

審査の結果の要旨

氏 名 劉 景文

本論文は「Human Behavior Analysis for Customer Interest Level Estimation using In-Store Cameras」(店舗カメラを用いた顧客関心度推定のための人物姿勢検知に関する研究)と題し、店舗に設置した監視カメラの映像中に映る顧客の商品関心度を抽出のため、顧客の頭部と身体の向き、関節の位置と腕動作を認識する一連の技術を新たに提案するものであり、英文で記され全体で6章により構成される。

第1章「Introduction」(はじめに)では、監視カメラによる顧客関心度分析の重要性について述べている。従来の顧客行動解析システムにおいては、動線ヒートマップを用いることが主流であり、顧客の姿勢認識による行動解析が研究課題となる。マーケティングの実務者と議論を重ねた結果、商品に対する顧客の興味が顧客の姿勢に顕著に現れるという示唆が得られた。具体的には、顧客の頭部と身体の向き、更なるの関心示す顧客の関節位置、購入に直結する腕動作などを認識することで顧客の興味度合いを分類することができる。そこで、本章では、人物姿勢認識の関連技術の概要と問題点をまとめている。

第2章「Framework of Customer Behavior Analysis System」(顧客行為分析システムのフレームワーク)では、システム全体のアーキテクチャ、入力情報と出力情報のフォーマットについて定義している。店舗カメラを入力画像から背景差分により顧客画像を得たのち、その顧客画像を基づいて顧客の頭部と身体の向きを検出する。検出された身体向きを補助情報として、顧客の関節位置と可視性マスク認識する。最後に関節位置から得た手の位置を追跡して、顧客の腕動作を認識することが可能となった。

第3章「Customer Head and Body Orientation Detection」(顧客の頭部と身体の向きの検出)では、顧客の頭部と身体の向きを検出するために、Weakly Supervised Learning 手法を提案している。人物の向きとしての連続量を離散ラベル化して教師データを作成するには、作業者によるばらつきなどがあり、教師データを一意に決めることが困難である。この規定したラベル間に存在する曖昧な向きを一对の weak label と考え、学習過程において weak label を徐々に確定のラベルに分類し、教師データの最適と学習を同時に行うものである。この章で、HOG + SVM とディープニューラルネットワーク二種類分類器を実装し、提案の半教師あり学習手法は従来の教師あり学習手法よりの優越性を確認した。

第4章「Customer Pose Estimation」(顧客の姿勢認識)では、複数の情報を融合して、新たな姿勢認識システムを提案している。このシステムは関節位置のヒートマップ、関

節間の勾配マップ、グローバルな身体向き、関節の可視性マスクを同時に出力する **Multi-task Neural Network** である。この 4 つのタスクの物理上と画像上の密接な繋がりを考慮して、同じネットワークに計算することにより、お互いの精度向上を図ることが可能となる。また、システムの出力端には **Bidirectional Recurrent Neural Network** を加え、時間軸上 **forward** と **backward** 両方向の画像を同時に取り入れて関節ヒートマップの修正を行う。このシステムは関節位置だけではなく、関節の可視性マスクも同時に出力することで、**self-occluded** な関節に対する **false positive** エラーを軽減することができる。本手法により、**ResNet** 等の **Deep Learning** モデルや **Deformable Parts Model** と **Deep Learning** の結合モデル等の近年の先端的な研究成果に比べても格段の検出精度の向上を実現することができた。また、**Cao** らの **Part Affinity Fields** に基づく最新の研究成果と比較しても、単体の人物についてはあるが、**false positive** エラー評価において本技術の優位性が確認できた。

第 5 章「**Customer Arm Action Classification**」(顧客の腕動作識別)では、商品に触れる三種類顧客の腕動作を識別している。そのため、**Combined Hand Feature** という新たな特徴量を提案している。その特徴量は、手の移動軌跡、手の可視状態、手とショッピングバスケットの相互作用情報を含めていて、動的ベイジアンネットワークによって、顧客の腕動作識別できる。比較実験によると、提案の方法は外観に基づいた **HOG + SVM** の既存方法より識別精度が向上することが確認された。

第 6 章「**Conclusions and Future Works**」(まとめ及び今後の課題)では、本論文における主たる成果をまとめるとともに、今後の課題と展望について述べている。

以上、これを要するに、本論文は、店舗に設置した監視カメラを用いて、顧客の商品関心度を推定することを目的として、顧客の頭部と身体の向き検出、姿勢認識と腕動作識別という一連の課題に対して新たな技術を提案するものである。評価実験によりその有効性が証明され、マーケティング分野における実用性も確認されるなど、電子情報学上も貢献するところが少なくない。よって本論文は博士(情報理工学)の学位請求論文として合格と認められる。