



Title	TOF-CCD によるリアルタイム 3 次元計測に関する研究
Author(s)	橋本, 裕介
Citation	大阪大学, 2012, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/59155
rights	
Note	著者からインターネット公開の許諾が得られていないため、論文の要旨のみを公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、大阪大学の博士論文についてをご参照ください。

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

氏 名	はし 橋 本 裕 介
博士の専攻分野の名称	博 士（工学）
学 位 記 番 号	第 2 5 5 3 3 号
学 位 授 与 年 月 日	平成 24 年 3 月 22 日
学 位 授 与 の 要 件	学位規則第 4 条第 1 項該当 工学研究科電気電子情報工学専攻
学 位 論 文 名	TOF-CCD によるリアルタイム 3 次元計測に関する研究
論 文 審 査 委 員	(主査) 准教授 松岡 俊国 (副査) 教 授 八木 哲也 准教授 橋本 昌宜 招聘教授 谷口 研二 教 授 伊藤 利道 教 授 森 勇介 教 授 片山 光浩 教 授 尾崎 雅則 教 授 栖原 敏明 教 授 近藤 正彦 教 授 大森 裕 教 授 森田 清三

論 文 内 容 の 要 旨

Time-Of-Flight (TOF) 方式の距離画像センサ技術に着目し、様々な分野でリアルタイムに 3 次元情報を取得することを可能とすべく基本原理の構築と実用性の高い小型センサ技術の開発を行った。

第 1 章では、人物や物体の 3 次元形状をリアルタイムに計測する距離画像センシング技術の概要について説明した。車載、FA、ロボットをはじめ様々な分野で応用が期待されていることについて説明し、さらにステレオ視、レーザスキャニング、パターン光照射といった距離画像取得のための代表的な手法について説明し、本論文でとりあげる TOF 法の有用性ならびに基本原理と距離の導出方法について述べた。

第 2 章では、TOF 方式距離画像センサの基本原理について説明し、撮像素子の感度と復調効率の両方を高くすることが距離測定精度を向上させる上で重要であることを述べた。基板上にフォトゲートを配置したのみのシンプルで開口率が高い画素構造と、信号光の強度変調周期と同期しながらフォトゲートの駆動ゲート数を変化させることで感光面積を切り替える面積復調原理とにより、開口率を維持しながら高い復調効率を実現させることを可能とした。面積復調原理に基づく距離画像センサの試作機を開発し、人の 3 次元形状をリアルタイムに捉えることが可能となった。

第 3 章では、周囲光による画素の飽和の問題を克服した周囲光電荷消去の原理について解説した。第 2 章で説明した面積復調画素にフローティング・ディフュージョンを配置したシンプルな画素構造と“量取り駆動”により、太陽光などの周囲の光によって発生した過剰電荷を消去しながら信号光によって発生した電荷を蓄積することで、直射日光 10 万 lx の環境下でも画素を飽和させることなく距離測定が行えるようになった。また、CCD の蓄積部の構造を革新した加算蓄積構造により、周囲光による光ショットノイズの影響を低減させ、直射日光下でも十分な距離測定精度で人の動きをとらえることが可能となった。

第 4 章では、TOF 方式距離画像センサの課題である信号光の強度変調位相の繰り返しの問題について説明し、これを解決すべく信号光の変調を従来の CW 信号による変調ではなくコード信号で行う方式を提

案した。本方式とノイズ除去フィルタにより 2π 位相より遠方の誤測距データを削除することを可能とした。さらに、ガラス面からの反射光がガラス面の向こう側の空間からの反射光に混入し正しく距離測定が行えない問題について、コード変調方式を応用することでガラス面からの反射光を分離処理できる技術を構築しショウウィンドウなどのガラス越しに外界の空間をセンシングするデジタルサイネージなどの分野での有用性を見出した。コード変調方式の提案により、TOF 方式距離画像センサの実用性をいっそう高めることができた。

第 5 章では、LED と CCD 以外の電子部品を 1 チップ化した ASIC を開発することでセンサの部品点数を飛躍的に削減した。さらに、第 2 章で述べた高速遷移駆動による面積復調原理と第 3 章で述べた加算蓄積の原理との融合により、センサの SN 性能を向上させ LED パワーを削減させた。これらの開発により距離画像センサの小型化が可能となった。開発した小型距離画像センサは、SN 性能の改善により、LED パワーの削減の他にも画角の広角化やフレームレートの向上も実現した。第 1 章で説明した距離画像センサのさまざまなアプリケーションにおいて充分実用可能なセンサ技術を確認した。

論 文 審 査 の 結 果 の 要 旨

本論文は、「TOF-CCD によるリアルタイム 3 次元計測に関する研究」に関する研究成果をまとめたものであり、以下の 7 章で構成されている。

第 1 章では、本研究の背景である、人のふるまい、姿勢、ジェスチャーをセンシングすることの必要性、および研究の目的について述べている。

第 2 章では、人物や物体の 3 次元形状をリアルタイムに計測する距離画像センシング技術の概要について説明している。車載、FA、ロボットをはじめ様々な分野で応用が期待されていることについて説明し、さらにステレオ視、レーザ・スキャニング、パターン光照射といった距離画像取得のための代表的な手法について説明し、本論文で取り上げる Time-Of-Flight (TOF) 法の有用性ならびに基本原理と距離の導出方法について述べている。

第 3 章では、TOF 方式距離画像センサの基本原理について説明し、撮像素子の感度と復調効率の両方を高くすることが距離測定精度を向上させる上で重要であることを述べている。基板上にフォトゲートを配置したのみの簡易で開口率が高い画素構造と、信号光の強度変調周期と同期しながらフォトゲートの駆動ゲート数を変化させることで感光面積を切り替える面積復調原理とにより、開口率を維持しながら高い復調効率を実現させることを可能としている。面積復調原理に基づく距離画像センサの試作機を開発し、人の 3 次元形状をリアルタイムに捉えることが可能となったことを示している。

第 4 章では、周囲光による画素の飽和の問題を克服した周囲光電荷消去の原理について解説している。第 3 章で説明した面積復調画素にフローティング・ディフュージョンを配置した簡易な画素構造と“量取り駆動”により、太陽光などの周囲の光によって発生した過剰電荷を消去しながら信号光によって発生した電荷を蓄積することで、直射日光 10 万 lx の環境下でも画素を飽和させることなく距離測定が行えることを示している。また、CCD の蓄積部の構造を革新した加算蓄積構造により、周囲光による光ショット・ノイズの影響を低減させ、直射日光下でも十分な距離測定精度で人の動きをとらえることが可能となったことを示している。

第 5 章では、TOF 方式距離画像センサの課題である信号光の強度変調位相の繰り返しの問題について説明し、これを解決すべく信号光の変調を従来の CW 信号による変調ではなくコード信号で行う方式を提案している。本方式とノイズ除去フィルタにより 2π 位相より遠方の誤測距データを削除することを可能としている。さらに、ガラス面からの反射光がガラス面の向こう側の空間からの反射光に混入し正しい距離測定ができない問題について、コード変調方式を応用することでガラス面からの反射光を分離処理できる技術を構築し、ショウウィンドウなどのガラス越しに外界の空間をセンシングするデジタル・サイネージなどの分野での有用性を見出している。コード変調方式の提案により、TOF 方式距離画像センサの実用性を一層高めることに成功している。

第 6 章では、LED と CCD 以外の電子部品を 1 チップ化した専用集積回路を開発することで、センサの部品点数を飛躍

的に削減したことを示している。さらに、第 3 章で述べた高速遷移駆動による面積復調原理と第 4 章で導入している加算蓄積の原理との融合により、センサの SN 性能を向上させ LED パワーを削減させている。これらの技術により、距離画像センサの小型化に成功している。この距離画像センサは、SN 性能の改善により、LED パワー削減の他にも図画角の広角化やフレームレートの向上も実現している。第 2 章で述べた様々なアプリケーションにおいて充分実用可能なセンサ技術を確立している。

第 7 章では、本論文で取り上げた各研究課題に関する成果についてまとめている。

以上のように、1) 高速遷移駆動による面積復調、2) 周囲光電荷消去及び周囲光ショット・ノイズ低減のための加算蓄積、3) コード変調方式を用いた、遠方測距データ誤りの削除とガラス面からの反射光の分離、を提案し、TOF-CCD を用いたリアルタイム 3 次元計測の高性能化への有効性を明らかにしている。これらの研究成果および本論文で述べた技術は、リアルタイム 3 次元計測の技術発展へ貢献し、エレクトロニクス産業の発展に大きく寄与するものである。

よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。