systemen

Stellt man das entwickelte System anderen auf dem Markt verfügbaren Kameras gegenüber, so lassen sich vier Bereiche erkennen, in denen es sich deutlich von Standardsystemen unterscheidet.

Die Kamera verfügt über ein sehr hohen **Dynamikbereich** bei der Belichtungsregelung. Einschließlich einer Nachverstärkung des Signales kann in einem Bereich von 4.000.000 : 1 geregelt werden, dem der Bereich von 10.000 : 1 bei Standard-CCD-Kameras gegenüber steht. Dabei werden in den Kameras einfache CCD-Sensoren eingesetzt.

Die Kamera läßt eine freie Definition der **Belichtungsmerkmale** zu, womit die Belichtung und die Auswahl der zur Belichtungsbestimmung dienenden Objekte frei einflußbar ist. In diesem Rahmen erfolgt ebenfalls eine Grundausswertung der Bildinhalte auf Verwendbarkeit.

Das Kamerasystem enthält bereits ein sehr große **Verarbeitungsleistung**, so daß die Bildinformation an Ort und Stelle bearbeitet werden kann. Dies wird durch eine Pipeline-Struktur erreicht, welche eine Trennung der Bildbearbeitung in sequentielle Abschnitte ermöglicht. Im Grundsystem sind dafür drei Prozessorstufen vorgesehen, welche für die Bilder-

"Workshop 1998"

fassung, die Verarbeitung und die Kommunikation mit der Umgebung zuständig sind. Es ist der Einsatz von maximal 7 verarbeitenden Prozessoren möglich.

Das Kamerasystem ist voll **Modular** konzipiert, so dass der Einsatz unterschiedlicher Sensoren (CCD, Diode, Digital-Sensoren) und Auflösungen möglich ist. Die Bildaufnahme kann dabei sowohl als Mono- oder Stereokamera ausgelegt werden. Alle verwendeten Rechnerkarten sind identisch und werden über einen seriellen Multiprozessorbus mit 15 Mbit/s verbunden. Der auf jeder Rechnerkarte befindliche Kommunikationsprozessor kann optional als Serviceprozessor eingesetzt werden, was Programmänderungen oder Parameteränderungen per Kommando bzw. über ein Download zulässt.

Zusammenfassung

Zur Untersuchung von Gutströmen auf und vor Erntemaschinen werden an der TU Dresden Verfahren der Bildverarbeitung eingesetzt. Der erste Teil der Lösung befaßt sich mit der Entwicklung von Zeilenkameras zur Erfassung der Gutströme. Der Schwerpunkt liegt dabei auf der Beherrschung der großen Lichtdynamik und der Erfassung in Echtzeit.

Den technischen Kern bildet eine Stereo-Zeilen-Kamera mit integrierter Verarbeitungseinheit auf der Basis von Digitalen Signalprozessoren. Die Rechenleistung läßt sich dabei in einem weiten Bereich skalieren. Mit einem Prozessor können zur Zeit etwa 14 Bilder/s ausgewertet werden, wobei jedes Bild aus bis zu 23 räumlichen Meßpunkten besteht.

summary

For examination off material flow onto and in front of harvesters become at the TU Dresden method the image processing set in. The first part of the solution will deal with the engineering of lines cameras. The main point of interest is located thereby on the rule the big light dynamics and the acquisition in real time.

The technical core educates an Stereo-lines-camera with integrated processing unit on the base from digital signal processors. The computing performance lets thereby in a widenesses range scale them. With one processor be able to at present about 14 pictures/s evaluated becomes, whereas each one picture consist off up to 23 spatial test points.