

# 論文審査の結果の要旨

氏名 高橋 徳浩

本論文は、Analog Feature-Extraction CMOS Vision Sensors for Edge-Based Image Recognition Systems (和訳：エッジ情報に基づく画像認識システムのためのアナログ特徴抽出 CMOS ビジョンセンサー) と題し、人間のように柔軟な画像認識処理実現を目指し、その基本となる画像のエッジ情報抽出のために CMOS イメージセンサーの新たなアーキテクチャを提案するとともに、そのアナログ回路実現に関する研究成果を纏めたもので、全文 5 章よりなり英文で書かれている。

第 1 章は、序論であり、本研究の背景について議論するとともに、本論文の構成について述べている。

第 2 章は、Multiple-Resolution Edge-Filtering Analog Vision Sensors Employing the Pixel-Parallel Self-Similitude Processing と題し、スケールに依存しない画像認識を実現するための多重解像度イメージセンサーについて述べている。多数の近傍画素データを用いて行う演算を同時並列に実行しなければならないため、非常に複雑な配線構造が必要となるが、「自己相似演算」と呼ぶ新たなアーキテクチャを提案することによりこの問題を解決している。近傍 4 画素データの加算・減算をフラクタル的な構造を用いて順次大きな領域へ自己再帰的に拡張していくことにより、 $(1/2)^n$  倍の解像度の演算を  $n+2$  ステップの並列演算で実現するユニークな方法である。0.35  $\mu\text{m}$  CMOS 技術を用いて  $64 \times 64$  ピクセルサイズの CMOS イメージセンサーチップを試作、その計測により有効性を実証した。このチップは、フローティング・ゲート MOS 回路技術を用いた電圧モード演算を採用し、回路規模の比較的大きな減算器をイメージセンサーアレーから分離配置することにより、効率の良い行並列演算を実現している。

第 3 章は、A Non-Subtraction Configuration of Self-Similitude Architecture and its Current-Mode Implementation と題し、前章で開発した自己相似演算を全画素並列で実行できる新たな構成方法について述べている。前章の方式では、並列演算のための各演算回路は加算・減算両方の機能を必要としたが、本章で提案する方式では画素信号自身に正・負の符号を付与することにより、加算演算のみでの実装を可能にしている。電流演算方式の回路を採用し、0.18  $\mu\text{m}$  CMOS 技術を用いて  $56 \times 56$  ピクセルサイズの多重解像度 CMOS イメージセンサーチップを設

計、等倍、1/2、1/4 の3つの解像度における4方向のエッジフィルタ処理を、毎秒910フレームという高速で実行できることを試作チップの実測により示した。本方式では、各画素の値に正負の符号を様々なパターンで割り振ることにより、より一般的なフィルタ演算に関しても多重解像度で全画素並列処理が実現できる。これは、新たに提案した「自己相似演算アーキテクチャ」が、さらに多様な発展性を持っていることを示した重要な研究成果である。

第4章は、**A Row-Parallel Cyclic-Line-Access Edge Detection CMOS Vision Sensor Employing Global Threshold Operation** と題し、4方向のエッジフィルタ処理を行った画像データに対し、適応的な閾値処理を施すことにより重要な特徴のみ選択的に抽出することのできる CMOS イメージセンサーの開発について述べている。4方向のフィルタ処理を行った各画素データに対し、全画素並列にランクオーダー演算を行い、重要度の高い順に所定の数のエッジ情報を残す。70×68ピクセルサイズのイメージセンサーチップを0.18 $\mu$ m CMOS 技術を用いて設計・試作し、チップの測定によりその有効性を実証した。

第5章は結論である。

以上要するに本論文は、人間のように柔軟な画像認識システム実現を目指し、その最も基本となる画像の特徴抽出に関し、これを多重解像度で実行できる「自己相似演算アーキテクチャ」を新たに提案するとともに、これを並列演算によって実現する様々な回路方式を開発、実際に CMOS イメージセンサーチップを設計・試作・評価し、その有効性を実測結果によって実証したもので、情報学の基盤に寄与するところが少なくない。

したがって、博士(科学)の学位を授与できると認める。