

審査の結果の要旨

氏 名 内 田 祐 介

本論文は、「**Extended Inverted Index and Fisher Kernel Approaches for Binary Local Feature-based Image Retrieval** (バイナリ局所特徴による画像検索のための拡張転置インデックスおよびフィッシャーカーネル)」と題し、7章よりなる英文で書かれている。近年のスマートフォンの普及により、モバイル端末が画像検索のプラットフォームとして注目されている。モバイル端末上での画像検索（モバイル画像検索）は、計算資源が限られるため高速かつ省メモリに動作することが求められる。本論文は、高速かつコンパクトなバイナリ局所特徴を用いつつ、高精度なモバイル画像検索を実現する手法を提案し、その有効性を論じたものである。

第1章は、「**Introduction** (序論)」であり、一般的な画像検索の歴史および局所画像特徴の発展について言及し、近年のスマートフォンの普及に伴うモバイル画像検索の重要性を論じている。また、モバイル端末上での画像検索では、その限られた計算資源から近年提案されているバイナリ局所特徴が適切であることを論じている。

第2章では、「**Related Work** (関連研究)」について大規模なサーベイが行われている。画像検索の重要な構成技術である、局所画像特徴および画像のベクトル表現について、様々な手法が体系的に分類され、整理されている。

第3章は、「**Fisher Vectors for Binary Features** (バイナリ局所特徴のためのフィッシャーベクトル)」と題し、これまで実数値ベクトルにのみ適用されてきたフィッシャーベクトルを、新たにバイナリ局所特徴への拡張することを提案している。その際、バイナリ局所特徴をベルヌーイ混合モデル (BMM) でモデル化しており、このモデル化により様々なバイナリ局所特徴の持つ情報量を客観的に測ることができることを示している。実験では、モバイル検索を目的としたデータのセットにおいて、バイナリ局所特徴のフィッシャーベクトルが既存のBag-of-Visual Words (BoVW) 手法に対し、大幅な精度改善を実現できることを示している。

第4章は、「**Extended Inverted Index for Binary Features** (バイナリ局所特徴のための拡張転置インデックス)」と題し、拡張転置インデックスを用いることでBoVW手法の精度改善を実現する手法を提案している。具体的には、VW毎にバイナリ局所特徴の分布が大きく違うことを示し、VW毎に情報量の大きなビットのみを選択して転置インデックスに保存し、検索時にそのビット列を用いてVWレベルのマッチングのフィルタリングを行うことを提案している。更に、このフィルタリング時に得られる距離情報をスコアに変換する新たな方式を提案し、実験によりその有用性を示している。本章で提案されているシステムをモバイル画像検索（非バイナリ局所特徴ベース）のstate-of-the-artの技術と比較すると、より高速でありながら、12%高精度な認識を実現していることが示されている。大規模なデータベースでの検証も行われており、100万枚のデータベースに対し、検索時間87ms、特定3クラスでの精度83.5%を実現できていることが示されている。

第5章は、「**Linking Fisher Kernel to Inverted Index-based Systems** (フィッシャーカーネルの転置イ

ンデックススペースのシステムへの統合)」と題し、第3章および第4章の提案を融合させた手法を提案している。具体的には、第4章におけるVWをBMMにより定義し、ハミング距離の代わりにバイナリ局所特徴同士のフィッシャーベクトルの距離を利用することを提案している。BMMをVWとした際には量子化処理に時間がかかることが問題となるが、ベルヌーイモデルをノードとする探索木を構築することによって高速化を実現している。本章で提案されているシステムは、第4章のシステムに対し更に8%の精度改善を実現できることが示されている。

第6章「Applications（応用）」では、本論文で提案されている画像検索システムについて、4種類の商用サービスへの応用例が紹介されており、本論文の技術が商用レベルで有用であることが示されている。

第7章は、「Conclusion（結論）」と題し、本論文の貢献のまとめ、および未解決の問題が示されている。未解決の問題としては、本論文では対象物体を平面と仮定している処理があるため、立体物への応用が挙げられている。また、変形する非剛体である物体の検索についても、今後の検討の必要性が挙げられている。

以上これを要するに、本論文では、モバイル画像検索に対し、近年提案されたバイナリ局所特徴に最適な新たな画像表現を提案し、モバイル端末でもスケーラブルかつ高速に動作する画像検索システムを提案および構築し、実際の商用サービスへの導入までを実現しており、バイナリ局所特徴を用いたモバイル画像検索技術の基礎を構築したと言え、電子情報学上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。