



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	Smart agricultural vehicle by integrating motion model with machine vision data [an abstract of dissertation and a summary of dissertation review]
Author(s)	Ospina Alarcon, Ricardo
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(農学)
Dissertation Number	甲第13329号
Issue Date	2018-09-25
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/71867
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/
Type	doctoral thesis
File Information	Ospina_Alarcon_Ricardo_review.pdf, 審査の要旨



学位論文審査の要旨

博士の専攻分野の名称	博士（農学）	氏 名	Ospina Alarcon Ricardo
審査担当者	主査	教授	野口 伸
	副査	教授	岩渕和則
	副査	准教授	岡本博史
	副査	准教授	石井一暢

学位論文題名

Smart agricultural vehicle by integrating motion model
with machine vision data

(運動モデルとマシンビジョンのデータ融合によるスマート農用車両の開発)

本論文は英文 128 頁，図 54，表 10，6 章からなり，参考論文 2 編が付されている．我が国の基幹的農業従事者の平均年齢は 66.5 歳，65 歳以上が 61% 超える状況（2013 年）を迎え，農業の労働力不足は深刻さを増している．他方農林水産省は，将来にわたって地域農業を支える「担い手」に，今後 10 年間で全農地 460 万 ha のうち 8 割を集積する目標を掲げている．実際に 2010～15 年にかけて，小規模経営体が大幅に減少する一方で 100ha 超の経営体が 30% も増加している．今後もこの傾向は続くと言われ，農作業の超省力技術の開発は急を要する．本研究では，非線形車両運動モデルとマシンビジョンをデータ融合することによって，農用車両の状態検出の精度を上げて，自動走行や圃場マッピングを可能にするスマートな車両の開発を目的とした．

1. 非線形運動モデルを用いた車両状態の推定

車両運動モデルにより車両の運動挙動が推定できる．運動モデルは車両に作用する横力を考慮して，車両位置と方位を推定することが本質である．本研究ではまず農用車両を供試して車輪の力学動特性を圃場において測定し，車輪横滑り角と横力の関係をモデル化した．さらに本研究では車輪－路面間の力学的相互作用とヒステリシスループを忠実にモデル化することで，車両横滑り角の誤差 RMS を 5.0° から 3.4° ，32% 低減させた．また，車両角速度の誤差 RMS は $7.3^{\circ}/s$ から $4.6^{\circ}/s$ ，37% 低減させた．当然，車両横滑り角と車両角速度の精度向上は車両位置・方位の推定精度も高める．位置精度は RTK-GPS，方位精度は光ファイバジャイロスコープを使用して評価した．車輪の非線形特性を考慮しない場合の位置と方位の誤差 RMS はそれぞれ 0.059m， 2.8° であったのに対して，車輪の非線形特性を考慮した場合の位置と方位の誤差 RMS はそれぞれ 0.022m， 1.2° であり，誤差が大幅に低減した．しかしながら車両を圃場で自動走行させるには，このモデル精度では不十分である．理由は車輪－路面間の相互作用には多くの環境要因が介在するからである．例えば土質や土壌水分は車輪－路面間の力学的相互作用に大きな影響を与える．したがって，車両の状態推定には運動モデルと合わせて状態量を逐次検出できるセンシングデバイスが不可欠である．

2. 広角・望遠画像が同時取得できるマシンビジョンの画像処理アルゴリズム

本研究で使用したマシンビジョンは富士フィルム株式会社と共同試作したものである。広角画像と望遠画像を同時に取得できる世界的にも例のないマシンビジョン(2-in-1 カメラ)である。ビジョンセンサは車両のキャビン上部に取り付けられ、上方から圃場面を撮影する。まず広角画像を用いて作物列からの横方向相対位置を計測できる画像処理アルゴリズムを開発した。しかしながら、作物列の周辺にある雑草や作物植生の不均一性が計測精度に影響する。そこで、望遠画像から細密な作物位置を検出して横方向相対位置の検出精度を向上させる方法を考案した。この広角画像データと望遠画像データを統合するアルゴリズムを用いることで横方向相対位置の誤差を 0.061m から 0.028m, 54%低減させることに成功した。以上の結果から 2-in-1 カメラは作物列からの横方向相対位置の計測に有効であるが、ばらつきを有する作物列を基線として車両位置を検出する本方式は原理的に環境ノイズが包含されることは否めない。

3. 車両運動モデルとマシンビジョンを統合した自動走行システムと圃場マッピング

車両運動モデルとマシンビジョンを統合して、マシンビジョン固有のノイズを除去することを試みた。車両運動モデルを利用したビジョンデータのフィルタリングシステムを構成して測位精度の向上を検証した。その結果、誤差 RMS は位置については 0.028m から 0.024m まで減少し、車両方位に対しては 0.75° から 0.42° まで減少した。位置精度については有意差は認められなかったものの、方位精度は 44% の改善が認められた。このモデル・センサ統合技術は農用車両のスマート化に貢献する。スマート機能の 1 つ目は作物列検出から精度の高い自動走行を実現する。もう 1 つは車両の位置・方位情報を利用した圃場の空間マップ作成機能である。マッピングについては広角画像を使用して最大 11 作物列をカバーできた。マッピング誤差は誤差 RMS で 0.023m であり、十分に高い精度であることを確認した。

以上のように本論文は走行路面が土壌である農用車両は従来の線形の運動モデルでは高精度に状態推定できないという事実から非線形な車両運動モデルを提案した。しかしながらナビゲーションなどの実利用するには、モデル出力の積算誤差と土壌環境の多様性から限界があり、逐次状態検出できるセンサの導入が不可欠であるとの結論に達した。そこで広角・望遠画像が同時取得できる 2-in-1 カメラを採用し、安定して位置と方位を検出できる方法論を考案した。さらにビジョンセンサ出力に印加されるノイズを運動モデルと融合することで除去した。このデータ融合技術は、農用車両の自動走行と圃場マッピングに適用し、その有効性を実証した。以上の成果は、土壌・植生などフィールド環境が大きく変化する中で使用される農用車両のスマート化に多大に貢献するものである。

よって審査員一同は、Ospina Alarcon Ricardo が博士（農学）の学位を受けるのに十分な資格を有するものと認めた。