

学 位 論 文 題 名

方向符号照合の FPGA による実現と
産業応用に向けた画像センサの研究開発

学位論文内容の要旨

画像計測は工場内の生産ライン、品質検査に多用されている一方で、屋外での利用は限定的である。屋外での画像の利用においては、計測環境の変化に対するロバスト性ととも、設置スペースや電力、耐環境性など、多くの制限へ対応する必要がある、これらが導入の課題になっていると考えられる。しかしながら、農業など一次産業においては人手不足等の問題から、作業の軽減と効率の向上が求められており、作業の自動化を進める上で、センサとしての画像計測への期待は大きい。

本研究では、このような分野で実利用可能な画像センサを提供することを目的として、明度変化にロバストな方向符号照合を用い、FPGA(Field Programmable Gate Array) を利用したハードウェア化を行って、ロバスト性、高速性、回路規模、汎用性の点で優位性があり、実利用可能なセンサの研究開発を行った。具体的な応用として、農作業機向けの車速計測センサとステレオビジョンセンサへ適用した。

FPGA を用いたハードウェア化については、一部取り組まれているものの、実利用を目指したセンサとしてロバスト性、高速性、汎用性、さらに回路規模について論じられている研究は非常に少ない。車速計測センサでは、計測原理に関しては類似した手法が考案されているものの、実際に実用可能なセンサの開発とそのロバスト性の検証を具体的に進めた研究事例はなく、特に農業分野への応用としては新しい試みである。またステレオビジョンセンサについては、従来から提案されている様々なシステムがあるものの、回路規模、汎用性、ロバスト性の点で本研究に優位性があることを示した。

本センサの開発においては、ハードウェアによる画像照合処理の基本的なフレームワークを検討すると共に、方向符号照合の最適な回路設計と実装を行った。さらに FPGA を搭載した独自の処理ボードを開発して、プロトタイプセンサの試作を行い、実フィールドでの検証を進めた。車速計測センサにおいては、対地画像におけるフレーム毎の変位量を画像照合により計測し車速の推定を行う、新規性の高いセンサとした。このセンサは農作業機向けとして、小型化、低消費電力化を図り、さらに耐環境性を高めて、実用を目指した実圃場での検証試験を進めている。ステレオビジョンセンサでは、さらに並列処理を高めるとともに、回路規模低減の工夫を図り、従来研究を超える処理性能を備えると共に、ロバスト性と汎用性の点で優位性の高いステレオ画像処理を実現した。

本研究では、方向符号照合を用いたハードウェア実現の有用性とこれを利用した画像センサの有効性を、車速計測センサおよびステレオビジョンセンサの事例により示すと共に、ハードウェアによる画像照合処理の高速化手法を提示した。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 金 子 俊 一

副 査 教 授 五十嵐 一

副 査 准教授 田 中 孝 之

学 位 論 文 題 名

方向符号照合の FPGA による実現と 産業応用に向けた画像センサの研究開発

画像計測は工場内の生産ライン、品質検査だけでなく、様々な分野において利用が期待されている。農業など一次産業においては人手不足等の問題から、作業の軽減と効率の向上が求められており、作業の自動化を進める上で、センサとしての画像計測への期待は大きい。このような多様な産業分野での画像処理の実利用を進めるには、環境に対する処理のロバスト性を高めるとともに、装置の小型化、高速化、耐環境性などの課題へ対応する必要がある。

本論文は、方向符号照合を FPGA(Field Programmable Gate Array) により処理する高速でコンパクトなハードウェア処理手法を提案し、速度計測センサ、ステレオビジョンセンサへ応用し、試作センサによる検証を行って、実利用におけるロバスト性、高速性、回路規模の有効性を検証している。6つの章からなり、第1章では画像処理の実利用における処理装置の小型化、高速化、屋外での利用の必要性について概観するとともに、本研究の位置づけおよび目的を明確にしている。第2章では方向符号照合とその FPGA による実現の有効性について述べるとともに、FPGA による処理のフレームワークを提示している。第3章では、第2章において提示したハードウェア処理手法を速度計測に応用し、画像照合を利用した新たな農作業機向け速度計測センサを提案するとともに、センサの試作を行って、その有効性について実フィールドで評価している。第4章では実用化に向けた農作業機向け速度計測センサの検証結果と課題を示し、その対処方法の一部を示している。第5章では、第2章において提示したハードウェア処理手法の2つめの応用として、ステレオビジョンセンサへ応用し、処理性能を大きく向上させてリアルタイムでの処理性能を実現したセンサを提示し、処理性能と回路規模における有効性を示している。第6章は、本論文の結論として、以上の成果を統括している。

まず、画像処理の実利用を進める上での FPGA 利用の有効性を指摘するとともに、方向符号照合を用いることで、ロバスト性を備えるとともに回路規模の点においても効果があることを指摘した。FPGA を用いたハードウェア処理における独自のアルゴリズムを提案するとともに、これを応用した画像照合を用いた新たな速度計測センサを提案した。センサの試作により、コンパクトな回路規模で実現可能であることを示し、圃場においてタイヤのスリップに影響されない高い精度での計測が可能であることを実験により検証するとともに、実用化における課題への対応について示した。さ

らに、高速なステレオビジョンセンサを提案した.FPGA を利用した高い並列度とパイプライン処理回路による独自の回路構成を提示し、処理性能、回路規模において、優位性の高い回路であることを示した. センサの試作により、その実現性とリアルタイム処理について検証した.

以上を要するに、筆者は、方向符号照合を FPGA により処理するハードウェアアルゴリズムを提案し、これを、速度計測センサ、ステレオビジョンセンサへ応用するとともに、センサの試作、検証を行って、その有効性を明らかにした. 速度計測センサは、画像照合を用いた農作業機向けの新しいセンサであり、タイヤのスリップによる影響のない精度の高い計測を実現した. ステレオビジョンセンサは処理性能、回路規模において優位性の高い照合回路を開発し、リアルタイム処理センサを実現した. 本研究の成果は、画像処理分野ならびに農業機械分野における発展に寄与するところ大なるものがある. よって、筆者は北海道大学博士 (情報科学) の学位を授与される資格あるものと認める.