

平成 22 年 5 月 14 日現在

研究種目：若手研究 (B)

研究期間：2008～2009

課題番号：20760223

研究課題名(和文) 曲面に分散配置できる超小型複眼イメージセンサと危険を検出するセキュリティ服の実現

研究課題名(英文) Security cloths for detecting potential dangers with bendable ultra compact compound-eye image sensors

研究代表者

香川 景一郎 (KAGAWA KEIICHIRO)

大阪大学・大学院情報科学研究科・特任准教授

研究者番号：30335484

研究成果の概要(和文)：

本研究では、昆虫の複眼に倣った薄型撮像システムと、画像処理・認識機能をもつ知的なイメージセンサ技術を基にして人の全周囲を常時見張り、危険時には警告や通報を行う、今までにないセキュリティ服の実現のための基盤技術を研究した。パルス変調を用いたマイコン内蔵型低電圧・低消費電力イメージセンサを設計した。複眼カメラにより取得した分散的な画像から、物体の滑らかな表面形状と、物体境界の不連続性を両立した距離分布推定を可能とした。

研究成果の概要(英文)：

We have studied fundamental technologies for security cloths, which detect and alert to potential dangers in the surroundings, based on thin and compact compound-eye imaging systems using image sensor technologies. We designed a low-voltage and low-power-dissipation CMOS image sensors with pulse-width-modulation photosensors and built-in micro-controllers. We also developed a smooth and edge-preserving depth estimation scheme from the distributed images captured by the compound-eye ultra-compact cameras.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	2,000,000	600,000	2,600,000
2009年度	1,300,000	390,000	1,690,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,300,000	990,000	4,290,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：電気電子工学・電子機器

キーワード：センシング, イメージセンサ

1. 研究開始当初の背景

近年、子供が犯罪に巻き込まれる事件が後を立たない。親の目が届かない所で起きる犯罪から子供を守るための「目」が必要とされている。一方、イメージセンサの低電圧・低消費電力化、3次元情報を取得できる小型・薄型複眼カメラの研究が進んでいる。

昆虫のもつ複眼構造に倣った薄型撮像システム TOMBO (Thin Observation Module by Bound Optics)は、従来の、1つのレンズを用いてイメージセンサ上に結像する方法に替わり、微小なレンズアレイにより、視差を有する複数像をイメージセンサ上に形成することで、撮像系の薄型化に成功している。また、三次元計測、分光計測、指紋などの密着・近接撮像など、様々な応用が研究されている。しかし、昆虫の複眼の特徴として、結像系が薄いだけではなく、トンボに見られる様に、大きく湾曲した巨大な目の表面を微小な目で覆いつくしていることにも注目しなければならない。

また、パルス変調方式に基づいた光電変換原理を利用した CMOS イメージセンサの研究がなされている。今までに、光の強さをパルス幅で表現することで、1V という低電圧で動作するイメージセンサや、パルス周波数

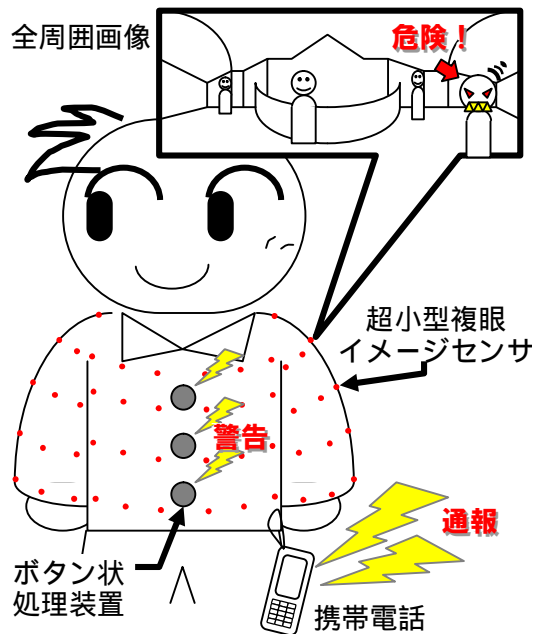


図 1：子供を守る「無数の目」をもつセキュリティ服のイメージ。米粒よりも小さい無数の超小型複眼イメージセンサにより捉えた画像を元に、処理装置とイメージセンサが協調して不審人物や危険の接近を察知し、警告や通報を行う。

で表現することで、パルス領域で直接画像処理する方式など、イメージセンサの低電圧・低消費電力化の成果が発表されている。

これらのイメージセンサ・カメラ技術を発展させ、米粒よりも小さい超小型複眼イメージセンサを実現し、これらを無数に服に編み込み、ネットワークにより相互接続することで、装着者の全周囲を見張るセキュリティ服が実現できると考えられる。

2. 研究の目的

本研究では、昆虫の複眼に倣った薄型撮像システムと、画像処理・認識機能をもつ知的なイメージセンサ技術を基にして人の全周囲を常時見張り、危険時には警告や通報を行う、今までにないセキュリティ服の実現のための基盤技術を開発した(図1)。このために、超小型、超低電圧・低消費電力で動作、多数のデバイスをネットワークにより相互接続可能な超小型複眼イメージセンサを開発した。多数の超小型複眼イメージセンサを服に散りばめて、これらを相互接続することにより、装着者の全周囲の様子を画像として捉える。セキュリティ服に取り付けたボタ

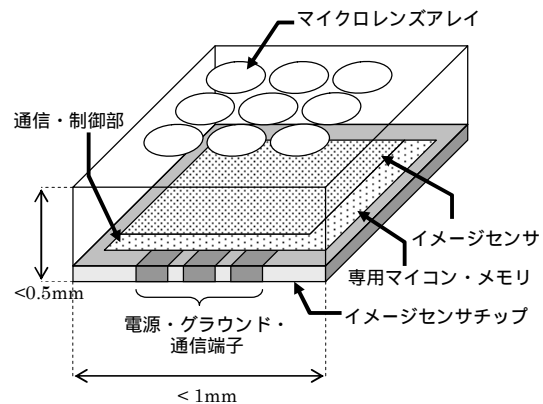


図 2：超小型複眼イメージセンサの構成。

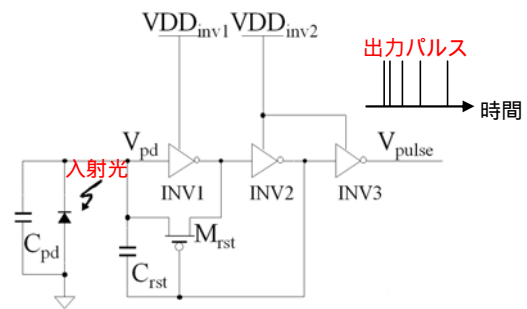


図 3：パルス周波数変換方式イメージセンサ画素の構成例。

ン状処理装置と各イメージセンサが協調動作することで、周囲の危険を察知することを想定している

3. 研究の方法

本研究で開発する「超小型複眼イメージセンサ」は、図2に示すような構成をもつ。また、多数の超小型複眼イメージセンサを服の全表面に散りばめて、全周囲の画像を撮影するために、イメージセンサ同士をバス接続することを特徴とする。また、小型のポリマリチウムイオン2次電池や太陽電池などの限られた電源供給下で動作するために、低消費電力である。各イメージセンサは、給電のための電源・グラウンド、データとクロック信号を重畳した通信用端子をもち、わずか3端子で撮像・通信・処理を実現する。通信線を介してイメージセンサの制御を行うとともに、内蔵マイコンを駆動して、近傍チップとの通信や画像処理を行うことができる。

イメージセンサでは、アナログ・デジタル融合方式により、光信号を電気信号に変換する。図3に示すような回路を用いることで、入射光強度をデジタルパルスの周波数に変換できる。また、1V以下の低電圧動作が可能である。イメージセンサは、近傍のイメージセンサと通信することで、それぞれの画像の重複部分を検出し、1つの全周囲画像を合成する手掛かりを取得する。重複部分の検出

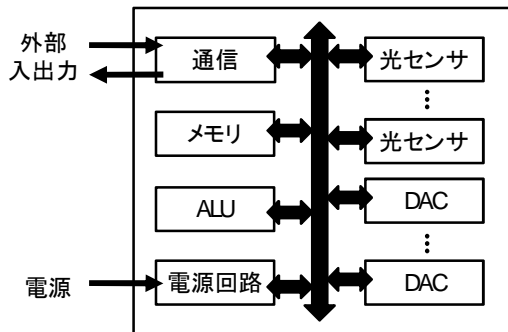


図4：イメージセンサのブロック図

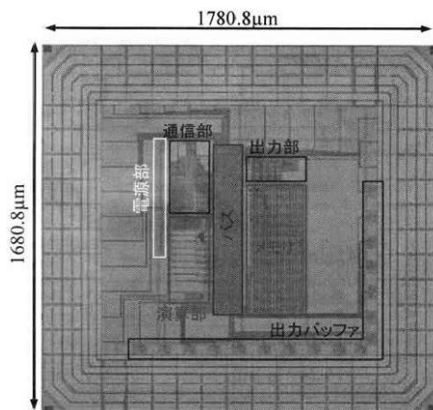


図5：デジタル部のチップ写真

には大きな処理能力を要するが、分散処理を利用することで、少ないハードウェアリソースと消費電力で効率的に実行可能である。各イメージセンサは空間の一部を見ているため、全周囲画像を取得するためにはバスを介して断片画像と重複情報をボタン状処理装置に集める。処理装置では、全周囲画像を合成するとともに、物体距離を推定する。

4. 研究成果

(1) パルス変調を用いた低電圧・低消費電力イメージセンサ

バス接続可能な小型マイコンアーキテクチャを設計した。このマイコンは、シリアルバスを介して、データ通信を行うことができる。簡単なALUを内蔵し、内部バスに接続したモジュールは全てメモリマップ I/O を介して制御できる。また、パルス変調方式イメージセンサをマイコン内部のバスに接続し、光信号を受信できる(図4)。0.35μm CMOS プロセスに向けて設計した場合、マイコン部の面積は、1.8mm×1.7mm程度になることを確認した(図5)。これは、より微細なプロセスを利用することで、小型化できる。

(2) 低電圧光センサ

このセンサは、パルス変調方式受光回路のフィードバックループを、外部回路を介して構成するため、受光回路のリセットや、シャットダウンなどの制御が可能である。前述と

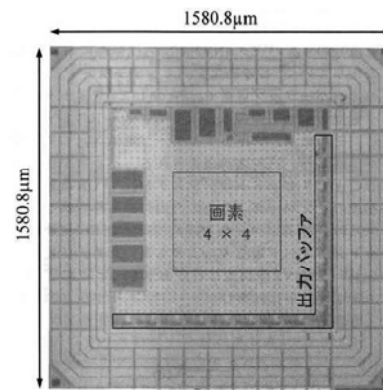


図6：光センサ部のチップ写真

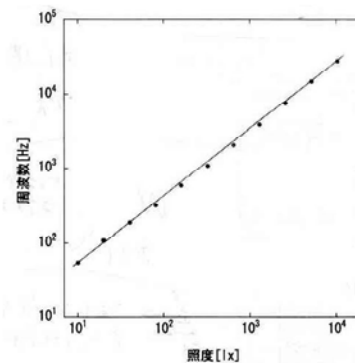


図7：光センサの実験結果

同じプロセスを利用し、センサを試作した(図6)パルス変調方式イメージセンサにより、入射光量に比例した周波数のパルスが得られることを確認した(図7)。

(3) 画像再構成アルゴリズム

最適なレンズ配置を検討し、物体の距離分布を推定し、高速に単一画像を再構成するための、アルゴリズムおよび実装を検討した。並列ハードウェアであるGPUを用い、従来手法に比べ、50倍の高速化を実現できた

(4) 画像再構成

複眼カメラにより取得した分散的な画像から、特定の距離の被写体像を再構成する汎用プログラムを開発した。設定ファイルを用意することで、各種の複眼カメラに対して、再構成、距離推定(後述)を実行できる。レンズカラーフィルタ、画素カラーフィルタにも対応できる。従来、再構成処理により被写体のエッジが滑らかになることが課題であったが、画素統合時の重み係数に非線形性を与えることにより、エッジの保存性を制御できるようにした。このソフトウェアには、複眼撮像系のレンズパラメータ・配置情報を推定する機能も含まれている。

(5) 距離分布計測

複眼像に含まれる視差情報から被写体の距離分布を得る際、物体の滑らかな表面形状と、物体境界の不連続性を両立することが課題となっていた。従来ステレオ画像において提案されていた局所適応重みサポート法を複眼画像に拡張することで、滑らかさと不連

続性を両立した距離分布の推定を可能とした。これにより、通常の可視光領域に対する複眼像だけでなく、近赤外や、テクスチャのほとんど無い赤外線画像についても、距離推定が可能となった。テクスチャの少ない複眼画像(図8)から得られた実験結果を図9に観す。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計3件)

R. Horisaki, K. Kagawa, Y. Nakao, T. Toyoda, Y. Masaki, and J. Tanida, "Irregular Lens Arrangement Design to Improve Imaging Performance of Compound-Eye Imaging Systems," *Applied Physics Express*, Vol. 3, p. 022501, (2010).

K. Kagawa, H. Tanabe, C. Ogata, Y. Ogura, Y. Nakao, T. Toyoda, Y. Masaki, M. Ueda, and J. Tanida, "An Active Intraoral Shape Measurement Scheme Using a Compact Compound-Eye Camera with Integrated Pattern Projectors," *Jpn. J. Applied Phys.*, Vol. 48, pp. 09LB04-1 - 09LB04-5 (2009).

R. Horisaki, Y. Nakao, T. Toyoda, K. Kagawa, Y. Masaki, and J. Tanida, "A Thin and Compact Compound-Eye Imaging System Incorporated with an Image Restoration Considering Color Shift, Brightness Variation, and Defocus," *Optical Review*, Vol. 16, no. 3, pp. 241-246, (2009).

[学会発表](計15件)

香川景一郎, 深田直紀, 谷田 純, "複眼カメラ TOMBO による高速マルチスペクトル 3次元イメージングの提案," 映像情報メディア学会情報センシング・コンシューマエレクトロニクス3月研究会(2010年3月26日, 東京).

深田直紀, 香川景一郎, 谷田純, "測距に適したマルチスペクトルイメージング TOMBO の検討," 2010年春季 第57回応用物理学関係連合講演会(2010年3月17日, 神奈川).

香川景一郎, 谷田 純, "小型複眼カメラ



図8: テクスチャの少ない入力複眼画像

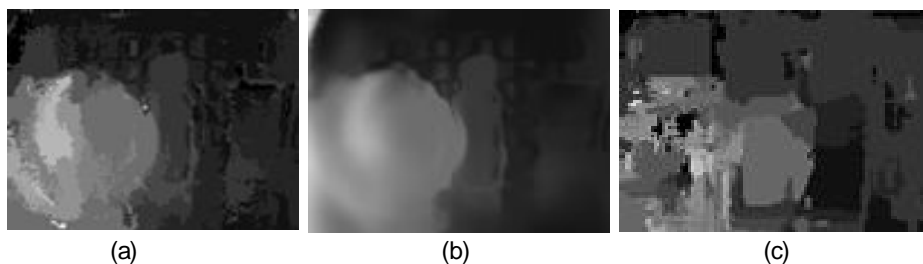


図9: (a) 局所適応重みサポート法による距離計測結果, (b) aをバイラテラルフィルタリングしたもの, (c) 従来の固定窓サイズ・固定重み法により得られた距離計測結果

TOMBO のサーモグラフィへの応用,” 第 7 回赤外放射の応用関連学会年会・映像情報メディア学会情報センシング 2 月研究会, pp. 31-32 (2010 年 2 月 12 日, 東京).

香川景一郎, 谷田 純, “小型複眼カメラ TOMBO のサーモグラフィへの応用と測距の検討,” 日本光学会年次学術講演会 Optics & Photonics Japan 2009 in 新潟, pp. 98-99 (2009 年 11 月 24 日, 新潟).

J. Tanida, K. Kagawa, K. Fujii, and R. Horisaki, “A Computational Compound Imaging System Based on Irregular Array Optics,” In Frontiers in Optics 2009/Laser Science XXV/Adaptive Optics: Methods, Analysis and Applications/Advances in Optical Materials/Computational Optical Sensing and Imaging/Femtosecond Laser Microfabrication/Signal Recovery and Synthesis on CD-ROM, p. CWB1 (2009 年 10 月 11 日, 米国サンノゼ).

香川景一郎, 堀崎遼一, 谷田 純, “規格化空間における TOMBO 不均一レンズ配置の解析,” 第 70 回応用物理学会学術講演会 講演予稿集, p. 3 (2009 年 9 月 10 日, 富山).

K. Kagawa, H. Tanabe, C. Ogata, R. Horisaki, Y. Ogura, Y. Nakao, T. Toyoda, Y. Masaki, M. Ueda, and J. Tanida, “A Compact Shape-Measurement Module Based on a Thin Compound-Eye Camera with Multiwavelength Diffractive Pattern Projection for Intraoral Diagnosis,” In Proc. SPIE, Vol. 7442, p. 74420U, (2009 年 8 月 6 日, 米国サンディエゴ).

香川景一郎, 堀崎遼一, 中尾良純, 豊田孝, 政木康生, 谷田 純, “レンズ配置の最適設計による薄型複眼カメラ TOMBO の高画質化,” 光設計研究グループ機関誌, No. 42, pp. 27-33 (2009 年 7 月 17 日, 東京).

K. Kagawa, R. Horisaki, Y. Nakao, T. Toyoda, Y. Masaki, and J. Tanida, “TOMBO Super-Resolution in 3-D Space, Time, and Wavelength,” In IEEE Computer Society 2009 VAIL Computer Elements Workshop (2009 年 6 月 23 日, 米国バイル).

香川景一郎, 堀崎遼一, 藤井慶太, 中尾良純, 豊田 孝, 政木康生, 谷田 純, “不均一レンズ配置を用いた薄型複眼カメラの高解像度化と超解像処理の高速化の検討,” 映像情報メディア学会 IST・CE 共催研究会 (2009 年 3 月 19 日, 東京).

他 5 件

〔産業財産権〕

出願状況 (計 1 件)

名称: 複眼撮像装置及び該装置における画像

処理方法

発明者: 香川景一郎, 谷田 純, 深田直紀

権利者: 大阪大学

種類: 特許

番号: 特願 2010-045496

出願年月日: 2010 年 3 月 2 日

国内外の別: 国内

〔その他〕

ホームページ等

<http://www-lip.ist.osaka-u.ac.jp/research/tombo.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

香川 景一郎 (KAGAWA KEIICHIRO)

大阪大学・大学院情報科学研究科・特任准教授

研究者番号: 30335484