

Horst Beuche und Hans Jürgen Hellebrand, Potsdam-Bornim

Positionsgenauigkeit und Verfügbarkeit verbessern

Fahrwegberechnung und lineare Regressionsanalyse stützen DGPS

Die satellitengestützte Positionsbestimmung (GPS) hat sich als besonders geeignet für die Ortungstechnik in der teilflächenspezifischen Feldbewirtschaftung erwiesen. Nur mit der differentiellen Betriebsart (DGPS) können die Genauigkeitsanforderungen der Feldbewirtschaftung erreicht werden. Bei ungünstigen Bedingungen treten Ausfälle auf. Verbindet man DGPS mit dem unabhängig ermittelten Geschwindigkeitsvektor des Fahrzeuges, können DGPS-Ausfälle überbrückt werden. Mit Radarsensoren wird die Geschwindigkeit gemessen. Zur Richtungsbestimmung könnten magnetfeld- oder drehratensensitive Sensoren Verwendung finden. Leistungsfähigkeit, Preise und Handhabung schränken die Einsetzbarkeit dieser Richtungsgeber ein. Die zusätzliche Verwertung von ortungsrelevanten Daten aus der Feldarbeit, wie das Fahren in geraden Spuren, erweitert die Möglichkeiten zur Richtungs- und Positionsbestimmung. Während der geradlinigen Fahrt kann durch eine regressive Verrechnung von DGPS-Werten die Präzision erhöht und eine genaue Fahrtrichtung abgeleitet werden. Bei DGPS-Ausfall ist dann diese Richtung Grundlage für die Extrapolation des Fahrweges.

Das satellitengestützte Ortungssystem DGPS hat in wenigen Jahren zahlreiche Anwendungsbereiche erobert. Nach der Einführung im Luft- und Seeverkehr ergeben sich viele Anwendungsmöglichkeiten für GPS, besonders zur Ortung und Navigation von Fahrzeugen auf Straßen, Schienen und Flüssen, aber auch im Bereich der Landwirtschaft.

Bei der teilflächenspezifischen Bewirtschaftung wird gegenwärtig eine Genauigkeit im Meterbereich (1 bis 5 m) gefor-

dert. Mit differentielltem GPS (DGPS), das Korrekturdaten von Referenzdiensten (etwa SAPOS über UKW und Langwelle) nutzt, wird diese Präzision auch bei der dynamischen Positionsbestimmung (während der Fahrt) kostengünstig erreicht. In Abhängigkeit von den Empfangsbedingungen, sowohl für die Satellitensignale als auch für die Korrekturdaten, kann die Positionsbestimmung fehlerhaft sein oder ganz ausfallen. Insbesondere bei Aufgaben mit ortsspezifischer Steuerung von Prozessen (etwa Düngen und Pflanzenschutzmaßnahmen) sind stets aktuelle und korrekte Ortskoordinaten notwendig, die nur durch Stützung der DGPS-Ortung zu erreichen sind. Ein Ortungssystem, das aus DGPS und weiteren Komponenten besteht, kann bei entsprechender Auslegung zusätzliche ortungsrelevante Informationen verwerten. Damit sind fehlerhafte DGPS-Koordinaten zu erkennen und korrekte Positionsangaben lassen sich bei DGPS-Ausfällen zur Verfügung stellen. Über diesen Weg sind die landwirtschaftlichen Einsatzanforderungen zu erfüllen.

DGPS-Stützung mit Koppelortung

Die im Rahmen von Versuchen beobachteten DGPS-Ausfallzeiten liegen häufig unter einer Minute, können aber in extremen Situationen auch größer sein. Fahrwegberechnungen auf der Grundlage einer Geschwindigkeits- und Fahrtrichtungsmessung (Koppelortung) haben sich als geeignet für die DGPS-Stützung erwiesen [1-4]. Damit ein Koppelortungssystem diese Zeiträume mit der geforderten Genauigkeit überbrücken kann, muß es eine entsprechende zeitliche Stabilität aufweisen. Der Positionsfehler bei der Koppelortung wächst mit der Zeit und muß mit Hilfe korrekter DGPS-Werte wiederholt zurückgesetzt werden. Neben der Erkennung fehlerhafter DGPS-Werte ermöglichen Stützsysteme bei der Datenauswertung auch eine höhere Präzision des Gesamtsystems [3, 4].

Die Geschwindigkeitsmessung zur Koppelortung kann am günstigsten mit Radarsensoren erfolgen. Dagegen kann

die Fahrtrichtung mit unterschiedlichen Sensoren bestimmt werden. Die Geschwindigkeitsdifferenzen von beidseitig am Fahrzeug angebrachten Radarsensoren oder die Auswertung von Lenkeinschlägen sind zu ungenau [1, 5]. Weitere Möglichkeiten sind Kompaßanordnungen (Kreiselkompaß, elektromagnetischer Kompaß), Drehratensensoren (piezoelektrisches Vibrationsgyroskop, Faserkreisel) und Softwarelösungen, die den zurückgelegten Fahrweg und/oder Strukturelemente des Arbeitsfeldes auswerten. Während ein Kreiselkompaß gegenwärtig aus Kostengründen für den landwirtschaftlichen Einsatz noch nicht in Frage kommt, stellt der elektromagnetische Kompaß (Fluxgatekompaß) eine wirtschaftlich vertretbare Lösung dar. In Feldversuchen [1, 5] konnte eine ausreichende Genauigkeit festgestellt werden. Nachteile für die Praxis bringen jedoch die zeitvarianten Eigenmagnetfelder der Trägerfahrzeuge und die örtlichen Variationen im Erdmagnetfeld (Mißweisung). Nach Stillstandszeiten oder Lageveränderung des Ortungssystems muß eine Kompensation des Eigenmagnetfeldes erfolgen.

Das piezoelektrische Vibrationsgyroskop und der Faserkreisel stellen ebenfalls geeignete Lösungsvarianten dar. Mit dem Vibrationsgyroskop sind nur Zeitspannen bis zu zwei Minuten überbrückbar [2, 6]. Ein Faserkreisel liefert eine deutliche höhere Präzision und Stabilität [7], ist aber gegenwärtig noch zu teuer für den Routineeinsatz.

Hybridkoordinaten erhöhen Positionsgenauigkeit

Die zusätzliche Verarbeitung von ortungsrelevanten Informationen, wie das Fahren in parallelen und vorwiegend geraden Spuren, bietet erweiterte Möglichkeiten bei der Richtungs- und Positionsbestimmung. Das hier vorgestellte hybride Ortungssystem beruht auf DGPS-Ortung in Verbindung mit Koppelortung und Zusatzinformationen. Mit einem linearen Regressionsansatz werden die DGPS-Daten bei Geradeausfahrt ausgewertet und für die Steigerung der Ortungsgenauigkeit sowie für eine präzise Bestimmung der aktuellen Fahrtrichtung verwendet. Den prinzipiellen Algorithmus für die Berechnung der Hybridkoordinaten (Positionsbestimmung über lineare Regression der DGPS-Werte, Fahrwegberechnung bei Geradeausfahrt oder einfache DGPS-Werte) zeigt *Bild 1*. Eingangsdaten sind DGPS-Werte, Geschwindigkeit und Winkeländerungen eines einfachen Drehratensensors zur Kurven- und Wendenerkennung. Nach Konsistenzprüfung der DGPS-Werte werden alle gültigen Daten

Dr.-Ing. Horst Beuche und Prof. Dr. rer. nat. habil. Hans Jürgen Hellebrand sind Mitarbeiter der Abteilung „Technikbewertung und Stoffkreisläufe“ des Institutes für Agrartechnik Bornim e.V., Max-Eyth-Allee 100, 14469 Potsdam, e-mail: jhellebrand@atb.uni-potsdam.de (Wissenschaftlicher Direktor). Prof. Dr.-Ing. Jürgen Zaske.

Referierter Beitrag der Landtechnik

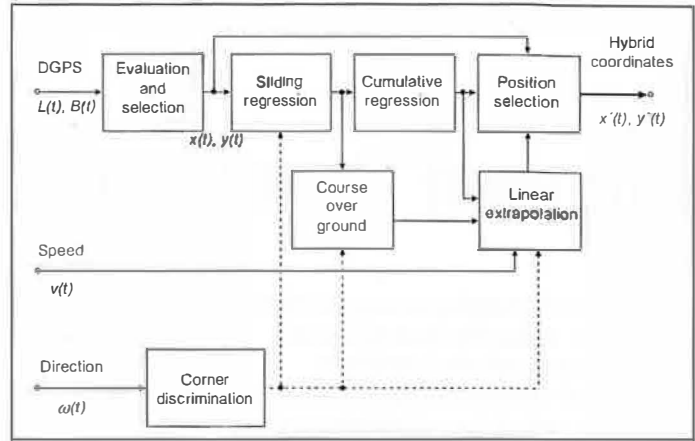
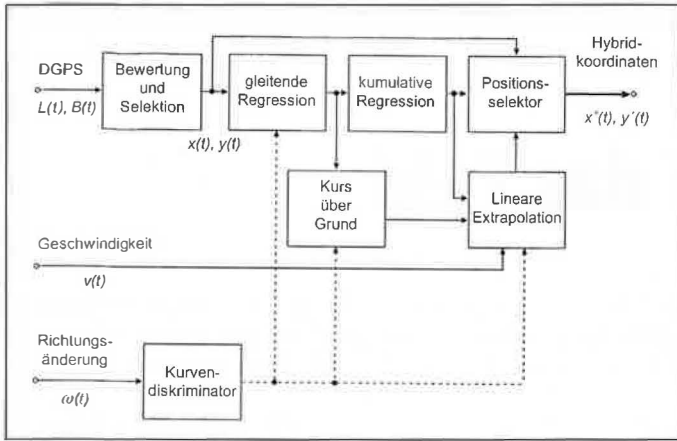


Bild 1: Blockstruktur der Informationsverarbeitung des hybriden Ortungssystems

Fig. 1: Scheme of information processing of the hybrid positioning system

einer gleitenden Regression zugeführt. Aus den letzten n -Werten ($n = 10$ bis 20) wird ein Kurswert bestimmt und einer Richtungsklasse zugeordnet. Der für die Fahrwegberechnung relevante Kurs, entsprechend der zur Zeit befahrenen Geraden, ergibt sich als kumulativer Mittelwert aller Kurswerte einer Klasse. Der Algorithmus realisiert gegenwärtig 36 Richtungsklassen (10° Separation) und läßt so 36 Hauptfahrtrichtungen für Geradeausfahrt zu, die sich entsprechend um minimal 10° unterscheiden müssen. Bei DGPS-Ausfällen dient die aktuelle Hauptfahrtrichtung in Verbindung mit Geschwindigkeitswerten zur Positionsbestimmung entlang der Geraden. Da bei der Feldbewirtschaftung parallele Fahrspuren mit langen geraden Fahrabschnitten dominieren, kann diese Softwarelösung zur sehr genauen und auch kostengünstigen Richtungsbestimmung und Fahrwegberechnung genutzt werden.

Eine höhere Präzision bei der Positionsbestimmung ergibt sich mit Hilfe einer kumulativen Regression der gültigen DGPS-Werte entlang gerader Fahrabschnitte. Nach Bewertung und Selektion der einlaufenden DGPS-Daten über die gleitende Regression erfolgt die kumulative Regression. Die berechnete Ausgleichsgerade beschreibt bereits nach relativ kurzer Fahrzeit ausreichend genau die befahrene Gerade. Fällt man das Lot vom aktuellen DGPS-Wert auf diese Ausgleichsgerade, dann können die Schnittpunktkoordinaten als aktuelle Positionswerte mit verbesserter mittlerer Genauigkeit bereitgestellt werden.

Der Algorithmus des hybriden Ortungssystems stellt die Koordinaten je nach DGPS-Zustand und Fahrspurlage ent-

Tab. 1: Positionsberechnung in Abhängigkeit von der Fahrspurlage (Bild 2)

Positionsberechnung	mit DGPS	ohne DGPS
1. lineare Regression	Gerade	-
2. lineare Extrapolation	-	Gerade ¹⁾
3. DGPS	Gerade/Kurve	-
Kalman-Filter ²⁾	Gerade/Kurve	Gerade/Kurve

¹⁾ zeitlich begrenzt; ²⁾ Ergänzung zur Positionsbestimmung in den Kurven

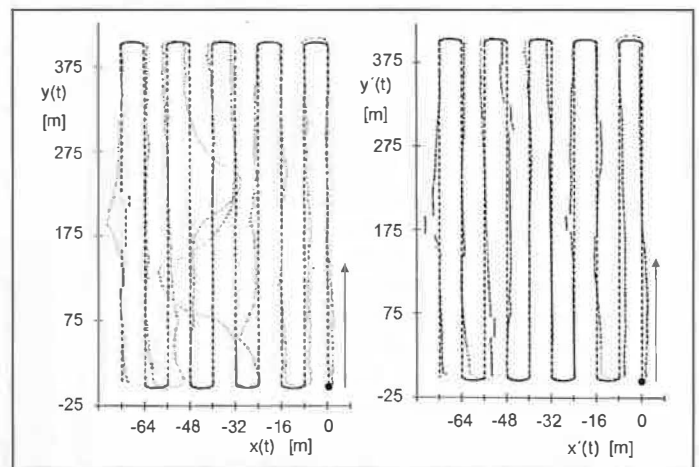
sprechend einer Reihenfolge nach Tabelle 1 bereit. Der Test des Algorithmus nach Bild 1 erfolgte durch Simulationsrechnungen mit Datensätzen für alle Eingangsgrößen, die bei Feldüberfahrten entlang vermessener Sollspuren mit Hilfe eines Meßfahrzeuges aufgezeichnet wurden. Bei geradliniger Fahrt ergeben sich verbesserte Positionswerte und DGPS-Ausfälle werden überbrückt (Bild 2). Die Ergänzung des Algorithmus mit einem Kalman-Filter, dem üblichen Verfahren zur Positionsberechnung, läßt die Kompensation von DGPS-Ausfällen auch während der Kurvenfahrten zu. Bedingt durch die kurzen Zeiten der Kurvenfahrten sind relativ ungenaue, dafür aber preiswerte Richtungsgeber (etwa Vibrationsgyroskope) nutzbar.

Schlußfolgerungen

- Durch gestörten Satelliten- oder Korrekturdatenempfang ist mit Ausfällen der DGPS-Ortung zu rechnen. Wird eine hohe Zuverlässigkeit benötigt, sind Stützsysteme erforderlich.

Bild 2: GPS-Rohdaten x, y und Hybridkoordinaten x', y' , Sollspur:

Fig. 2: GPS raw data x, y and hybrid coordinates x', y' : nominal lane:....



- Koppelortungssysteme (Geschwindigkeits- und Richtungsauswertung) sind ausreichend für die kurzzeitige Überbrückung von DGPS-Ausfällen.

Table 1: Calculation of position depending on type of driving lane (Fig. 2)

Zur Geschwindigkeitsmessung eignen sich Radarsensoren. Zur Richtungsbestimmung sind Sensoren nötig, die bei ausreichend hoher Präzision preiswürdig und bedienungsfreundlich sind. Fluxgatekompaß, Faserkreisel und Vibrationsgyroskop erfüllen diese Anforderungen nur bedingt.

- Die zusätzliche Auswertung von Daten über gerade Spurabschnitte bei der Feldbearbeitung stellt eine preisgünstige Möglichkeit dar, den überwiegenden Anteil der DGPS-Ausfälle mit ausreichender Präzision zu überbrücken. Neben zusätzlichem Rechenaufwand wird nur noch ein relativ einfacher Sensor zur Kurvendetektion und zur Kursbestimmung für die Fahrwegberechnung während der kurzen Zeiten einer Kurvenfahrt benötigt.

Literaturhinweise sind vom Verlag unter LT 98310 erhältlich.

Schlüsselwörter

Teilflächenspezifische Landbewirtschaftung, Ortungssystem, DGPS-Ausfall, Koppelortung, Richtungsbestimmung aus geradlinigen Spuren

Keywords

Precision agriculture, positioning systems, DGPS-dropouts, dead-reckoning, determination of direction using straight