

学位論文題名

増分符合相関の理論とその画像照合への応用に関する研究

学位論文内容の要旨

画像照合は、画像処理技術の中核技術として、様々な分野で広く用いられている。現在、頻繁に用いられている画像照合は、古くから用いられていたもので、それらの手法には、いくつかの問題があることは、よく知られていることである。例えば、アフィン不変性、ノイズ・陰影・遮蔽・光沢・背景変動など画像変動に対する耐性の問題、また、計算コストや種々のパラメータの決定方法などの問題である。これまでも多くの研究事例がこれらの問題を取り扱っているが、特定のシステムに深く依存する傾向があるため、その成果を一般化することや他の応用システムへ適用することが難しい上に、依然として旧来の問題が課題とされている。

本研究の目的は、汎用的な画像照合評価量としての「増分符合相関」を提案し、その定式化を行い、これを応用した画像照合手法の特性を明らかにし、これまでの画像照合における課題にひとつの解答を与えることにある。増分符合相関は明度の変化傾向を利用するという点で従来の照合手法と大きく異なる。増分符合自体は2値のビットで表現できるために、計算コストは非常に小さなものとなる。また、明度の大きさそのものには依存しないために、局所的あるいは大域的な照明変動に対し原理的に影響されない。さらに、本手法の有用性は、照合評価量が2項分布に従う統計量として記述できるという点にある。統計モデルが存在することにより、照合しきい値を理論的に決定することを可能にしている。また、明度の大きさを直接利用せずに照合評価量を求めるために、遮蔽・光沢などといった従来の手法では扱えなかった問題に対しても、理論的な解析が可能となっている。

本論文では、増分符合相関の定義を与え、理論的な解析を行う。また、種々の画像変動に対する実験を行い、現象と評価量との関連性が本手法において合理的な関係にあることを示す。さらに、本手法を実際的な問題に適用することで、実践的な利用の方法論を示し、応用システムにおける利用の方針を明らかにする。

第1章では、研究の背景について述べ、本研究の位置づけ、目的および意義を明らかにしている。

第2章では、新しい統計量である増分符号相関の基本的定義と統計的性質を述べる。増分符号相関は、近傍画素の明度変化の傾向を統計的に捉えたものである。その統計モデルは、二項分布あるいは正規分布として表すことができる。このような統計モデルが存在することにより、識別におけるしきい値設定を合理的な方法で行うことができること、および、統計的性質から遮蔽や光沢といった不良条件における照合においても、合理的なしきい値の設定が可能となることを示す。また、数値実験により理論の検証を行う。

第3章では、第2章で理論的に示された事柄を、実画像を用いて検証することを目的としている。はじめに、増分符号相関を用いた画像照合の基本アルゴリズムを与える。ま

た、上限値予測による高速化手法を含めた画像照合の枠組みについて述べる。この手法は、増分符号相関が正位置において急峻なピークを示す傾向をもち、最大値とそれ以外の相関値との違いが大きいことなどから有効な手法であることを示す。第2章では、付加ノイズの耐性に関する数値実験を示したが、この章では、照明条件の変動や遮蔽に対する基本的な実画像実験を行う。正規化相関などの従来有効とされている手法との比較をとおして増分符号相関の有効性を議論する。また、基本的な識別問題としてのしきい値の合理的な設定に関する検証実験を行う。

第4章では、実際的な問題におけるしきい値の推定手段を与え、遮蔽、光沢物体に対する応用実験、屋外環境における監視実験をとおして検証を行う。前者の実験においては、基本的なしきい値の推定方法を提示し、結果との比較を行っている。後者は、より条件の厳しい問題として照明変動下での相違検出という複合的な状況のもとでのしきい値の合理的設定法について論じている。

第5章では、ステレオ照合問題を例に、増分符号相関の実際的な応用について述べる。対象は、ボーリング調査で用いられる孔壁の画像で、これのステレオ画像対である。孔壁内ではカメラ、照明などの光学系がボーリング孔の大きさに限定されているために良質な照明の設定が困難であること、岩盤表面がコントラストの低い細かなテクスチャパターンからなり、対応づけに利用できるような顕著な特徴が少ないなどの孔壁画像特有の問題がある。これら問題に対し、増分符号相関に基づくステレオ計算アルゴリズムを開発する。実画像を用いた測定実験結果を示し、三次元測定機を用いた測定結果との比較考察を行うことで、手法の有効性を示す。また、照合しきい値の設定を実際的な問題に適用する方法論を示す。

第6章では、増分符号相関の課題についてまとめ、考察を行う。増分符号相関は、これまでにない特性をもった画像照合手法であるが、様々な課題があることもわかっている。この章では、それらの課題を改めて議論することをとおして、増分符号相関の特性を明確にし、照合手法としての意義について論じる。

第7章は、結論であり、本研究で得られた知見と成果をまとめたものである。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 五十嵐 悟
副 査 教 授 島 公 脩
副 査 教 授 岸 浪 建 史
副 査 助 教 授 金 子 俊 一

学位論文題名

増分符合相関の理論とその画像照合への応用に関する研究

画像処理技術の中核的存在である画像照合手法は、様々な分野へ応用の範囲を広げている。特に、最近では予測できない画像変動がある屋外環境への適用が盛んに試みられている。しかし、旧来の照合手法では、種々の画像変動に対し、ロバスト性が得られないなどの問題が指摘されている。これらの問題に対処する目的で提案されている手法には、個々の応用に依存する傾向が強く見られ、その成果を汎用的な手法として利用することが難しくなっている。また、照合評価量に対するしきい値の決定などの運用面においても、試行錯誤に基づく経験的調整が必要であるなど、今後の改善が望まれている。

本論文は、このような状況にある画像照合の諸問題に対し、これまでにない特性をもつ増分符号相関と呼ぶ新たな照合評価量を提案し、その画像照合への応用について研究したものである。この手法は、統計的モデルをもつために、従来は経験的に設定されていた照合しきい値などを理論的に予測することを可能としている。また、照合特性においても、従来手法では原理的に扱うことが困難とされていた遮蔽、光沢などの画像変動に対してロバスト性を示す手法であることを示している。

従来の画像照合手法の多くは、照合パターンの濃淡強度は画像変動に対しても保存されるという仮定に基づくものである。たしかに、これらの従来手法は、比較的大きな統計的ノイズに対してロバスト性を有することが知られている。しかし、応用範囲を室内・工場といった撮像条件が良好な環境から、屋外環境へ広げた場合に生じる、陰影、遮蔽、光沢といった統計的ノイズとは性質の異なる画像変動に対するロバスト性に関して問題があることが指摘されている。現在、試行錯誤的に種々の解決方法が試みられているが、その理由は、従来手法には数理モデルが存在しないためであると考えられる。

本論文では、増分符号相関の2つの重要な点を明らかにしている。ひとつは、本手法の照合特性を解析し、画像照合手法としての有効性を明らかにしていることである。もうひとつは、統計モデルに基づき増分符号相関の画像照合における数理を明らかにしたことである。両点ともに、従来手法では論じることのできなかつた点である。

まず、増分符号相関の原理的な定義を行い、画像照合手法としての定式化を行っている。統計的ノイズに対する特性や、陰影、遮蔽、光沢といった従来法では原理的に扱うことが困難であった画像変動に対し、シミュレーション画像および実画像を用いた実験で、

その有効性を示している。特に照明変動による、大域的、局所的陰影変動に関しては原理的に影響されないことが示されている。また、遮蔽、光沢といった画像変動に関しては、代表的な従来手法が容易に誤照合を起こすような状況でも、大きなノイズマージンを保って照合評価量が得られることを明らかにしている。画像照合手法としての特性ばかりではなく、種々の画像変動に対する数理的解析が行われている。増分符号とは、隣接画素の明度変化の正負を1画素あたり1ビットで表現したものであるが、その照合評価量は、ビット反転の2項分布に基づく統計モデルであることを明らかにしている。この統計モデルに基づき典型的2クラス問題におけるしきい値の決定を数理的に行う方法を明らかにしている。シミュレーション画像および実画像実験により実際にしきい値の決定を行い、理論の妥当性を検証している。また、統計的性質に基づき遮蔽および光沢に関する数理を明らかにしている。これにより、増分符号相関のこれら画像変動に対するロバスト性の根拠を明らかにしている。

本論文においては、基本的な照合特性の検証と数理的側面を明らかにするだけでなく、応用問題への適用に関する考察と検証が行われている。増分符号相関においては、ビット反転確率を知ることによりその照合の特性を把握することが可能であるが、ビット反転確率を正しく求めるためには原理的には多数の学習用サンプルを入手する必要がある。しかし、現実には多数の学習用サンプルを用意することが困難な場合が多い。このような場合に対し、反転確率の推定値を求める方法を明らかにしている。この方法を、屋外環境監視への応用に用いて、照明変動による陰影中の異常物体を選択的に検出することが可能であることを示している。ここでは、1対のサンプル画像を監視時と同サイズの部分画像群に分割し、それらの相関値に基づく推定値から異常検出用しきい値を自動的に決定する方法を採用している。さらに、増分符号相関を用いた応用例としてステレオ画像への適用を行い、不良条件の下での3次元形状を精度良く再構成している。ステレオ画像においては別の推定方法を採用している。この方法は、対応点の探索の際に得られる最も照合のよい位置における最善照合と探索範囲内で得られる最善に次ぐ照合(次善照合)の相関値を用いて行われている。これらの方法により、識別における過誤確率を最小にするしきい値を自動的に決定することを可能としている。

最後に、画像照合手法のロバスト性に関する考察が行われている。ロバスト性は、画像変動に対し相関値が安定していることをいうが、ここでは、正画像と類似画像を識別する性能として過誤確率が用いられている。相関値の比較においては従来手法と増分符号相関の差異は明瞭ではないが、過誤確率の比較において、手法間の差異が明確になることを示し、増分符号相関は、陰影、遮蔽、光沢などの画像変動に対して性能の劣化が少ないことを明らかにしている。

これを要するに著者は、増分符号相関と呼ぶ新たな照合評価量とこれを用いた画像照合手法を提案し、その照合特性や照合に必要なしきい値の設定法を数理的に明らかにするとともに、この方法が、統計的なノイズばかりではなく、従来法では取扱いが困難であった陰影、遮蔽、光沢などの変動を含む画像に対してもロバストな照合方法であることを実証したものであり、画像処理技術および画像認識工学の分野に貢献するところ大である。

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。