

報告番号	※甲	第	号
------	----	---	---

主 論 文 の 要 旨

論文題目 移動端末における画像検索と自己位置推定のための大規模特徴データベースの小容量化

氏 名 松崎 康平

論 文 内 容 の 要 旨

情報通信技術の発展に伴い、スマートフォンを始めとする移動通信可能な端末(移動端末)が普及している。近年では、移動端末上でパターン認識を用いた様々なアプリケーションが実行されるようになった。その中に、画像検索や自己位置推定のように多数の特徴で構成されるデータベース(Database; DB)と特徴照合を行なうアプリケーションがある。これらのDBは多数の画像や広範囲の環境を表す大規模な特徴を含むため、容量が大きい。移動端末は計算資源が限られるため、大きな容量のDBは記憶装置に収まらない恐れがある。また、移動端末上で動作するアプリケーションは即応性が要求される場合が多く、特徴照合を高速に行なう必要がある。従って、これらのアプリケーションでは高速かつ高精度な特徴照合を実現しつつ、特徴DBを小容量化することが重要な課題となる。

一般に、特徴照合においては特徴の照合精度とデータ容量はトレードオフの関係にあるため、高精度な照合と特徴の小容量化の両立は困難な問題である。同様に、特徴照合のための計算量を削減するほど照合精度は低下する恐れがあるため、高速かつ高精度な特徴照合もまた難しい。そのため、本論文では(i)DB内のデータ数の削減、(ii)DB内の各データの小容量化、(iii)効率的なデータの照合、の3つを課題とし、これらを実現することによって上記の問題を解決する。これらの課題に対しては、(a)特徴の選択、(b)特徴の変換、(c)類似尺度の変更、という観点で取り組む。(a)は特徴の集合から一部の特徴を選択し、(b)は特徴をより小さいデータ量の表現に変換し、(c)は変換されたままの特徴を照合するために類似尺度を変更するものである。そして、本論文で提案する手法により、スマートフォンによる画像検索とコネクテッドカーによる自己位置推定というアプリケーションにおいて、高速かつ高精度な照合と特徴DBの小容量化を両立できることを示す。以下、各章の要旨をまとめる。

第1章では、本論文の研究背景、目的、位置付け、構成を述べる。画像検索や自

己位置推定のように大規模な特徴 DB を必要とするアプリケーションが盛んに開発される中で、それらを移動端末上で動作させることの難しさについて述べる。そして、本論文の目的は、移動端末上で動作するアプリケーションにおいて高速かつ高精度な照合と特徴 DB の小容量化を両立することであり、この目的を達成するために次の3つの研究を行なうことを述べる。

- 研究1：特徴の選択に基づく画像の索引付け
- 研究2：特徴の変換に基づく環境地図の圧縮
- 研究3：類似尺度の変更にに基づく自己位置推定

第2章では、本論文で着目するアプリケーションである画像検索と自己位置推定の関連研究について概説する。画像検索については、移動端末で撮影した画像をクエリとする技術が広く利用されており、特に画像から抽出した局所特徴の集合を用いる方法が成功を収めている。自己位置推定については、カメラやLiDARで計測したセンサデータと環境地図を用いて自己位置を推定する技術が広く利用されている。本章では、これらの技術に関連する先行研究についてまとめ、いくつかの代表的な手法を紹介する。

第3章では、第1の研究である特徴の選択に基づく画像の索引付けについて述べる。本研究では、課題として(i)DB内のデータ数の削減を、アプリケーションとしてBag-of-Visual Wordsに基づく画像検索を想定する。この手法は元々、(b)特徴の変換、(c)距離尺度の変換を利用している。本研究では新たに(a)特徴の選択を導入することにより、画像検索に有益な特徴のみを選択したDBを構築する手法を提案する。具体的には、特徴選択を特徴空間上での最大被覆問題として定式化し、特定の制約関数の下で最も高い信頼度を得る特徴の集合を求める。この定式化のために、画像検索手法における特徴の一致条件と整合するように設計された制約関数を提案する。実験により、提案手法が従来手法と比べてDB容量および処理時間を増加させることなく、検索精度を改善することを示す。

第4章では、第2の研究である特徴の変換に基づく環境地図の圧縮について述べる。本研究では、課題として(ii)DB内の各データの容量化を、アプリケーションとして3D Normal Distributions Transform (NDT)による自己位置推定を想定する。3D NDTは元々、(b)特徴の変換、(c)距離尺度の変換に基づいて自己位置推定を行なう手法である。この手法では3次元点群を集約によって変換するが、変換後であってもDB容量は依然として大きいという問題がある。この問題に対処するために、本研究では(b)特徴の変換に基づいて正規分布のパラメータを量子化によって更に変換することにより、DB容量を削減する手法を提案する。実験により、提案手法は標準的な3D NDTと同程度の自己位置推定精度と処理時間を達成しつつ、DBを小容量化することを示す。

第5章では、第3の研究である距離尺度の変換に基づく自己位置推定について述べる。本研究では、課題として(iii)効率的なデータの照合を、アプリケーションとして3次元点群を用いた自己位置推定を想定する。3次元点群を用いた代表的な自己位置推定手法は反復的な探索に基づくため、解の収束が遅い場合には処理時間が

長くなる．非反復的な探索に基づく方法によって処理時間を安定化させることができるが，従来使用される類似尺度は計算量が大きいという問題がある．この問題に対処しつつ，高精度な特徴照合と DB の小容量化を実現するために，本研究では(c) 類似尺度の変更に基づいて効率的に計算可能な 2 値ベクトル間の Hamming 距離を類似尺度として使用する手法を提案する．実験により，提案手法は従来手法と同程度の自己位置推定精度を達成しつつ，処理時間を短くするとともに DB を小容量化することを示す．

第 6 章では，本論文を総括するとともに，今後の課題と展望を述べる．上記の 3 つの研究により，本論文で課題とした (i) DB 内のデータ数の削減，(ii) DB 内の各データの小容量化，(iii) 効率的なデータの照合を実現することができる．そしてこれにより，移動端末上で動作するアプリケーションにおいて高速かつ高精度な特徴照合を実現しつつ特徴 DB を小容量化することが可能となる．今後は本研究で得られた知見を基に，移動端末によって実世界のあらゆる情報の認識を可能にしたいと考えている．