静岡大学 川人研究室

(学生会員) 澤田 友成[†], (学生会員) 安富 啓太[†], (正会員) 伊藤 真也^{††}

[†] 静岡大学 創造科学技術大学院

^{††} 静岡大学 電子工学研究所

"Kawahito Laboratory, Shizuoka University" by Tomonari Sawada, Keita Yasutomi (Graduate School of Science and Technology, Shizuoka University, Hamamatsu), and Shinya Itoh (Research Institute of Electronics, Shizuoka University, Hamamatsu)

1. ま え が き

私たちは、静岡大学電子工学研究所イメージングデバイス分野、川人研究室に所属しています。

今回、2006年度、2007年度の当学会における年次・冬季大会学生優秀発表賞を受賞したことをきっかけに執筆の機会をいただくことになりました。本稿ではまず静岡大学電子工学研究所の紹介をした後、当研究室について紹介します。

2. 静岡大学電子工学研究所

静岡大学電子工学研究所は、世界に先駆けてテレビジョンを浜松で発明した高柳健次郎教授の業績を顕彰し、電子工学に関する学理およびその応用の研究を目的に1965年、工学部附置電子工学研究所施設をもとに、新制大学で唯一の理工系附置研究所として設置されました。2006年には、創立40周年を迎え、盛大に40周年記念事業を行うことができました。また、この年は高柳健次郎教授が旧制浜松高等工業学校において電子式テレビジョンに「イ」の字の撮像・表示に成功してから80年にあたりました。

本研究所は、イメージングとセンシングを標榜し、撮像・表示などを含むヒューマンマシンインタフェースおよび信号処理に関する次世代基盤科学技術の研究を推進することを目的としています。現在、本研究所は文部科学省の事業である21世紀COEプログラム「ナノビジョンサイエンスの拠点創成」の研究面における中心的役割を担っ

ています。

3. 川人研究室の紹介

イメージングデバイス分野(川人研究室)は、電子工学研究所のナノビジョン研究推進センターに所属しています。本研究室は、川人教授、伊藤助教の教員2名、技術職員1名、研究補助職員4名、博士後期課程8名、博士前期課程6名、学部4年生4名、研究生4名、共同研究員4名の計33名で構成されています(図1)。

当研究室では、画像を電子的に取得するためのデバイス、特に新しい機能(距離画像計測、動き検出、高分解能デジタル出力)や従来にない性能(超高感度、広ダイナミックレンジ、超高速撮像、極低雑音)を備えたイメージセンサ、センサの性能を最大限に引き

出す信号処理回路とその集積化(センサSoC,例えばスマートロータリエンコーダ)、画像用・通信用アナログおよびミックスシグナル集積回路(高速低電力高分解能A/D変換器など)について研究しています。すべてのテーマが実用化につながるデバイス開発を目指しており、実際に現在進行中のテーマの多くは、企業などとの共同研究(産学連携)により行われています。研究成果は、集積回路分野の国際会議の最高峰であるISSCC(国際固体回路会議、集積回路のオリンピック)等の国際会議や、集積回路分野の主要な学術雑誌に多数発表を行っています。

4. 研究テーマ紹介

本章では、研究室で行ってきた研究の成果について紹介します。ここで紹

図1 2007年11月電子工学研究所の屋上にて

介する研究の一部は、文部科学省知的クラスター創成事業第I期や企業との共同研究の成果です。現在も第II期にくつつかの研究テーマが採択されており、実用化を目指して研究活動を行っています。

4.1 イメージセンサの高性能化

(1) 広ダイナミックレンジイメージセンサ

極端な明暗差のある場所を同時に撮像することができる広ダイナミックレンジイメージセンサは、車載用やセキュリティカメラをはじめ幅広いニーズがあり、研究開発が盛んに行われています。本研究室では、長時間露光と短時間露光を組合せた複数回露光方式により広ダイナミックレンジ化を図っています。この方式は画素構造に手を加えることなく、線形応答の広ダイナミックレンジ画像を得ることができます。図2は試作したイメージセンサのチップ写真であり、その撮像例を図3に示しています。単位の蓄積時間をTとして、その3倍、1/8、1/240、1/8,060の蓄積時間の信号と、合成された広ダイナミックレンジ画像を示しています。1種類の蓄積時間では、電球のフィラメントと他の部分を同時に鮮明にみることはできませんが、広ダイナミックレンジ画像では、ともに鮮明に見ることができています。最高で160dBのダイナミックレンジを得ています。この方式には、高速で高SNRの読出しが必要ですが、後述するカラム巡回型ADC

によって、高調のデジタル信号の高速読出しを可能にしています。

(2) 高速度イメージセンサ

高速撮像は、科学技術計測、高速機器開発支援だけでなく、スポーツやエンタテインメントの分野でも必要とされています。記憶に新しい北京オリンピックでも至るところで使用されておりました。

図4は本研究室で開発した3,500fps、512×512画素の高速度デジタルイメ

ージセンサのチップ写真です。画素内にチャージアンプとS/H回路を集積することで、グローバル電子シャッタと、従来よりも2倍以上の高感度化とを実現しています。カラム巡回型A/D変換器が搭載されており、巡回A/D変換の後半に容量を分割して高速化を行うことで、3,500fpsの高速撮像においても12ビットの高グレースケール性能を得ています。図5は、試作した高速度カメラでの2,000fpsにおける撮像例です。

さらに、撮像速度を高めようとした場合には、イメージセンサ出力である高速のデジタル伝送がボトルネック

図3 広ダイナミックレンジイメージセンサの撮像例

図4 512×512画素、3,500fpsを達成した高速度イメージセンサ

図2 試作した広ダイナミックレンジイメージセンサ

図5 高速度イメージセンサの撮像例 (2,000fps)

図6 圧縮回路を搭載した高速イメージセンサ

となります。図6は、本研究室で開発した世界初の圧縮回路を搭載した高速イメージセンサです。撮像部からの信号は、カラムA/D変換器でデジタル化され、バッファメモリーを介した後、16チャンネルの画像圧縮演算要素において、SIMD型の並列処理されます。画像圧縮には、 4×16 画素を単位プロ

ックとした、2次元DCTを用いた変換符号化方式を採用し、ハードウェア規模を抑えながら充分な圧縮率と、16チャンネル並列による高速処理を実現しています。

4.2 機能集積イメージセンサ

(1) カプセル内視鏡用ワンチップCMOSセンサ

CMOSを利用した医療・バイオ分野へのセンサデバイスの応用に向けて、カプセル内視鏡とその高機能化の研究を行っています。カプセル内視鏡の画像センサには、センサ信号処理回路と無線通信機能を一体化し、超小型・超低消費電力・低コストでセンサモジュールを構成することが求められています。本研究室では、電磁結合により低消費電力でデジタル画像伝送を実現するカプセル内視鏡用のRFトランスミッタを提案し、これを組込んだワンチップカメラデバイスの試作と性能評価を行いました(図7, 図8)。試作したセンサ(図7)は電源電圧2Vでの動作において、優れた低電圧および低消費電力性を実現しています。フレームレート2fps、ビットレート2.5Mbpsの通信速度において48cmのエラーフリー受信距離が得られました。通信回路の性能を表す1ビットあたりの電力消費は、 0.2nJ/b 以下であることが見積もられ、今までに報告された埋め込みデバイス

用近距離間無線の中で、最も低い値で実現できることを明らかにしています。

(2) TOF距離画像センサ

2次元の画像だけでなく、対象物までの距離がわかる画像センサは、車載用センサ、ロボットの視覚センサ、セキュリティシステムなど強いニーズがあり、研究開発が盛んに行われています。本研究室では、光の往復時間(遅れ時間)から距離を算出できるTime-of-Flight (TOF) 法を用いて、光の遅れ時間に依存した信号を画素で振分けることで遅れ時間を求め、距離を算出する距離画像センサについて研究しています。小さいデューティ比の駆動パルスと背景光排出構造を用いることで光を集中させ、オフ期間での背景光を排出することで背景光の影響を削減しています。このデバイスをCMOSプロセスで試作を行いました。試作したセンサは、フレームレート30fps、光パルス幅25nsにおいて距離分解能が5.0mmを得られました。また、QVGA (320×240) の解像度で30fpsの距離動画の撮像を実現しました。図9は試作したTOF距離画像センサで、撮像した測定風景(図9(a))と距離画像(図9(b))です。

(3) カラム集積読出し回路による信号処理技術

これまでのCMOSイメージセンサの発展には、カラム単位での信号処理の進歩が大きく貢献してきました。その理由は、CDS処理やA/D変換を列カラ

図7 内視鏡イメージセンサ

図8 無線通信機能を持つ内視鏡カメラモジュール

(a) デジタルカメラ画像

(b) レンジ画像

図9 レンジ画像の撮像例

図10 カラム集積用巡回型A/D変換器

ム単位で行うことにより、低速な処理で可能となり、読出し速度の高速化や低ノイズ化を実現できるためです。本研究室では、このCMOSイメージセンサの特長に着目し、高性能、高機能カラム読出し信号処理の研究を行っています。

埋め込みフォトダイオードの開発により、現在のCMOSイメージセンサにおける支配的なノイズは、読出し回路の熱雑音や1/fノイズになっています。最近、カラムでのノイズキャンセル回路に、増幅機能を持たせることで、読出しノイズが大きく低減できることがわかってきました。しかし単純に増幅を行うと、信号のダイナミックレンジが失われます。本研究室では、適応増幅、適応積分等の新しいアナログ処理

回路を提案し、1電子以下のノイズレベルと80dB以上の広いダイナミックレンジを両立する、高感度イメージセンサについて研究を行っています。

また、本研究室では、カラム単位でのA/D変換技術として、新しい巡回型A/D変換器を提案し、研究を行っています。この方式は、他の方式に比べて、高分解能化と高速化に有利とされています。しかしながら、従来の巡回型A/D変換器では、カラムの処理に必要なノイズキャンセル回路を含めて、アンプが三つ必要だったため、ピッチの狭いイメージセンサへの適用は困難でした。われわれが提案する巡回型A/D変換器は、図10に示すように、一つのアンプと1対(2個または4個)のキャパシタ等で構成され、極めてコンパクト

な回路で実現しています。この回路で、画素部のノイズキャンセル機能も実現することができます。2005年のISSCCで、この方式を用いてカラム並列型で初めて12ビット分解能を実現し、2008年のISSCCではカラム並列型で初めて14ビット分解能を実現した結果を発表しました。これらのA/D変換器は、前述した広ダイナミックレンジイメージセンサの高速読出し(180fps相当)や高速度イメージセンサ(3500fps)に応用し、高速読出しにおける有用性を実証しています。

5. む す び

本稿では、静岡大学電子工学研究所川人研究室について紹介させていただきました。今後も更なる発展を目指し、日夜研究に取り組んで行きたいと考えています。研究室ホームページに本稿で取り上げることのできなかった他の研究も紹介していますので、是非ご覧ください。

(2008年9月2日受付)

澤田 友成

2007年、静岡大学大学院理工学研究科博士前期課程卒業。同年、同大学大学院博士後期課程に進学。TOF距離画像センサに関する研究に従事。学生会員。

安富 啓太

2008年、静岡大学大学院理工学研究科博士前期課程卒業。同年、同大学大学院博士後期課程に進学。高速度イメージセンサに関する研究に従事。学生会員。

伊藤 真也

2007年、静岡大学大学院博士後期課程卒業。現在、同大学電子工学研究所助教。工学博士。正会員。