

Ralph Ostermeier und Hermann Auernhammer, Freising

Real-time-Prozessführung eines sensorgestützten Düngesystems durch Multisensor Data Fusion Technik

Im Rahmen eines Teilprojekts der DFG-Forschergruppe „Informationssystem Kleinräumige Bestandesführung Dürnast (IKB Dürnast)“ wurde der Sensor-Ansatz mit Kartenüberlagerung für intensive Stickstoffdüngung ausführlich untersucht und als Simulation in Laborumgebung implementiert. Dabei lag der Schwerpunkt auf dem Zusammenführen von Daten aus unterschiedlichen Quellen im mobilen Einsatz unter Echtzeitbedingungen, um für die effiziente und zielorientierte Implementierung einen durchgängigen Spezifikations- und Entwicklungsprozess zu gewährleisten. Zielgerichtet wurde auf verteilte elektronische Systeme zurückgegriffen, wie sie künftig in standardisierten Landwirtschaftlichen BUS-Systemen (ISO 11783, DIN 9684) verfügbar

Dipl.-Ing. Ralph Ostermeier ist Advanced Engineer bei John Deere AMS Europe, Prager Ring 4-12, 66482 Zweibrücken;

e-mail: OstermeierRalph@JohnDeere.com

Prof. Dr. Hermann Auernhammer ist komm. Leiter des Lehrstuhls für Agrarsystemtechnik der Technischen Universität München, Am Staudengarten 2, 85354 Freising

Schlüsselwörter

Sensoransatz mit Kartenüberlagerung, Multisensor, Data Fusion

Keywords

Real-time approach with map overlay, multisensor, data fusion

Die Prozessführung in mobilen Applikationssystemen für teilflächenspezifische Düngung ist bestimmt von drei unterschiedlichen Systemansätzen. Dies sind der Kartierungsansatz, der Sensoransatz oder die Kombination von beiden, der Sensoransatz mit Kartenüberlagerung. Kartierungs- und Sensoransatz weisen systembedingt Nachteile auf, die durch Anwendung des Sensoransatzes mit Kartenüberlagerung überwunden werden können. Bei diesem Ansatz ist es notwendig, einen Prozess oder ein System, hier Pflanzen und ihre nähere Umgebung, zu einem ökologischen und ökonomischen Optimum zu führen. Dies erfordert Information über den aktuellen Zustand des Prozesses und seine Eingangsgrößen (Karten, Online-Sensorik). Die Möglichkeit zur Beeinflussung des Prozesses ist die Düngung. Dabei wird der Applikationssollwert anhand von Expertenwissen und der vorliegenden Information über die Prozess-Eingangsgrößen für jede einzelne Teilfläche abgeleitet. Eine Dokumentation vervollständigt das Verfahren.

Methode

Konventionelle Methoden der Steuerungs- und Regelungstechnik verlangen, dass die Eingangsinformationen einem gemeinsamen Merkmalsraum entstammen und in numerischer Form vorliegen. Bei der vorliegenden Aufgabenstellung sind diese Eingangsvoraussetzungen nicht gegeben, daher ist eine Form von „intelligenter Steuerung“ zu implementieren. Eine Lösung findet sich in der Anwendung des (Multisensor) Data Fusion mit entsprechenden Methoden und angepasster Terminologie.

So sollte ein durchgängiger theoretischer Rahmen grundsätzlich unterschiedliche Abstraktionsebenen besitzen und eine Top-Down-Dekomposition der Anforderungen sowie einen anschließenden strukturierten Systementwurf erlauben. Auf der höchsten Abstraktionsebene beschreibt und legt ein funktionales Modell fest, welche Analysefunktionalität oder -prozesse durchgeführt werden müssen. Hingegen beschreibt ein prozedurales oder Prozess-Modell auf hoher Abstraktionsebene, wie diese Analysen oder Prozeduren geleistet werden können. Auf

der Basis dieser abstrakten Sichtweise von Anforderungen, Spezifikationen und Problemlösungs-Paradigmen ist danach eine Systemarchitektur (Abstraktion der Hard- und Software-Implementierung) zu entwerfen und bei der weiteren Transformation in eine konkrete technische Realisierung in Hard- und Software umzusetzen.

Funktionales Modell

Ein dem Stand der Technik entsprechendes funktionales Modell für Data Fusion wurde von [1] als „Revised JDL (Joint Directors of Laboratories) data fusion model“ definiert. Dieses Modell unterscheidet fünf Verarbeitungsebenen (processing levels) auf der Basis unterschiedlicher Bewertungs-Prozesse (Assessment), die in etwa mit dem Typus der Einheiten, für die ihr Zustand abzuschätzen ist, korrespondieren:

- Level 0 Processing - Sub-Object Assessment
- Level 1 Processing - Object Assessment
- Level 2 Processing - Situation Assessment
- Level 3 Processing - Impact Assessment
- Level 4 Processing - Process Refinement

Aus dem funktionalen Blickwinkel kann der Sensor-Ansatz mit Kartenüberlagerung entsprechend dem „Revised JDL data fusion model“ komplett spezifiziert werden. Der Schwerpunkt liegt jedoch auf dem „Level 2 Processing – Situation Assessment“, da der Sensor-Ansatz mit Kartenüberlagerung im Kern nichts anderes als eine umfassende Situationsbewertung ist, also eine Bewertung der aktuellen Online-Sensorik-Messwerte mit einer kontextsensitiven Interpretation. Die Autoren haben dies ausführlich in [2] dargelegt.

Prozess Modell

Basierend auf den Ergebnissen des funktionalen Modells lässt sich mit einem geeigneten Prozess-Modell ein entsprechendes Problemlösungs-Paradigma ableiten. Besonders eignet sich der Prozess-Modell-Vorschlag nach [3]. Dieses intuitive Prozess-Modell des Data Fusion-Prozesses führt zu der Identifikation von 15 Klassen von Fusions-Problemmstellungen und einer Taxonomie von 16 kanonischen Problemlösungs-Formen (problem solving forms I - XVI). Dabei existiert

eine definierte Beziehung zwischen dem funktionalen „JDL data fusion model“ und den 15 Klassen von Fusions-Problemstellungen, wie auch eine Beziehung zwischen diesen Klassen und den kanonischen Problemlösungs-Formen. Deswegen bietet dieses Prozess-Modell einen zielführenden Ansatz zur Auswahl eines geeigneten Fusionsalgorithmus und wird nachfolgend auszuweisen wiedergegeben. Die Analyse der vorherrschenden Wissensarten beim Sensor-Ansatz mit Kartenüberlagerung ergibt:

- Die aktuellen Pflanzen- und Bodenattribute sind kurzfristiges deklaratives Wissen.
- Die nähere Vergangenheit der aktuell herrschenden Situation auf der vorliegenden Teilfläche wie die Position von (gerade) ausgebrachtem Dünger, der Zustand der Traktor-Geräte-Kombination und das herrschende Wetter sind mittelfristig deklaratives Wissen.
- Das in Ertrags- und Bodenkarten enthaltene Wissen und statische Beschränkungen aufgrund von Umweltschutz oder Topographie repräsentieren spezifisches langfristige deklaratives Wissen.
- Eine Beziehung oder Prozedur für eine pflanzenbauliche und landtechnische Bewertung mit dem Ziel, einen Applikations-sollwert abzuleiten und dabei eine ausreichende Reaktionszeit für die eigentliche Applikationstätigkeit zu erreichen, steht für langfristige prozedurales Wissen.

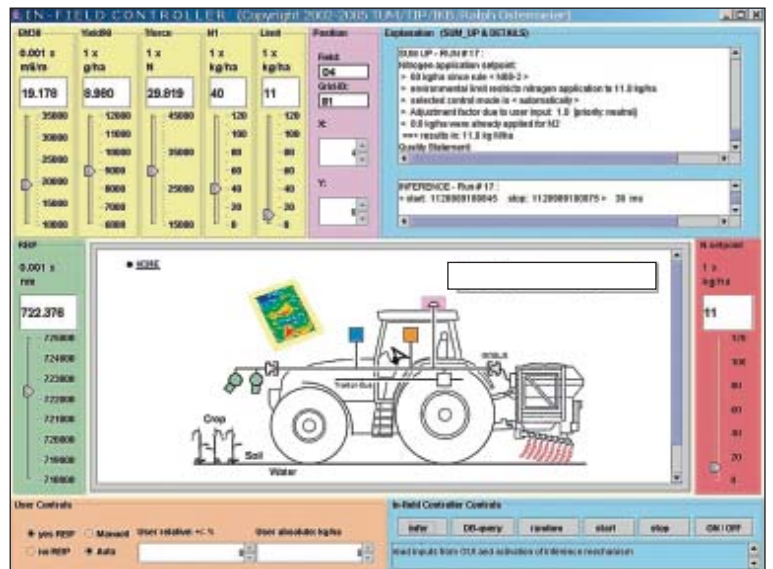
Demzufolge liegt eine Fusions-Problemstellung der Klasse 15 vor, da diese Aufgabenstellung die Komposition von kurz-, mittel- und langfristige deklarativem und prozeduralem Wissen erfordert. Der „einfachste“ kontextsensitive Problemlösungs-Ansatz, der die Anforderungen erfüllt, ist eine rigide modellbasierte Kontrollstruktur mit einer Abstraktionsebene. Aufgrund des fundamental datengetriebenen (data driven) Charakters eignet sich ein „generation based“ Algorithmus am besten. In der Konsequenz entspricht dieser Problemlösungs-Ansatz der „canonical form IX“. Ein typischer Vertreter dieses Ansatzes ist ein Expertensystem entsprechend dem Produktionssystem-Paradigma und einem vorwärts-verketteten Inferenzmechanismus.

Systemarchitektur

Eine vorstellbare Implementierung der funktionalen Spezifikation mit dem Ergebnis des Prozess-Modells ist ein verteiltes Sensornetzwerk (kurzfristiges Wissen) und ein zentraler Fusionsknoten mit mittelfristigem Wissen sowie langfristige deklarativem Wissen in Form der Überlagerungskarten und prozeduralem Wissen in Form eines Expertensystems. Unglücklicherweise lässt sich dies nicht nahtlos in eine Systemarchitektur

Bild 1: Benutzerschnittstelle der Simulation

Fig. 1: Graphical user Interface of simulation



basierend auf den Landwirtschaftlichen BUS-Systemen (ISO 11783, DIN 9684) überführen. Die Teilflächenbewirtschaftung wurde nur im Kontext des Kartierungsansatzes in diesen Normen definiert. Die Integration von Online-Sensorik hat in der Projektlaufzeit Fortschritte bei der Definition im ISO-Standard erfahren, der Überlagerung mit Karten wurde aber noch keine Aufmerksamkeit geschenkt. Jedoch erlaubt die von den Autoren 2003 [4] vorgeschlagene Definition eines „In-field Controllers“ eine ISO 11783 und DIN 9684-kompatible Implementierung. Dieser „In-field Controller“ ist die Implementierung des oben genannten zentralen Fusionsknoten, der mit Hilfe eines integrierten Expertensystems beispielsweise Daten der Online-Sensorik (etwa vegetation index: REIP) und Daten der „precision farming maps“ (historischer Ertrag, EM38, Zugkraft, applizierte Düngemenge des gleichen Jahres) aus dem Farm Management Information System (FMIS), Nutzereingaben sowie Beschränkungen aufgrund des Umweltschutzes in Echtzeit im Feld fusionieren kann.

Simulation

Kernstück der Simulation war die Implementierung des Expertensystems [5]. Dazu wurde die hybride Expertensystem-Shell JESS (Java Expert System Shell) zur Umsetzung des Regelwerks ausgewählt. Java kam bei der Realisierung des graphischen Benutzerschnittstellen (Bild 1) und der Nachbildung der Prozessumgebung zum Einsatz. Bei Teilen der Wissensakquisition wurde eng mit einem weiteren IKB-Teilprojekt zusammengearbeitet [6]. Die grundsätzliche Eignung für eine Real-time-Prozesssteuerung zeigen gemessene typische und maximale Durchlaufzeiten von 10 ms und 60 ms für einen Fusionszyklus auf einer 32-Bit Prozessor Hardware (Intel Pentium III Mobile, 1 GHz).

Ausblick

Generell wird ein weiterer Forschungsbedarf für dieses Aufgabengebiet gesehen. Dies betrifft vor allem Verfahren zur Leistungsmessung und Leistungsbewertung von Real-

time-Prozessführungen für mobile Applikationstechniken, die auf Multisensor Data Fusion basieren. Von besonderem grundlagenorientierten Interesse wäre auch die Ausweitung der untersuchten Eingrößen- hin zu einer Mehrgrößen-Prozesssteuerung. Anknüpfungspunkt für die anwendungsorientierte Forschung wäre die Integration der vorgestellten Lösung in den realen Versuchsbetrieb und eine somit mögliche experimentelle Erprobung.

Dieses Teilprojekt der Forschergruppe „Informationssystem Kleinräumige Bestandesführung Dürrast (IKB Dürrast)“ an der Technischen Universität München wurde von der DFG (Deutsche Forschungsgemeinschaft) finanziert.

Literatur

Bücher sind mit • gezeichnet

- [1] Steinberg, A.N., and Ch.L. Bowman : Revisions to the JDL Data Fusion Model. In: Handbook of multisensor data fusion (Eds.: Hall, D. L., and J. Llinas), CRC Press LLC, Boca Raton, (2001), pp. 2-1 - 2-19
- [2] Ostermeier, R., and H. Auernhammer : Real-time process control for a sensor based fertilizer application system using multisensor data fusion. In AGENG LEUVEN 2004, Engineering the future, CD-ROM (full papers), Session 10 -Nr. 352-Ostermeier.pdf, Leuven, Belgium, 2004, pp. 1-8
- [3] • Antony, R. T.: Principles of Data Fusion Automation. Artech House, Boston, 1995, pp. 27-60
- [4] Ostermeier, R., H. Auernhammer and M. Demmel : Development of an in-field controller for an agricultural bus-system based on open source program library lbs-lib. In Precision Agriculture, (eds. J. Stafford and A. Werner), Berlin, Wageningen Academic Publishers, 2003, pp. 515-520
- [5] Ostermeier R., H. I. Rogge and H. Auernhammer. Multisensor data fusion implementation for a sensor based fertilizer application system. In: Automation Technology for Off-Road Equipment 2006, Proceedings of the 1-2 September 2006 Conference, Bonn/ Germany, 2006, pp. 215-225
- [6] Weigert, G., and P. Wagner : Development of decision rules for site-specific N fertilization by the application of data mining techniques. In: Precision Agriculture (eds. J. Stafford and A. Werner), Berlin, Wageningen Academic Publishers, 2003, pp. 711-715