

## 審査の結果の要旨

氏名 朱 弘 博

本論文は、**VLSI Circuits and Systems for Directional-Edge-Based Intelligent Image Processing**（和訳：方向性エッジ情報に基づく知的画像処理回路・システムに関する研究）と題し、人間のように柔軟な画像認識システム構築を目指し、対象物の画像より方向性エッジ情報を高速で抽出可能なデジタル方式 CMOS 特徴抽出イメージセンサーの開発、及びこれを用いた実時間認識システムの実現、またエッジ情報を用いたロバストな物体追跡ハードウェアアルゴリズムの提案と FPGA を用いたシステム構築に関する研究成果を纏めたもので、全文7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、**A Digital-Pixel-Sensor-Based Global Feature Extraction VLSI Processor for Real-Time Object Recognition** と題し、対象画像の相対的に重要な部分より、エッジ情報を優先的に抽出する CMOS 特徴抽出イメージセンサーについて述べている。フォトダイオードで得た光強度をピクセル毎にデジタル値に変換してメモリに保持、フィルター演算に必要な画素データをブロック読み出し方式により一括して並列処理回路に転送し、行並列で高速に演算する。またフィルター演算の結果に対し、バイナリー探索でランクオーダー処理を施し、方向性エッジ情報を重要度の高い順に選択的に残す。0.18  $\mu\text{m}$  CMOS 技術を用いて 64×64 ピクセルサイズのチップを設計・試作し、チップの計測により 60MHz の動作で毎秒4000フレームの処理が可能なことを示した。これは2GHzの汎用プロセッサを用いたソフトウェア処理と比較して約400倍高速である。

第3章は、**Design of Advanced Early-Visual-Processing VLSI Processor Using 65-nm Technology** と題し、前章で開発したアーキテクチャをさらに発展させ、静止画のみならず、方向性エッジ情報を用いた動画像認識アルゴリズムにも対応できるよう機能を拡張した CMOS スマートイメージセンサーについて述べている。ランクオーダー処理により抽出した方向性エッジ情報に対し、様々な画素並列演算処理機能を付与し、フレーム間の差分演算、さらにフレーム間差分値を時間軸方向に積分する機能等も加え、動画認識に必要な特徴量抽出機能を実現している。ここで開発したアーキテクチャは、65nm CMOS 技術を用いて設計、試作チップの計測によりすべての動作を実証した。これは重要な成果である。

第4章は、**A Real-Time Image Recognition System Using a Global**

**Directional-Edge-Feature Extraction VLSI Processor** と題し、第 2 章で開発したイメージセンサーチップを用いた実時間画像認識システムの構築について述べている。イメージセンサーチップによって方向性エッジ情報を抽出した後、FPGA 上に構築したシステムによって、特徴ベクトルの生成ならびに学習処理・連想処理等の機能を実現している。ロバストなハンドジェスチャーの認識に加え、システムがより重要な画像情報に自律的に着目することを実験的に示した。これは興味ある結果である。

第 5 章は、**Directional-Edge-Based Object Tracking Employing On-Line Learning and Regeneration of Multiple Candidate Locations** と題し、ハードウェア実装に特化した物体追跡アルゴリズムについて述べている。方向性エッジ情報を用いて追跡物体の特徴を表現し、これにより追跡を行うが、対象物が時々刻々形状を変えてもその変化を随時学習することにより、極めてロバストな追跡が可能であることをシミュレーションにより示している。

第 6 章は、**FPGA Implementation of a Directional-Edge-Based Real-Time Object Tracking System** と題し、第 5 章で開発したアルゴリズムを FPGA に実装し、実時間の物体追跡が可能であることを実験的に示している。

第 7 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、対象画像より方向性エッジ情報を適応的に抽出し、必要な論理処理を施すデジタル方式 CMOS 特徴抽出イメージセンサーの開発、並びに VLSI ハードウェア化に適合させた物体追跡アルゴリズムの提案を行い、それぞれ静止画認識システム、並びに物体追跡システムを実際に構築することによりその有効性を実証したもので、電子工学の発展に寄与するところが少なくない。

よって本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。