

審査の結果の要旨

氏名 趙 普社

本論文は、“A Real-Time Object Tracking System With On-Line Feature Learning (和訳：オンライン形状学習機能を備えた実時間物体追跡システム)”と題し、動画像中に存在する所定の対象物に対し、刻々に変化するその形状を即座に学習・記憶することにより、ロバストに物体追跡のできるアルゴリズムを開発するとともに、これを FPGA 上に実装することにより、実時間の物体追跡システムを実現する研究成果を纏めたもので、全文 6 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 Real-Time Object Tracking System Employing Multiple Candidate Regeneration”と題し、物体追跡でよく用いられる Particle Filter の基本概念を、最も効率よく VLSI ハードウェアに実装可能な新たな形式に再構築した Multiple Candidate Regeneration アルゴリズムについて述べている。対象物の形状を方向性エッジの空間分布ヒストグラムを用いた特徴ベクトルで表現し、対象物の存在確率を単純な特徴ベクトル間のマンハッタン距離を用いて表すことによりコンパクトな回路実装を実現するとともに、並列処理により高速化を実現した。FPGA 上に実装することにより、対象物の形状が大きく変化したり、あるいは一部が障害物の背後に隠れても、見失うことなく実時間でロバストに追跡できることを実験により示した。これは、実用的にも重要な成果である。

第 3 章は、“Extending Tracking Functions”と題し、前章で開発した追跡アルゴリズムをさらに高度化する手法について述べている。これまでは、追跡対象物体を最初のフレームでその位置を指定する必要があったが、その形状を提示するだけでシステムが自動的にその位置を特定する機能を開発した。前章の Multiple Candidate Regeneration の概念を画像全体に適用することで高速な位置特定が可能になり、対象物が複数あってもそれらの位置を特定し、且つ追跡可能となった。また、対象物の大きさの変化や画面内での回転、さらに対象物が一度画面から出て行って完全に消失してしまうようなケースにも、追跡が可能となった。

第 4 章は、“A Real-Time Object Tracking System With Online Learning Support Vector Machines (SVM)”と題し、刻々に変化する対象物の形状を SVM を用いてオンラインで学習し、よりロバストな物体追跡を実現する方法について述べている。ローカルな部分画像に関し、対象物をほぼその中央に包含する画像と、それ以外の、対象物を部分的にしか包含しない画像や背景のみの画像の二種類に区分する分類器を、ガウシアンカーネルを用いた SVM によって実現するシステムを開発した。このシステムは、各サンプルのクラス境界からの距離によって確信度を表す confidence map を生成するとともに、対象物と分類さ

れた **candidate point** 群の重心計算により対象物の位置を同定する。クラス境界は、対象物の形状変化に応じて刻々更新する。このアルゴリズムを **FPGA** に実装し、他の研究者が開発したアナログ **SVM** チップをシステムに組み込むことによりその有効性を実証した。これは重要な成果である。

第 5 章は、“**A Real-Time Object Tracking System With Online Learning Nearest Neighbor Classifier**” と題し、刻々に変化する対象物の形状のオンラインで学習に関し、第 4 章で導入した **SVM** に代わり **nearest neighbor** 分類器を導入した結果について述べている。**SVM** に比較しアルゴリズムははるかに単純であり、且つハードウェア実装も容易であることから、高効率なシステムの構築が可能となる。実際これにより、**SVM** と同等の性能をより高速で実現できることを示した。

第 6 章は結論である。

以上要するに本論文は、方向性エッジ情報を用いて対象物の形状を特徴ベクトル表現し、形状の類似度に応じた確率に従って物体追跡を行う方法に、刻々に変化する対象物の形状を実時間学習する機能を付加することによってロバストな物体追跡可能なアルゴリズムを開発し、これを **FPGA** に実装してシステムを構築しその有用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。