

学位論文題名

Development of a robot tractor implemented an omni-directional safety system

(全方位安全システムを完備したロボットトラクタに関する研究)

学位論文内容の要旨

I Introduction

A Robot tractor is a key technology to solve the problems for both descending number of farmers and aging of farmers. In addition, it provides a smart platform to introduce precision farming (PA) from ideas to application, which benefits on reducing the cost of fuel for tractors and the usage of fertilizer and pesticide. In the research, a robot tractor was developed based on an ISOBUS-base commercialized tractor. A Real-time Kinematic GPS (RTK-GPS) and an IMU were utilized as a position and a posture sensor for developing a navigation system. On the other hand, robot tractors created a new challenge for safe operation because of no driver in a robot tractor. In particular, an safeguard system covering whole 360° surrounding the robot tractor is badly needed. In this research, the omni-directional safety system was also developed by using a newly developed omni-directional stereo vision (OSV) and two 2D laser scanners.

II Literature review

There were many researches dealt with development of autonomous vehicles in agriculture. A machine vision was earlier used in navigation at 1990's due to low cost. The navigation method was mostly based on recognizing and following crop rows. However, the machine vision system has not been really applied because of the lack of crop rows and illumination influence on the machine vision. A time-of-flight laser scanner is another sensor for navigation. It is a sensor acquiring local information surrounding the robot tractor that is similar with a machine vision. With decreasing in the GPS price, the RTK-GPS was utilized more and more for navigation, while it was also easier to perform precision planting, spraying, etc. In addition, the safety system for a robot tractor have been also developing using a machine vision, a laser scanner, an ultrasonic sensors in recent years. However, current safety systems are only considering obstacles in the front of a vehicle.

III Research platform and sensors

The vehicle platform used in this research was an ISOBUS-base wheel type tractor (EG83, Yanmar Co., Ltd., Japan). The specifications of the tractor are: the engine power is 61kW; the height, width and length are 2.620, 1.750 and 3.905 m, respectively; the mass is 2840 kg. The navigation sensor used for an open-sky field was an RTK-GPS receiver (AGI3, Topcon Co., Ltd., Japan), which also includes an IMU. The position accuracy of the AGI3 is about ± 0.03 m. Drift-free roll, pitch and yaw angles can be directly read from this sensor as well as the position data. For the safety equipment, two high-definition (HD) omni-directional cameras (Ladybug 3, Point Grey Research Inc., Canada) were used to develop an OSV apparatus. In addition, two 2D laser scanners (UTM-30LX, Hokuyo automatic Co., Ltd., Japan) were also mounted in front and rear of the developed robot tractor to detect obstacles. The maximum range and scanning field of view are 30 m and 270 degree, respectively. Therefore, two laser scanners can cover the

whole 360° around the robot. Moreover, an emergency stop bumper, a remote controller and an emergency stop button were implemented to the robot to stop the tractor engine in dangerous situations.

IV Development of the robot tractor navigation and safety system

There are three sub-systems of the robot tractor: a robot tractor controller PC, a robot tractor and the omni-directional safety system. The robot tractor controller PC performs the function of pre-defining a working path, working parameters such as speed, PTO, hitch position, etc. The robot tractor with an electronic control unit (ECU) performs an actual field work. The safety system is used to monitor the surroundings of the robot tractor to avoid a collision with human or other obstacles. The robot tractor controller PC acquires position data (latitude, longitude) and posture data (roll, pitch and yaw) from the AGI-3 and tractor status from the CANBUS (engine speed, vehicle Speed, PTO, hitch status, etc.), and then the control parameters were calculated based on the pre-defined task plan. Finally, the parameters were transmitted to the robot tractor via the CANBUS. The robot tractor ECU was used to receive the control parameters from the CANBUS, and control the robot tractor according to these parameters. The omni-directional safety system was developed based on the OSV and two laser scanners. The images grabbed from two cameras were transmitted to a PC in the safety system. An algorithm of an optical flow was developed to detect a human using the OSV. Moreover, the data captured from two laser scanners were transmitted to the PC of the safety system. The algorithm based on wavelet were adopted to detect a human using two laser scanners.

V Experiment results

Three experiments were conducted to evaluate the robot tractor navigation system. The results of the first experiment showed that the RMS of lateral and heading errors were 0.05 m and 0.6 degree, respectively. The results of the second experiment showed that the robot tractor could work stably for a long-time (4 hours and 45 minutes) with the lateral and heading errors of 0.05 m and 0.7 degree, respectively. In the third experiment, the robot tractor was working together with a human driving tractor. The experiment results indicated that the robot tractor could significantly improve the working efficiency due to reducing dead time such as time of headland turn. The experiment results of the human detection using the OSV showed that a human could be detected in the range of 4 to 11 m. The RMS error of the distance from the sensor to the obstacle was less than 0.5 m in both stationary and moving conditions. And, the obstacle detection accuracy was improved by using two laser scanners. The results indicated that the system could detect an obstacle with an error of around 0.10 m in the range from 0.5m to 5 m. And the detectable size of an obstacle was about 0.25 m high from the ground.

VI Conclusions

The robot tractor with the RTK-GPS and the IMU was developed by modifying a commercial conventional tractor. In the field experiment, the developed robot could run under the lateral error and heading errors of 0.05 m and 0.7 degree, respectively, in different speeds (0.6, 1 and 1.4 m/s). The attained accuracies were fully accepted in an actual field work of an agricultural tractor. The developed OSV apparatus had the detection error of about 0.5 m. In addition, two 2D laser scanners were also used as a safety system. The safety system based on two 2D laser scanners had higher performance of positioning obstacle. Since it could detect the obstacle with an error of around 0.10 m. Even a low object such as about 0.25 m high was also able to be detected. It was concluded that the safety system was accurate enough for ensuring safety of the robot tractor.

学位論文審査の要旨

主査	教授	野口	伸
副査	教授	柴田	洋一
副査	准教授	石井	一暢
副査	准教授	岡本	博史

学位論文題名

Development of a robot tractor implemented an omni-directional safety system

(全方位安全システムを完備したロボットトラクタに関する研究)

本論文は、全7章からなる総頁数 117 ページの英文論文である。論文には図 66, 表 13, 引用文献 90 が含まれ、別に参考論文 5 編が添えられている。ロボットトラクタは農家戸数の減少や農家の高齢化など、わが国農業が直面している問題を解決するためのキーテクノロジーとみなされているが、ロボット化に要するコストと安全性が実用化の課題である。本研究はロボット実用化を促進するために重要なロボットの低コスト化手法とロボットの周囲 360° 監視できる安全システムの開発を目的とした。

本研究では ISOBUS を装備した車輪トラクタをロボット化のプラットフォームとして供試した。供試トラクタは出力 61kW、質量 2840 kg、全長、全幅及び全高は 3.905m、1.750m、2.620m の中型に分類されるものである。航法センサは RTK-GPS (Real-time kinematic global positioning system) と IMU (Inertial measurement unit) を採用した。RTK-GPS の測位精度は $\pm 0.03\text{m}$ である。IMU はロール角、ピッチ角、ヨー角を出力する。本研究ではロボット化を低コストに実現するために、ロボットコントローラはトラクタ同様 ISOBUS 仕様で開発した。開発したロボットコントローラは変速、走行方向、エンジン回転数、PTO、ヒッチ位置などロボット制御全体を統括する機能を有する。さらにトラクタ、ロボットコントローラ、各種センサ間は CAN (Control Area Network) によって通信できるよう機能化することでシステムの柔軟性を向上させた。

ロボットトラクタの安全システムとして、全方位カメラ (Point Grey Research, Ladybug 3) を 2 台供試して、ロボット周辺 360° のテクスチャー画像と距離画像が取得できる全方位ステレオビジョンシステム (omni-directional stereo vision) を開発した。全方位ステレオビジョンシステムは 2 台の全方位カメラを鉛直方向に連結して、その 2 画像の対応点の検出、視差計算を行い、対象物までの距離を算出する。人間などの移動障害物を検出するために、オプティカルフローアルゴリズムを採用して、ロボットの全方位をカバーした障害物検出システムを開発した。しかし、全方位ステレオビジ

ョンシステムは高価なシステムなため、本研究では低コストな全方位障害物検出システムの開発にも取り組んだ。レーザスキャナを使用して距離情報から障害物を認識する方式である。レーザスキャナの検出距離は 30m、検出範囲は周囲 270° であるので 2 台のレーザスキャナをロボットトラクタの前・後部に配置することで、ロボット周囲 360° のエリアを検出領域とすることができる。2 台のレーザスキャナから得られる極座標データ群を非線形デジタル信号処理法であるウェーブレット変換を行うことで障害物認識ができるアルゴリズムを考案した。さらに、衝突時の緊急停止用としてバンパースイッチ、リモートコントローラ、停止ボタンなどをロボットに装備して、多段の安全対策を施した。

開発したロボットトラクタの性能を検証するために 3 種類の圃場試験を行った。まず 1 番目は開発ロボットが一般的なトラクタ作業を確実に遂行できるか調べるために耕うん作業を行った。走行精度を意味する横方向偏差および方位偏差はそれぞれ 0.05m と 0.6° であり、高精度な作業走行が可能であった。2 番目の試験は夜間 5 時間ロボットに作業させて走行精度とともにシステムの信頼性を調べた。長辺 200m、全 44 行程の 2ha のほ場で無人耕うん作業を行った。横方向偏差は 0.05m で人間の運転技量をはるかに超える走行精度を実現するとともに長時間連続作業によってシステムの高い安定性が確認された。3 番目の試験として、ロボットトラクタと有人トラクタによる協調作業を行った。人間とロボットが協調することで作業能率を 2 倍にする複合作業法を考案し、その有用性を検証した。ロボットの作業精度は人間よりも優れているので有人トラクタがロボットトラクタの作業軌跡を追従する作業法を採用し、作業能率、作業精度の向上とともに人間がロボットとともに作業を行うことでロボット作業の安全性を高めた。

本研究で開発した 2 種類の全方位障害物検出システムについてもその性能を圃場試験で評価した。全方位ステレオビジョンシステムは障害物となる人間をロボットの周囲 4~11m の範囲で正確に検出することができた。障害物までの測距誤差は 0.5m 以下であった。また、レーザスキャナを用いた全方位障害物検出システムの場合、ロボットの周囲 0.5~5m の範囲で移動障害物を検出することができた。障害物までの測距誤差は約 0.1m であった。検出可能な障害物の大きさは地表から 0.25m であり、人間よりも小さい小動物も検出可能である。

省力効果が期待できる農業ロボットに関する研究は国内外を問わず数多く行われているが、国際的にいまだ実用化されていない。その問題はコストと安全性であるが、本研究はこの両者の問題解決を目指して進めたものである。以上のように本研究には高い学術的価値、オリジナリティが存在するとともに実用上でも極めて重要な問題を取り扱ったと判断されたので、審査員一同は、楊 亮亮が博士（農学）の学位を受けるに十分な資格を有するものと認めた。