

Reihenführung autonomer Roboter mit der Low-Cost-Kamera CMUCam2

Row-guidance of autonomous robots based on the low-cost camera CMUCam2

Ralph Klose, Martin Meier, Andreas Linz, Arno Ruckelshausen
Interdisziplinärer Forschungsschwerpunkt Intelligente Sensorsysteme, Fachhochschule
Osnabrück, Albrechtstr. 30, 49076 Osnabrück
Email: a.ruckelshausen@fhos.de

Zusammenfassung: Die Entwicklung leistungsfähiger und gleichzeitig kostengünstiger Kamerasysteme zur Reihenführung ist eine wichtige Voraussetzung für den zukünftigen Einsatz autonomer Roboter in der Landtechnik.

Zur Sammlung von Ideen und Anregungen für reale Applikationen wird der internationale Wettbewerb „Field Robot Event“ in Wageningen/Niederlande durchgeführt, an dem eine Studierendengruppe der Fachhochschule Osnabrück mit dem sensorgesteuerten Roboterfahrzeug EYE-MAIZE teilgenommen hat (2004). Das Fahrzeug kann beispielsweise autonom zwischen Maisreihen fahren und beim Erreichen des Endes der Reihe selbstständig wenden und in die nächste Reihe fahren. Im Roboterfahrzeug „Eye-Maize“ wurden diverse Sensoren - unter anderem die an der Carnegie Mellon University in Pittsburgh entwickelte Low-Cost-Kamera CMUCam2 - eingesetzt, um die Reihenführung im Maisfeld zu realisieren. Die Kamera ist mit einem Mikrocontroller für die Bildverarbeitung und Farberkennung ausgestattet, so dass reduzierte Daten z.B. für die Steuerung des Fahrzeugs zur Verfügung stehen. Der Preis der kompletten Kamera liegt nur bei ca. 140 € und eröffnet damit weitreichende Möglichkeiten – z.B. bei der Reihenführung - bei niedrigen Kosten.

Deskriptoren: CMOS-Kameras, Bildverarbeitung, Robotik

Summary: The development of efficient as well as low-cost camera systems is of high importance for automatic row-guidance of future robot applications in agriculture environment.

In order to get new ideas for real applications the international competition “Field Robot Event” takes place in Wageningen/The Netherlands yearly. A student group for the University of Applied Sciences Osnabrück participated in 2004 with the sensor-controlled field robot EYE-MAIZE. The vehicle moves between maize rows and can automatically turn to the next row at the end of the field. Several sensor have been implemented for row guidance purposes, including the low-cost camera CMUCam2 which has been developed at the Carnegie Mellon University in Pittsburgh. The camera is coupled to a microcontroller for image and color processing, thereby resulting in reduced data which can be used for vehicle control. The price of the total camera is about 140 € and thus offers a wide range of applications (example: row guidance) at low cost.

Keywords: CMOS-cameras, image processing, robotics

1. Einleitung

Der Einsatz von CCD-Kameras zur Erfassung von Pflanzen oder Pflanzenmerkmalen ist bisher mit hohen Kosten der Systeme verbunden (siehe z.B. SÖKEFELD 2002, LANGNER und BÖTTGER 2003). Auch die Verfügbarkeit kostengünstiger CMOS-Kameras mit hoher Flexibilität (RUCKELSHAUSEN und LINZ 2000) war bisher nicht gegeben. Die seit 2004 verfügbare low-cost-Kamera CMUCam3 mit einem Preis von ca. 140 € bietet jedoch neue Möglichkeiten (ROW et al. 2002). Die Kamera wurde daher von einer Studierendengruppe der Fachhochschule Osnabrück zur Steuerung eines autonomen Feldroboters eingesetzt, der am „Field Robot Event 2004“ in Wageningen teilgenommen hat. Die Entwicklung eines anderen low-cost-Systems wurde von HEMMING (2004) beschrieben.

Der „Field-Robot-Event“ ist ein jährlich stattfindender Wettbewerb, der von der Universität in Wageningen/Niederlande organisiert wird (FIELD ROBOT EVENT 2005). Jedes Team hatte dabei folgende Aufgaben zu lösen:

- Durchfahren einer geraden Maisreihe, am Ende der Reihe wenden und in die nächste Reihe fahren. (siehe Abb. 1).
- Durchfahren einer kurvigen Maisreihe, ebenfalls wenden und in die nächste Reihe fahren.
- Durchfahren einer geraden Maisreihe, nassem Untergrund.
- Freestyle (freiwillig).

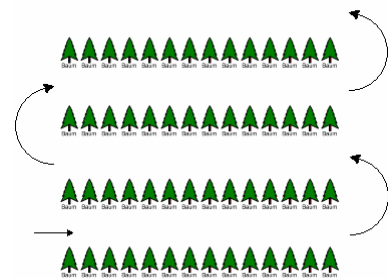


Abb.1: Parcours beim Field-Robot-Event

Das sensorgesteuerte Fahrzeug EYE-MAIZE (DIEKMANN et. al 2005, RUCKELSHAUSEN und LINZ 2004, Abb.2) basiert auf der Verwendung mehrerer verschiedener Sensoren. Zur Erkennung des Endes der Maisreihe wurden Sharp-Triangulationssensoren verwendet, die den Abstand zu den links und rechts vom Roboter befindlichen Maispflanzen messen und auch erkennen, wenn sich dort keine Pflanze mehr befindet. Für die Reihenführung sind diese Sensoren jedoch nicht genau genug, so dass die Kamera CMUCam2 als Option eingesetzt wurde. In der Freestyle-Disziplin konnten weitere Funktionen des Roboterfahrzeugs dargestellt werden. „Eye-Maize“ demonstrierte hier die Erfassung und Verfolgung einer bestimmten Farbe.



Abb.2: Autonomes Roboterfahrzeug EYE-MAIZE (Fachhochschule Osnabrück).

2. Kamera "CMUCam2"

Die CMUCam2 (Abb. 3) ist standardmäßig mit einem CMOS-Kameramodul OV6620 (OmniVision) und einem Mikrocontroller SX52 (Uvicom) ausgestattet. Der 384kB große Frame-Buffer-Chip AL422B (Averlogic) erlaubt eine schnelle Aufnahme und Speicherung eines kompletten Frames. Die Kommunikation zwischen Kamera und PC bzw. Mikrocontroller wird über RS-232 realisiert. Der wesentliche Vorteil des Systems ist die Möglichkeit zur Weitergabe reduzierter Daten, die aus den Bilddaten generiert werden. Hierdurch ergibt sich die online-Fähigkeit des Kamerasystems.

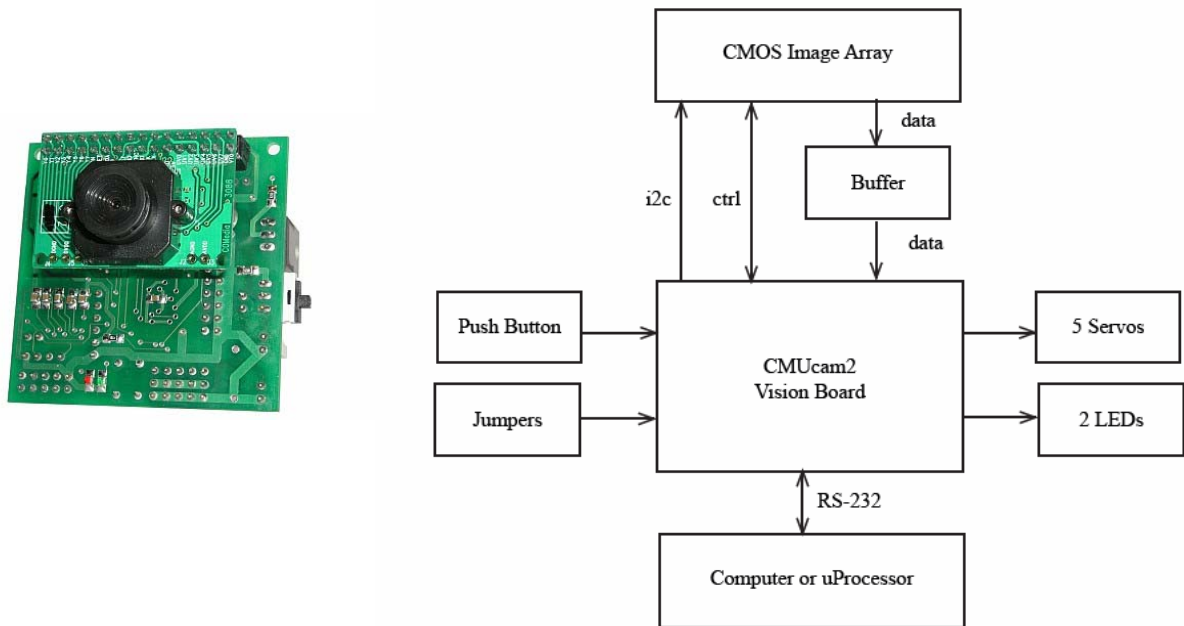


Abb.3: Kamera CMUCAM2 (links) und Architektur mit Datenfluss (rechts)

Zu den wichtigsten Funktionen der CMUCam2 gehören:

- Auflösung bis zu 176*255 Pixel
- Color-Tracking (Verfolgen von benutzerdefinierten Farben) mit maximal 50 Bildern pro Sekunde
- Berechnung des Schwerpunktes der definierten Farbe
- Analoger Video-Ausgang
- Ansteuerung von bis zu 5 Modellbauservos

Color-Tracking

Die für EYE-MAIZE wichtigste Funktion der CMUCam ist das „Color-Tracking“. Wird vom Controller bzw. PC die Anforderung „TC“ (Track Color) gesendet (Abb.4), so kommt von der Kamera ein sogenanntes „T-Paket“ zurück. Dieses Datenpaket enthält folgende statistische Daten:

- Schwerpunktkoordinaten einer benutzerdefinierten Farbe
- Rahmen um die Pixel der gesuchten Farbe
- Anzahl der Pixel der Farbe in der durchsuchten Region
- Pixel-Vorkommen der Farbe innerhalb des eingegrenzten Bereichs

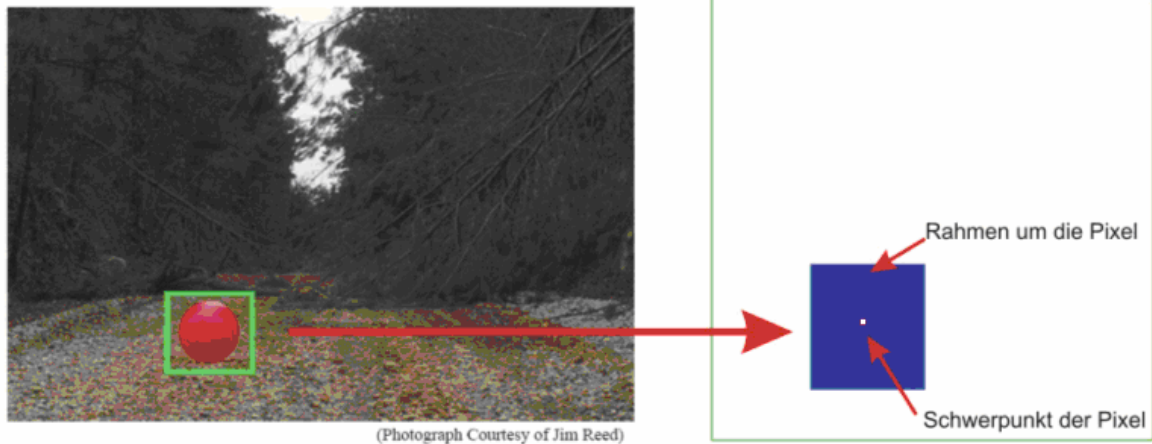


Abb.4: Bild der CMUCam2 (links) ,im T-Packet sind Informationen über die Pixelvorkommen und den Schwerpunkt von "Rot" (rechts).

Weiterhin gibt es die Möglichkeit, sogenannte „virtuelle Fenster“ zu definieren. Mit dieser Maßnahme werden die statistischen Größen nur für einen Teilbereich des Bildes berechnet.

3. Realisierung der Reihenführung

Die Kamera ist in einer Höhe von 47cm an dem Roboter angebracht und „sieht“ mit einem Winkel von ca. 60° auf das Maisfeld (Abb.5).

Um den Mais vom Boden zu unterscheiden, ist es notwendig, eine Farbe für die „Track-Color“-Funktion der Kamera zu definieren. Hierzu muss für alle drei Grundfarben (Rot, Grün, Blau) ein unterer und ein oberer Schwellwert festgelegt werden. Die Kamera erfasst nun alle RGB-Pixel, die in diesem Farbbereich liegen.

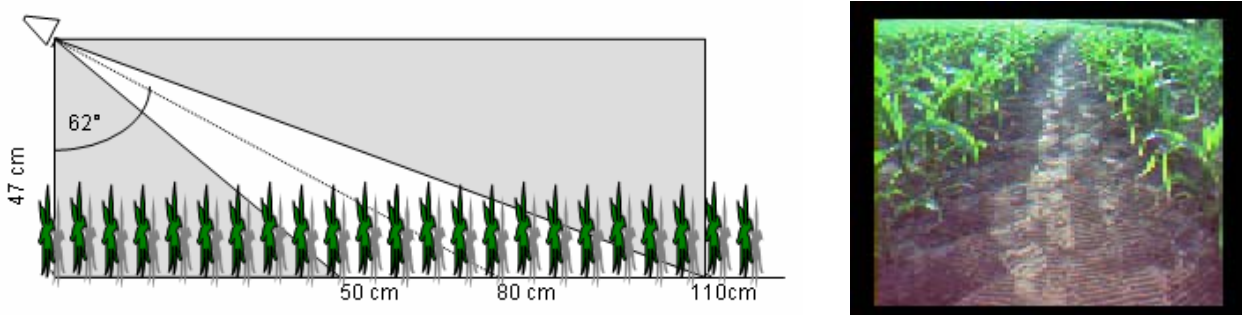


Abb.5: Schema zum Beobachtungswinkel der CMUCam2 (links), Sicht der CMUCam2 auf das Maisfeld (rechts).

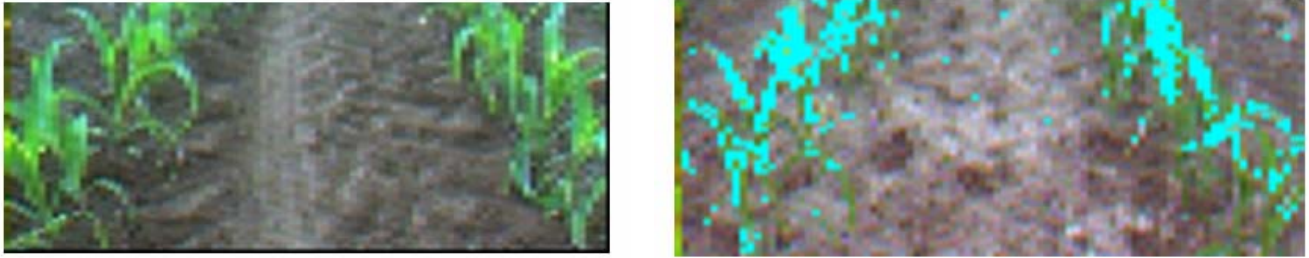


Abb.6: Aufnahme des Maisfeldes aus Sicht der CMUCam2 (links); im rechten Bild. wurden die vom Color-tracking erkannten Pixel markiert.

Um nun an verwertbare Daten zu gelangen, wurde die Möglichkeit genutzt, das Bild in virtuelle Fenster zu unterteilen. Für die Anwendung bei EYE-MAIZE wurde das Bild vertikal in der Mitte geteilt, so dass sich zwei T-Packets für den linken und rechten Bereich ergeben. Auf diese Weise wird für jede Seite der farbliche Schwerpunkt der definierten Farbe ermittelt. Die X-Koordinate des Schwerpunktes des rechten virtuellen Fensters wird von der maximalen X-Koordinate subtrahiert. Diese Differenz wird mit der X-Koordinate des linken virtuellen Fensters verglichen. Der Vergleich ist ein Parameter für die Geschwindigkeits- und Richtungsbestimmung des Roboters.

4. Ergebnis und Ausblick

Das Fahrzeug konnte mit Hilfe der CMUCam2 sowie einigen Abstandssensoren gesteuert werden. Kritischster Punkt ist dabei die Definition der korrekten Farbwerte. Bei geänderten Lichtverhältnissen ändert sich das Farbverhalten der Kamera, so dass gegebenenfalls die definierte Farbe nicht mehr erkannt wird. Bei zu großem Toleranzbereich der Farbwerte ergeben sich zu viele unerwünschte Pixel.

Beim Field-Robot-Event 2005 werden die Autoren mit Roboterfahrzeug optoMAIZER teilnehmen, welches auf Basis der CMUCam2 unter Integration weiterer neuer Sensoren derzeit entwickelt wird.

5. Literatur

Diekmann, F. , Fleischhacker,J., Henkel, J., Klose,R., König,T., Meier,M., Mocchi,N., Mühring,A., Negd,D., Nolte,T., Nord,E., Schotmann,M., Schulz,J. (2005) Field Robot Eye-Maize, Proceedings of the 2nd Field Robot event 2004, ISBN 906754-818-9, March 2005.

Row, A., Rosenberg, C., Nourbakhsh, I. (2002) A Low Cost Embedded Color Vision System , Proceedings of the 2002 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems IROS , 2002. Further information CMUCam2: <http://www-2.cs.cmu.edu/~cmucam/> .

- Field Robot Event (2005)** Proceedings of the 2nd Field Robot event 2004, ISBN 906754-818-9, March 2005.
- Hemming, J. (2004)** Development of a low-cost vision-based autonomous Vehicle for the Field Robot Event Wageningen ; Bornimer Agrartechnische Berichte, Heft 31, 2002, ISSN 0947-7314, S.32-41.
- Langner H.-R., Böttger, H. (2003)** IErfahrungsbericht zur bildgestützten Unkrauterkenennung mit einer 2Chip-CCD-Kamera, Bornimer Agrartechnische Berichte, Heft 34, 2003, ISSN 0947-7314, S.38-48.
- Ruckelshausen, A., Linz, A. (2000)** "CMOS-Kameras zur online Erfassung spektraler und geometrischer Signaturen von Pflanzen und Pflanzeigenschaften“, Bornimer Agrartechnische Berichte, Heft 25, 2000, ISSN 0947-7314, pages 101- 110.
- Ruckelshausen,A., Linz,A. (2004)** Student Project: Field Robot EYE-MAIZE, AgEng 2004 Conference “Engineering of the Future”, Leuven / Belgium, 12.-16.09.2004.
- Sökefeld, M.; Gerhards, R.; Therburg, R.-D.; Nabout, A.; Jacobi, R.; Lock, R.; Kühlbauch, W. (2002)** Multispektrale-Bildanalyse zur Erfassung von Unkraut und Blattkrankheiten, Z.PflKrankh.PflSchutz, Sonderheft XVIII, 437-442 (2002), ISSN 0938-9938.

Klose, Ralph
Interdisziplinärer Forschungsschwerpunkt Intelligente Sensorsysteme,
Fachhochschule Osnabrück,
Albrechtstraße 30,
49076 Osnabrück
Ralph.Klose@gmx.de

Meier, Martin
Interdisziplinärer Forschungsschwerpunkt Intelligente Sensorsysteme,
Fachhochschule Osnabrück,
Albrechtstraße 30,
49076 Osnabrück
meier-martin@gmx.de

Linz, Andreas, Dipl.-Ing. (FH), BEng,
Interdisziplinärer Forschungsschwerpunkt Intelligente Sensorsysteme,
Fachhochschule Osnabrück,
Albrechtstraße 30,
49076 Osnabrück
a.linz@fh-osnabrueck.de

Ruckelshausen, Arno, Prof. Dr. rer. nat.
Interdisziplinärer Forschungsschwerpunkt Intelligente Sensorsysteme,
Fachhochschule Osnabrück,
Albrechtstraße 30,
49076 Osnabrück
a.ruckelshausen@fhos.de