

学位論文題名

方向符号エントロピーに基づく
ロバスト特徴抽出に関する研究

学位論文内容の要旨

画像間の対応を決定するための画像照合技術は、生産ラインにおける位置決めや外観検査、欠陥検査などに利用され、画像処理技術を応用する実システム、いわゆるマシンビジョンの分野において基礎となる技術のひとつである。現在、その応用範囲が広がるにつれ、照合処理のために特段整備されていない実環境、すなわち、位置、姿勢(回転)やスケール変化、透視的歪み、付加ノイズ、照明変動、遮蔽などの様々な不良条件下においてロバストに照合可能な手法が望まれている。

生産ラインにおける画像照合において、対象となる画像は事前に登録されているのが一般的である。一方、画像計測分野におけるステレオ測定時の対応点探索や動画像解析におけるオプティカルフロー推定、複数画像の張り合わせによるパノラマ画像作成やロボットビジョンにおけるランドマーク認識処理などにおいては、探索すべき対象となる画像は予め与えられず、情景画像から探索対象となる画像を抽出する処理が必要となる。このとき、情景画像からどの領域を探索すべき特徴領域として抽出したら良いかという問題が生じる。

本論文では、局所的な照明変動などの不良条件に対して強いロバスト性を有する方向符号を特徴量とし、その分布の多様性をエントロピーを用いて評価することで、情景画像から照合に適した情報が豊富な局所領域を抽出する特徴領域抽出法を提案する。また、抽出された領域の方向符号の密度によりスケール推定が可能であることを示し、スケール変化のある実画像に対応可能なテンプレート照合法を実現する。更に、スケール推定とエントロピーに基づいた探索範囲の限定による探索の高速化について述べ、実験によりスケール推定の有効性と探索高速化の効果を確認する。

第1章では、従来の特徴領域抽出方法について述べ、その問題点を示す。更に、本論文で扱うスケール変化を伴う場合の画像照合手法について述べ、そこで問題となっている課題を示すことで、本研究の位置付けと目的を明確にする。

第2章では、方向符号エントロピーを定義し、画像中から照合に適した特徴領域を「タグ」として抽出する特徴領域抽出法を提案する。本論文では画像の明度自体ではなく、画像情報に特有の性質のひとつである方向符号を用いる。これは画素近傍における明度変化が最大となる勾配方向を量子化した値(整数値)であり、照明変動に対してロバストな特徴量のひとつである。ここでは、方向符号を直感的に理解しやすくするために、方向符号を色相環における対応する色で置き換えることで可視化する方法を提案する。タグ抽出に

際しては、方向符号エントロピーにしきい値を設け、更にこれを正規化した値として豊富度を定義し、全面素位置で豊富度を算出し、これが局所領域において最大となる画素位置をタグ領域とする。

第3章では、方向符号エントロピーに基づいたタグ抽出の問題点として、有効な符号が少ない領域が抽出される問題について検討する。方向符号エントロピーに基づいたタグ抽出では、局所領域に含まれる方向符号の分布のみを評価し、有効な符号数を考慮していない。このため符号の分布によっては、有効な符号が少ない領域でも評価値が高くなる場合があり、結果として有効な符号が少ない領域が生成される。ここでは、この問題点の改善方法として方向符号化密度を考慮したタグ抽出法を提案する。

第4章では、方向符号化密度を用いたスケール推定法を提案する。方向符号エントロピーと方向符号化密度に基づいたタグ抽出では背景とは区別可能な孤立した対象物をタグとして抽出しやすい。これは、孤立した対象物の周囲縁の方向符号が領域全体の方向符号の多様性に強く寄与し、結果として豊富度高くなるからである。また、方向符号化密度の導入により、領域の中心に対象物を捕らえやすくなっている。そこで、本論文では固定サイズの領域内に含まれる有効符号の割合、すなわち方向符号化密度がスケール変化と相関関係をもつことをスケール推定に利用する。

第5章では、スケール変化に対応したタグ探索の高速化について述べる。第4章で述べる方向符号化密度を利用したスケール推定により、拡大縮小版のテンプレート画像を用いた走査処理が省略でき、探索の高速化が可能である。ここでは更に、探索範囲の限定による探索の高速化を行う。情景画像からタグ領域を探索する場合、従来の方向符号照合法のように情景画像の全範囲を走査する全探索を行ったのでは、探索に多くの計算コストを必要とする。そこで、情景画像に対してタグ抽出処理を行い、探索範囲をその近傍領域に限定することで探索の高速化を行う。

第6章では、方向符号化密度を用いたスケール推定実験を行い、真値との比較によりスケール推定精度を検証する。また、方向符号照合法を用いて画像照合を行った際、スケール推定前後の照合誤差を比較することで、スケール推定法の有効性を確認する。更に、探索時間の比較を行い、方向符号化密度を利用したスケール推定と探索範囲の限定による探索の高速化の効果を確認する。

第7章では、方向符号エントロピーに基づいて抽出したタグの応用例として、移動ロボットのランドマークとしての利用例について述べる。一旦定義されたランドマークは様々な位置から眺められ、移動ロボットなどの自己位置計測などに用いられる。豊富度に依存してタグ領域を抽出しようとする、異なる見え方において豊富度が同程度とは限らないため、同一対象物（の見え方）に対する信頼度が視野ごとに変化してしまう。そこで、豊富度のみではなく、隣接地点間の観測画像を利用し、方向符号照合法に基づいて類似度及び個別度を定義し、画像パターンとしての照合特性を併せて考慮することで、信頼性の高いロバストなタグを生成する手法を提案する。

第8章は本論文の結論である。

学位論文審査の要旨

主査	教授	金子	俊一
副査	教授	北	裕幸
副査	教授	山下	裕
副査	教授	五十嵐	一
副査	助教授	田中	孝之

学位論文題名

方向符号エントロピーに基づく ロバスト特徴抽出に関する研究

画像間の対応を決定するための画像照合技術は、生産ラインにおける位置決めや外観検査、欠陥検査などに利用され、画像処理技術を応用する実システム、いわゆるマシンビジョンの分野において基礎となる技術のひとつである。現在、その応用範囲が広がるにつれ、照合処理のために特段整備されていない実環境、すなわち、位置、姿勢（回転）やスケール変化、透視的歪み、付加ノイズ、照明変動、遮蔽などの様々な不良条件下においてロバストに照合可能な手法が望まれている。生産ラインにおける画像照合において、対象となる画像は事前に登録されているのが一般的であるが、画像計測分野におけるステレオ測定時の対応点探索やロボットビジョンにおけるランドマーク認識処理などにおいては、探索すべき対象となる画像は予め与えられず、情景画像から探索対象となる画像を抽出する処理が必要となる。このとき、情景画像からどの領域を探索すべき特徴領域として抽出するかという特徴領域抽出問題が生じる。

本論文ではこの主旨に添って、局所的な照明変動などの不良条件下において、情景画像から照合に適した情報が豊富な局所領域を抽出する特徴領域抽出法を提案している。また、抽出した領域を参照画像（テンプレート画像）とし、スケール変化した実画像から高速に探索するテンプレート照合法を実現している。

提案手法では、不良条件に対するロバスト性を確保するために、特徴量として、局所的な照明変動などの不良条件に対して強いロバスト性を有する方向符号を用いる。方向符号照合法では、エッジやグラデーション領域などの方向符号に偏りがある領域では、周囲の類似領域の存在により誤照合を起こしやすい。そこで、提案手法では方向符号の分布が多様な領域が照合に適した領域であると考え、方向符号の多様性を評価する方向符号エントロピーを定義している。タグ抽出に際しては、方向符号エントロピーにしきい値を設け、更にこれを正規化した値として豊富度を定義し、これが局所領域において最大となる位置を照合に適した情報が豊富な「タグ」領域として抽出している。更に、抽出したタグ領域

の有効性を確認するため、少し離れた位置で撮影した隣接視野画像からタグ領域を探索する画像照合実験を行い、誤照合が起きない事を確認している。また、照明変動下における実験によりタグ領域が照明変動に対してもロバストに照合可能である事を確認している。

方向符号エントロピーに基づいたタグ抽出では、局所領域に含まれる方向符号の分布のみを評価し、有効符号数を考慮していない。このため、情報が少ない無効符号を多く含む領域が抽出される問題がある。この改善方法として、局所領域内に含まれる有効符号の割合を意味する方向符号化密度と方向符号エントロピーとの積で表わされる新たな評価値を導出し、これに基づいたタグ抽出実験を行った結果、方向符号化密度が低い誤照合を起こしやすい領域が抽出されないことを確認している。

方向符号エントロピーと方向符号化密度に基づいたタグ抽出では背景とは区別可能な孤立対象物をタグ領域として抽出しやすい。提案手法ではこの孤立対象物を捕らえたタグ領域の方向符号化密度がスケール変化と相関関係をもつことを利用したスケール推定法を提案している。方向符号照合法はテンプレート照合法を基礎としているため、大きなスケール変化に対しては拡大縮小版の参照画像を用いた走査が必要であり、探索には多くの時間を要する。そこで、本論文ではスケール推定と探索範囲の限定による探索の高速化手法を提案し、実験によりスケール推定の有効性と探索高速化の効果を確認している。

これを要するに、著者は、ロボットビジョンを対象とした画像照合技術分野において、新しく効果的な独自の手法を提案し、実験によりその有効性を確認したものであり、制御情報工学に対して貢献するところ大なるものがある。よって著者は、北海道大学博士(工学)の学位を授与される資格あるものと認める。