

平成 21 年 3 月 31 日現在

研究種目：若手研究（B）
 研究期間：2007 年度～2008 年度
 課題番号：19700171
 研究課題名（和文） 時空間光変調素子を用いたサブフレームレート高速ビジョンの研究
 研究課題名（英文） A Study on Sub Frame Rate High-speed Vision
 Using Spatial-temporal Light Modulator
 研究代表者
 山本 健吉 (YAMAMOTO KENKICHI)
 広島大学・大学院工学研究科・助教
 研究者番号：10403586

研究成果の概要：本研究は、DMD 素子とイメージャを一体で制御することにより、イメージャ本来の撮像スピードを超える高フレームレートのビジョンシステムを開発し、その有効性をアルゴリズムおよびシステムの両面から検証し評価することを目的としており、実際に振動分布イメージング、広ダイナミックレンジ撮像、多重フレームストラドリングについてシステムを開発し、その有効性を確認した。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007 年度	1,700,000	0	1,700,000
2008 年度	1,500,000	450,000	1,950,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,200,000	450,000	3,650,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学・知覚情報処理・知能ロボティクス

キーワード：センシングデバイス・システム

1. 研究開始当初の背景

(1) 近年、センサだけでなく画像演算機能の回路をワンチップ上に実装する知的イメージセンサの研究開発が盛んに行われている。このような研究例としては、ダイナミックレンジ向上を目指した CMOS イメージャの開発、センサの全画素に 1 ビットプロセッサを搭載した CMOS ビジョンチップなどがある。研究代表者らは知的イメージセンサとして、対象認識のための高次局所自己相関特徴を高速計算可能とする画素並列ビジョンチップアーキテクチャを提案し、試作チップを用いたプロトタイプシステム上で毎秒 1000 コマを越えた速度での対象形状の認識処理の

実現に成功した。これらの知的イメージセンサは、イメージャそれ自体に機能を持たせることから、システムの小型化等の面で大きな利点がある。その一方、付加機能の回路集積化の限界から、センサ設計上での低いフィルファクタ、空間解像度の制限、さらには現フレーム以前の多数の画像情報を記録・処理することが難しい等の機能的な問題のみならず、フレームレートなどの抜本的な機能変更を行う場合には、LSI 開発及びその評価に膨大なコスト・時間が必要とされる問題点がある。

(2) 一方で近年、入力光を各画素に対して時間方向、空間方向に独立に変調する、時空間

光変調素子の開発が行われ、プロジェクタ等の画像表示用途に広く使われている。また素子をイメージャの前段に配置し、ビジョンシステムの高性能化を図る研究が行われ、例えば、ダイナミックレンジ向上を目指し、DMD素子や液晶素子といった時空間光変調素子により露光時間を画素毎に違う値に制御することで、ビデオ信号(30fps)レベルの動画像を取得する研究が行われている。これに対し、研究代表者らは、DMD素子が最速で毎秒10000パターンでパターン変更ができることに着目し、サブフレームレートでの時空間光変調素子制御を行うことで、イメージャのフレームレートを大幅に上回る振動対象に対する振動イメージングの基本機能の検証を行った上で、露光タイミング制御素子としての時空間光変調素子について、様々な画像処理技術へ展開できる可能性について示唆している。

2. 研究の目的

本研究では、研究代表者が既に有するビジョンチップを始めとした高速ビジョン技術および時空間光変調素子を用いたビジョンシステムに関する研究開発実績を基に、画素レベルでの高速な時空間光変調制御を可能とするDMD素子を用いて、既存のイメージャ性能及びその機能を損なうことなく、イメージャのフレームレートを大幅に超えた実時間画像処理を実現するサブフレームレート高速ビジョンシステムを構築すると同時に、そのサブフレームレート画像処理アルゴリズムの体系化を行うことにより、研究代表者が提案する時空間光変調素子に基づくサブフレームレート画像処理技術の有効性をアルゴリズム及びシステムの両面から検証し評価することを目的とした。

3. 研究の方法

具体的には、A) イメージャのフレームレートを超える振動周波数をもつ対象を実時間可視化する振動分布イメージング、B) 画素レベルでの高速実時間露光制御による広ダイナミックレンジ撮像、C) イメージャのフレームサイクル時間よりも短い時間の運動を捉える実時間多重フレームストラドリングを応用タスクとした上で、それぞれに対応したサブフレームレート画像処理アルゴリズムを提案すると同時に、実際にカメラシステムを用いた動作検証を行い、提案システムの総合的な性能評価を行う。このような研究開発を進めることにより、時空間光変調素子に基づく実時間サブフレームレート視覚処理システムの有効性をシステムレベルで示すと同時に、イメージャの撮像性能・機能を維持したまま、露光時間やシャッタースピードなどの受光条件を画素レベルでインタ

ラクティブに制御することにより可能となる全く新しい映像信号処理手法を確立し、撮像素子の性能限界をはるかに超越するビジョンシステム技術の体系化を目指す。

4. 研究成果

(1) 高周波振動分布イメージングアルゴリズムの開発

- ①画素毎に異なる周波数での光シャッターを行うことを想定し、画素に対応した周波数フィルタを構成した。
- ②周波数成分を抽出するための信号アルゴリズムを導入した。
- ③イメージャおよびDMD素子の全画像領域について、3×3画素のブロックに分割した上で、ブロック内の各画素で周波数の異なる高速光シャッターリングに基づくフィルタを構成した。
- ④ブロック毎に周波数の異なるフィルタからの複数の出力値を選択した上で、適切な重み付けをすることで、ブロック単位毎に任意の周波数成分に対する振動イメージングを行うアルゴリズムを提案した。

(2) 広ダイナミックレンジイメージングアルゴリズムの開発

- ①イメージャに対して、露光時間と輝度値の対応関係を示す感度曲線を求め、近似曲線モデルを構築した。
- ②3×3画素毎の分割されたブロックに対し、画素毎に露光時間の異なる多重露光撮像を行い、各画素の輝度値についてイメージャの感度曲線を利用して輝度飽和のない画像を出力する、広ダイナミックレンジイメージングアルゴリズムを提案した。
- ③DMD評価ボードを用いて、画素毎に異なる露光時間制御する場合について、それぞれの画素毎に得られた各ブロックについての輝度値と露光時間の関係が、イメージャの感度曲線に対応することを確認した。

(3) 実時間多重フレームストラドリングアルゴリズムの開発

- ①3×3画素毎に分割されたブロックにおいて、画素毎にタイミングの異なる短時間露光を行うことで、ブロックレベルで高フレームレートの輝度値を取得可能とするアルゴリズムを導入した。
- ②ブロック毎に、画素レベルでのフレームストラドリングを画素毎に異なる露光タイミングを制御することにより実現し、そのフレーム間の撮影時間間隔をブロックレベルで多重化し、フレームサイクル時間以下での任意の間隔を選択可能とする多重フレームストラドリングアルゴリズムを提案した。
- ③画像内において運動する対象について、画

素レベルでの輝度変化に基づき、画素毎に適切な撮影時間間隔を自動決定する画素レベルフレームストラドリングアルゴリズムを提案した。

(4) DMD を用いたサブフレームレート高速ビジョンプラットフォームの開発

- ①DMD 制御ボードとカメラの光学系のアライメントを行った。
- ②DMD のフィードバック制御が可能であることを確認した。
- ③DMD での光シャッタリング周波数および位相を適応的に変更可能であることを確認した。
- ④カメラおよび光学系と DMD とのアライメント調整を行い、DMD 評価ボード、カメラ、光学系、PC からなるサブフレームレート高速ビジョンプラットフォームを構築した。

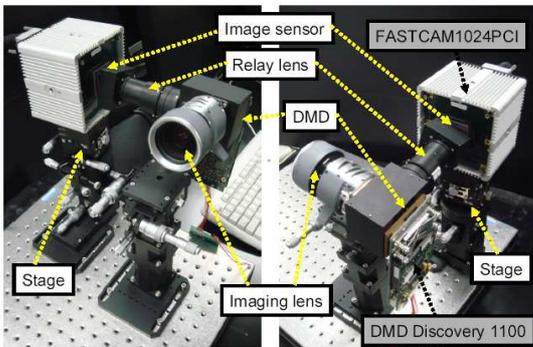


図1 構築したサブフレームレート高速ビジョンプラットフォーム

(5) サブフレームレート画像処理アルゴリズムのシステム実装・機能検証

- ①高周波振動分布イメージングアルゴリズムをシステムに実装し、その基本動作を確認した。また、振動対象に対して高周波振動イメージングが正しく動作することを確認した。

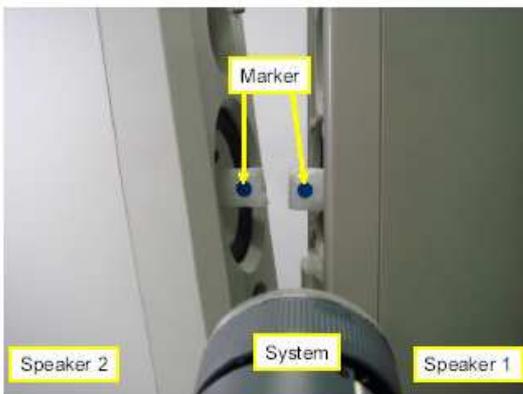


図2 スピーカーにより振動させたマーカー

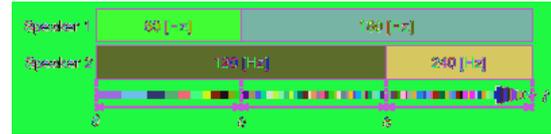


図3 スピーカーに出力した音声周波数

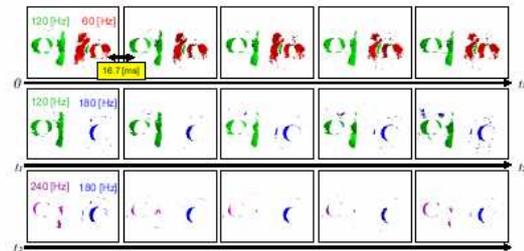


図4 高周波振動分布イメージングの結果

- ②広ダイナミックイメージングアルゴリズムをシステムに実装し、その基本動作を確認した。また、撮影対象に対して広ダイナミックイメージングが正しく動作することを確認した。

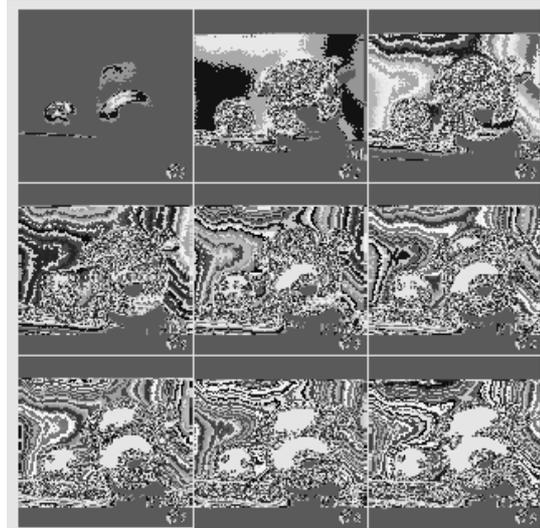


図5 露光時間を変え通常撮影した場合の撮像結果



図6 広ダイナミックレンジイメージングの結果

- ③ 実時間多重フレームストラドリングアルゴリズムをシステムに実装し、その基本動作を確認した。また、高速運動する対象を撮影し、多重フレームストラドリングが正しく動作することを確認した。

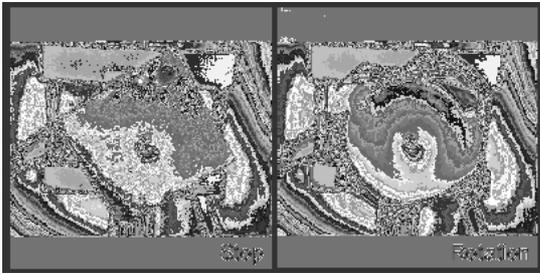


図7 高速に回転する対象

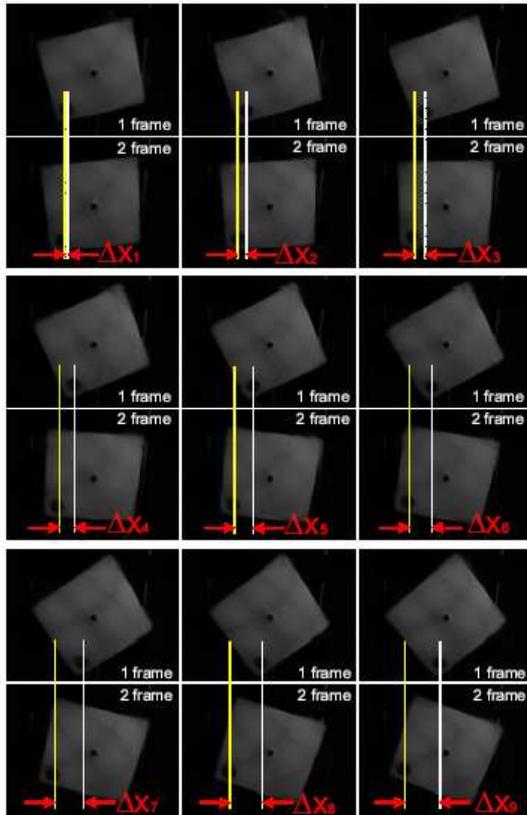


図8 高速に回転する対象に対する
多重フレームストラドリングの結果

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計1件)

- ① 土居謙介、辻徳生、山本健吉、石井抱、高フレームレート三次元画像計測のためのコード化パターン光投影法、電子情報通信学会論文誌 D、Vol.J91-D、No.5、pp.1359-1368、2008、査読有

[学会発表] (計16件)

- ① 森上雄太、単眼でステレオ計測を実現する

視点変換アイリス、第14回ロボティクスシンポジウム、2009年3月16日、登別市

- ② 石井抱、高速ビジョンプラットフォーム H3 Vision の開発、第14回ロボティクスシンポジウム、2009年3月16日、登別市

- ③ 北村悠貴、フラフープマニピュレーション、第9回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会(SI2008)、2008年12月7日、岐阜市

- ④ 谷口拓、高速実時間オプティカルフロー検出システムの開発と評価、第9回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会(SI2008)、2008年12月7日、岐阜市

- ⑤ 資延亮、高速・高解像度画像認識のための高次局所自己相関ビジョンシステム、第9回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会(SI2008)、2008年12月7日、岐阜市

- ⑥ 聶余満、High-speed Video Analysis of Laboratory Rats Behaviors in Forced Swim Test、The 4th Annual IEEE Conference on Automation Science and Engineering (CASE 2008)、2008年8月24日、Washington DC, USA

- ⑦ 増田聖、高速繰り返し動作における異常現象の実時間検出システムの開発、日本機械学会 ロボティクス・メカトロニクス講演会'08、2008年6月7日、長野市

- ⑧ 山本健吉、Digital Micromirror Device を用いた高周波振動可視化アルゴリズム、第8回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会(SI2007)、2007年12月20日、広島市

- ⑨ 角田真一、高速ビジョンとシリンドリカルレンズを用いた実時間表面検査システム、第8回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会(SI2007)、2007年12月20日、広島市

- ⑩ 資延亮、高速メガピクセルビジョンを用いた実時間特徴点追跡、第8回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会(SI2007)、2007年12月20日、広島市

- ⑪ 石井抱、High-Speed 3D Image Acquisition Using Coded Structured Light Projection、The IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS 2007)、2007年10月30日、San Diego

- ⑫ 辻徳生、ダイナミック視聴覚統合におけるヒルベルト変換を用いた位相差解析、第24回センシングフォーラム、2007年10月26日、仙台市

- ⑬ 山本健吉、A High-Speed 3D Shape Measurement System Using a Multi-Sided Mirror、The 3rd Annual IEEE Conference on Automation Science and Engineering (CASE 2007)、2007年9月24日、

Scottsdale, USA

- ⑭ 石井 抱、Real-Time and Long-Time Quantification of Behavior of Laboratory Mice Scratching、The 3rd Annual IEEE Conference on Automation Science and Engineering (CASE 2007)、2007年9月24日、Scottsdale, USA
- ⑮ 井上智之、High-Speed Visual Tracking of the Nearest Point of an Object Using 1,000-fps Adaptive Pattern Projection、The 2007 IEEE International Workshop on Projector-Camera Systems (ProCams 2007)、2007年6月18日、Minneapolis, USA
- ⑯ 受川純、フレーム間差分特徴に基づく実時間接触検出アルゴリズム、日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会'07、2007年5月12日、秋田市

6. 研究組織

(1) 研究代表者

山本 健吉 (YAMAMOTO KENKICHI)
広島大学・大学院工学研究科・助教
研究者番号：10403586

(2) 研究分担者

(3) 連携研究者