

Elektronische Deichsel für landwirtschaftliche Arbeitsmaschine (Electronic towing bar for agricultural machines)

Auf dem Weg nach autonomen Landmaschinen (On the way to autonomous land vehicles)

Dipl.-Ing. Xi Zhang, Prof. Dr.-Ing. Marcus Geimer, Karlsruher Institut für Technologie;

Dr. agr. Patrick O. Noack, geo-konzept GmbH, Adelschlag;

Dipl.-Ing. Markus Ehrl, AGCO GmbH, Marktoberdorf

Abstract

This paper presents an electronic towing bar system, which enables an autonomous agricultural vehicle to follow a leading tractor with a given lateral and longitudinal offset. In our study not only the follow-up motion but also the problems such as avoiding obstacle, turning at the end of the field have been considered. The position of the leading tractor, which is obtained from the RTK-GPS sensors, is transmitted continually by wireless modems to the following vehicle to provide its target position. With the method of curve fitting a desired path for the following vehicle could be dynamically created. Based on the target position and the desired path, the desired speed and steering angle of the following tractor can be calculated. A tracking controller and a speed controller are designed to provide a precise navigation of the driverless tractor along the desired path. In addition to the path tracking considerations about safety of the towing bar system will also be issued in this paper. Field tests and simulation results have shown that the unmanned tractor could follow the leading tractor satisfactorily. The whole research work is supported by the Federal Ministry of Food, Agriculture and Consumer Protection of the German Government (BMELV).

1. Einleitung

GPS-gestützte Lenksysteme werden heutzutage verstärkt in der modernen Landwirtschaft eingesetzt, um den Anforderungen an präzises Farming zu entsprechen und die Arbeiter von den Routineaufgaben wie Fahrzeugführung zu entlasten. In den vergangenen Jahren wurden zahlreiche Forschungsarbeiten zur Entwicklung autonomer landwirtschaftlicher Arbeitsmaschinen durchgeführt. Ein GPS-basiertes automatisches Lenksystem wurde in einem John Deere 7800 Traktor entwickelt, damit der Traktor entlang einer vorgegebenen geraden Linien mit einem durchschnittlichen Spurfehler von ca. 2 cm autonom fahren kann [1]. Neben den RTK-GPS Sensoren, werden auch Gyroscope üblicherweise eingesetzt, um

die Landmaschine autonom zu führen [2]. Solche Landmaschinen mit automatischen Spurführungssystemen sind zwar in der Lage, sich entlang einer vorgegebenen Leitlinie zu navigieren; allerdings beschränkt sich die Anwendung bisher ausschließlich auf Laborumfeld, wo Hindernisse und andere sicherheitsrelevante Faktoren vorhersehbar sind.

Vor diesem Hintergrund wird elektronische Deichsel für landwirtschaftliche Arbeitsmaschinen als einen Zwischenschritt auf dem Weg zur vollautonomen Landmaschine gesehen. Da ein Fahrer in einem der beiden Landmaschinen sitzt, verliert er die Kontrolle über das unbemannte Fahrzeug nicht, solange es sich in seinem Sichtfeld befindet. Anders als ein vollautonomes Fahrzeug, das sich normalerweise auf teure Sensoren und komplizierte Algorithmen angewiesen ist, bietet die elektronische Deichsel eine durchaus realistische Lösung für kommerzielle Produkte an. Im vorliegenden Artikel wird eine Methode zur Entwicklung eines solchen Deichselsystems für landwirtschaftliche Arbeitsmaschinen erläutert. Basis dafür sind zwei handelsübliche Traktoren, die über eine Funkstrecke miteinander gekoppelt werden. Im Einsatz auf dem Feld verrichten der Führungstraktor und der geführte Traktor in festgelegtem Abstand und Versatz die Arbeit, die normalerweise von einem Traktor mit doppelt so viel Zeit geleistet wird.

2. Systemaufbau



Bild 1: Fendt 936 Vario Traktor und seine Kabine mit Trimble Navigationsmonitor

Bild 1 zeigt eines der beiden Versuchstraktoren, die zur Bildung der elektronischen Deichsel eingesetzt wurden. Der Führungstraktor, sowie der geführte Traktor, sind ein 265kw Fendt 936 Vario Modell mit Allradantrieb. Beide Traktoren sind mit GPS-gestützten Lenksystemen ausgerüstet. Der Führungstraktor verwendet ein Trimble Navigationssystem. Mit dem GPS-Empfänger auf dem Dach der Fahrkabine und dem Funkgerät, das die RTK-Korrektursignale in 1 Hz empfängt, erreicht die Positionsermittlung eine Genauigkeit mit Abweichungen von weniger als 2,5 cm. Die resultierenden Positionsdaten werden dann durch einen Controller

korrigiert, der das Roll-, Nick- und Gierbewegung der Landmaschine während der Messung ausgleichen kann. Im geführten Traktor war bereits vor Versuchsbeginn ein proprietäres Navigationssystem der Firma Fendt installiert. Ein Gyroskop zur Korrektur der GPS Messungen wurde auch in dem geführten Traktor installiert, sodass die Positionierung die gleiche Genauigkeit wie das Trimble-System erreichen kann.

Bild 2 zeigt schematisch wie der unbemannte Traktor durch die elektronische Deichsel vom Führungsfahrzeug geführt werden kann. Ist die Elektronische Deichsel „geschlossen“ folgt das geführte Fahrzeug dem Führungsfahrzeug mit einem definierten Versatz und Abstand in derselben Richtung bei gleicher Geschwindigkeit. Die zurück gelegte Wegstrecke des Führungsfahrzeuges wird dabei ermittelt und als Information zur Navigation des geführten Fahrzeuges zur Verfügung gestellt. Anschließend sollen diese Informationen mit Einbezug des Versatzes, dem Abstand, den zusätzlich benötigten Informationen und den „auftretenden Störgrößen“ so aufbereitet werden, dass eine dynamische Navigation des geführten Fahrzeuges möglich ist. Dem geführten Fahrzeug wird zusätzlich ein virtuelles Toleranzfeld vorgegeben, um evtl. Übertragungsfehler der drahtlosen Verbindung zu überbrücken bzw. innerhalb dieser die Fahrspur interpolieren zu können.

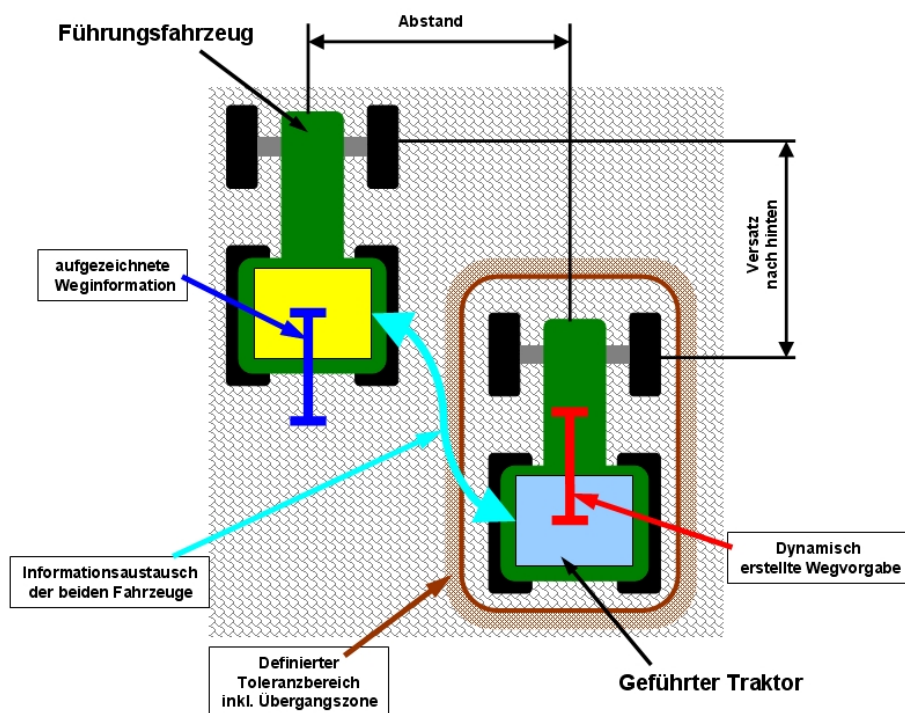


Bild 2: Kopplung der "Elektronischen Deichsel" und das Toleranzfeld

Zum Aufbau einer solchen elektronischen Deichsel für zwei Traktoren sind folgende Arbeitspakete zu absolvieren:

- ein Algorithmus zur Pfadplanung des geführten Traktors

- ein Regler für die Spurführung des geführten Traktors entlang der berechneten Leitlinie
- einen drahtlosen Informationsaustausch zwischen beiden Traktoren
- ein Programm zur Überwachung der Zustände der unbemannten Landmaschine, um den Sicherheitsanforderungen gerecht zu werden

3. Pfadplanung

Bei der Pfadplanung sind eine Vielzahl von Faktoren zu berücksichtigen. Anhand des vom Bediener am Führungsfahrzeug gewählten Systemmodus (Standard, Ausweichen, Wenden) wird die Leitlinie für das unbemannte Fahrzeug berechnet. In [3] werden insgesamt vier unterschiedliche Modi bei der Pfadplanung berücksichtigt:

- der Standard Modus, in dem der geführte Traktor dem Führungstraktor parallel folgt. Der seitliche Versatz ist einstellbar und entspricht in der Regel der Arbeitsbreite des Anbaugeräts. Die Geschwindigkeit des geführten Traktors wird so geregelt, dass ein definierter Abstand zwischen den Führungsfahrzeug und dem geführten Fahrzeug eingehalten wird.
- der Follow-Me Modus, in dem der geführte Traktor dem Führungstraktor ohne seitlichen Spurversatz folgt. Dieses Modus muss aktiviert werden, wenn der Bediener ein Hindernis auf der Fahrspur des folgenden Fahrzeugs erkennt. Nach dem Passieren des Hindernisses kehrt das folgende Fahrzeug automatisch wieder auf seine ursprüngliche Fahrspur zurück.
- der Ignore-Me Modus, in dem der geführte Traktor seine Fahrspur beibehalten soll. Die Weginformationen des Führungstraktors werden in diesem Modus vom geführten Fahrzeug ignoriert.
- der Wenden Modus, in dem der geführte Traktor am Feldende anhand der Fahrspur des Führungsfahrzeugs automatisch gewendet werden kann.

4. Spurführung

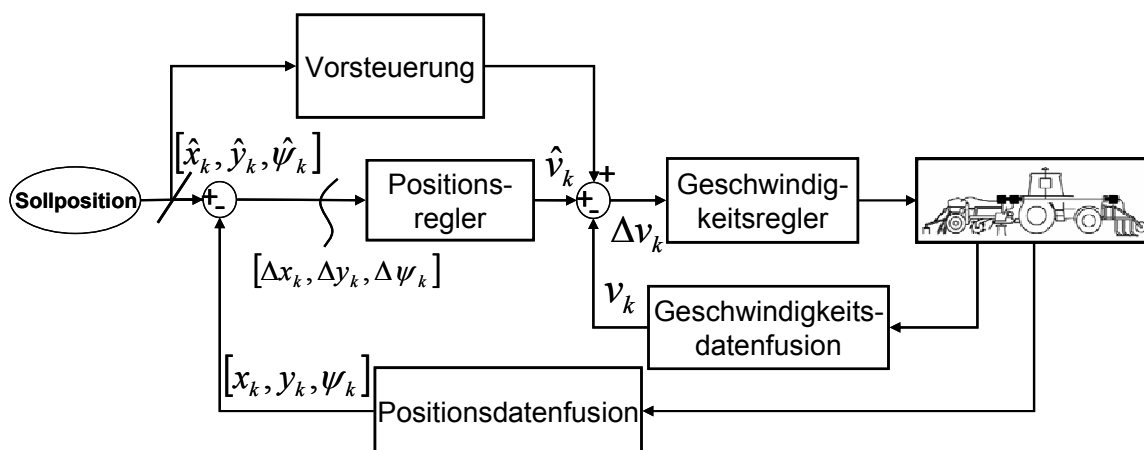


Bild 3 Regelstruktur für die Geschwindigkeitsregler

Eine Regelstruktur aus einer Kaskadenregelung mit Vorsteuerung wurde entworfen, um den unbemannten Traktor der gewünschten Fahrspur entlang zu führen und den Spurfehler zu minimieren [4]. Bild 3 zeigt die Struktur für die Geschwindigkeitsregelung, anhand der die Geschwindigkeit des geführten Traktors so geregelt werden kann, so dass sein Abstand zum führenden Traktor konstant bleibt. Die Regelstruktur für die Querführung des unbemannten Traktors wird ähnlich aufgebaut. In diesem Fall wird der Geschwindigkeitsregler durch einen Lenkwinkelregler ersetzt.

5. Kommunikation

Die GPS-Messdaten und Benutzereingaben am Führungsfahrzeug werden durch eine Kommunikationseinheit von dem Führungsfahrzeug auf dem geführten Traktor übertragen. Umgekehrt werden die Informationen über den aktuellen Zustand der Maschine, die unbemannt geführt wird, vom geführten Traktor auf dem Führungsfahrzeug übermittelt und auf dem Monitor gezeigt. Dafür werden Funkmodems als drahtlose CAN-Bridge eingesetzt, die im 2,4 GHz ISM-Frequenzband Daten senden und empfangen. Mit einer maximalen Übertragungsrate von 250 kbps und einer Reichweite von 1,6 km können die sämtlichen Informationen problemlos übermittelt.

6. Systemsicherheit

Der Betriebszustand der elektronischen Deichsel wird ständig durch ein Sicherheitsmodul überwacht. Das Sicherheitsmodul kontrolliert die aktuelle Position des unbemannten Fahrzeugs und vergleicht mit den inneren und äußeren Grenzen der Übergangszone des Toleranzbereiches (Bild 2). Wenn der geführte Traktor über die innere Grenze hinaus fährt, wird ein Alarm auf dem Monitor im Führungsfahrzeug gezeigt. Wenn er noch über die äußere Grenze hinaus geht, wird er sofort angehalten. Neben der Positionsüberwachung überprüft das Sicherheitsmodul laufend die Qualität und Plausibilität anderer Messwerte der Ortungssensoren sowie des Funksignals. Bei kritischen Zuständen oder aufgrund eines Benutzereingriffs kann der unbemannte Traktor in einen Fail-Safe-Zustand eingeleitet werden.

7. Ergebnisse und Diskussion

Ein Prototyp der elektronischen Deichsel für Landmaschine wurde sowohl auf Asphalt- als auch auf Ackergelände getestet. Im Bild 4 wurde das Ergebnis der Spurverfolgung aus einem Feldtest aufgezeichnet. Die blaue Linie, die meistens von der roten Linie überlappt wird, zeigt die Fahrspur des Führungsfahrzeugs. Die Überlappung der beiden Linien auf einander deutet auf ein gutes Spurverfolgungsergebnis hin. Große Abweichungen kommen nur dann vor, wenn das Führungsfahrzeug wegen des schlechten GPS-Empfangs (z.B. Abschattung durch Bäume) ungenaue Messwerte aus dem Navigationsrechner erhält.

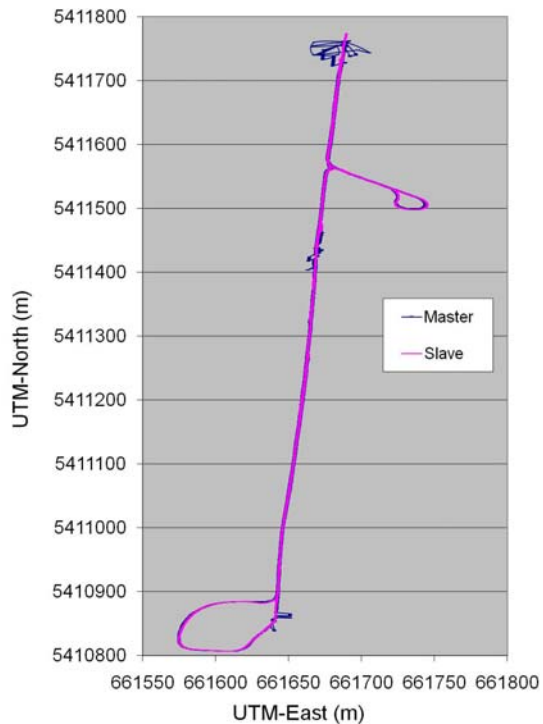


Bild 4 Aufzeichnung der Ergebnisse eines Feldtests in UTM-Koordinaten

Die vorgestellte elektronische Deichsel ermöglicht eine unbemannte Landmaschine, gemeinsam mit einem anderen Führungstraktor, dieselbe Arbeit, wie Pflügen und Säen durchzuführen. Im Vergleich zu vollautonomen Feldrobotern, die aus Sicherheitsgründen noch weit vom kommerziellen Produkt entfernt sind, bietet die elektronische Deichsel schon eine praxisnahe Lösung an. Der Vorteil des vorgestellten Systems liegt in der Überwachung des gesamten Systems durch einen Fahrer, der in sicherheitskritischen Zuständen die unbemannte Maschine anhalten kann. Vorläufige Testergebnisse haben gezeigt, dass der geführte Traktor dem Führungstraktor problemlos folgen kann.

8. Literaturverzeichnis

- [1] M. O'Connor, T. Bell, G. Elkaim, B.W. Parkinson "Automatic steering of farm vehicles using GPS" in Proceedings of the Third International Conference on Precision Agriculture, Minneapolis, MN, June 23-26, 1996, pp.767-778.
- [2] N. Noguchi, J.F. Reid, Q. Zhang, J.D. Will, K. Ischii, 2001. "Development of robot tractor based on RTK-GPS and gyroscope" ASAE Paper 01-1195.
- [3] P. O. Noack, B. Kammerbauer, M. Schönfelder "Path planning algorithms for a GPS based electronic tow bar" in Proceedings of the 2nd International Conference on Machine Control & Guidance, Bonn, Germany, March 9-11, 2010, pp.45-50.
- [4] Y. Gao, Q. Zhang "A Comparison of Three Steering Controllers for Off-road Vehicles" in Proceedings of the Automation Technology for Off-Road Equipment Conference, 1-2 September 2006, Bonn, Germany, pp.289-301.