

学 位 論 文 題 名

照明環境変動に対するロバスト画像照合法とその応用

学位論文内容の要旨

画像処理の技術は工場の自動化やロボットビジョンの他, 幅広い分野への適用が考えられており, その研究は盛んに行われている. 特に近年, 注目を集める医療分野やバイオテクノロジーの分野において, 位置推定や計測, 検査などに使用されており, その技術に対する要求は高まっている. そのため, 近年カラー情報を用いる照合や復元の方法なども提案されており, またカラー情報に基づく対象物検出などの必要性も高まってきている. 実環境における問題の一つとして, 異なる撮像環境において取得される画像データどうしの照合が挙げられる. このとき照明の偏りや再現性の違いによる画像データ上に色の変動が現れるため, このような変動条件を吸収しつつ頑健な照合性能を実現するためのロバストな照合法について検討することを本研究は目的としている.

照明変動にロバストな画像照合として方向符号化照合法 (Orientation Code Matching: OCM) が提案されてる. この手法は各画素ごとの明度情報の傾斜方向を量子化した方向コード画像での照合に基づく. しかし, 上述のような様な照明変化ではなく各スペクトルが変動した場合において, 再検討することが必要であり, 新しい照合を考える必要がある. このような状況において, 本研究においては, カラー情報を有効に用いる手法であるカラー COM を提案する. この手法は XYZ 表色系の各成分値ごとに独立に方向符号画像を得る. また参照画像と対象画像を比較することにより, 各値ごとに照明変動分を予測し, 方向符号の類似度を評価するための重み係数を求める. 得られた重み係数により, 各値のうち照明変動の影響がより少なく照合のための類似度としてより高く評価できると考えられる画素に大きな評価値を与える.

基本的な性能解析, 重み係数の算出法, 更に非一様な照明変動を含む画像データを用いた実験により, スペクトル変動に対する提案手法のロバスト照合性能を確認し報告する.

また, その実環境への応用として顕微鏡下の実画像を用いた実験を行う. 顕微鏡下において細胞や微生物のように対象物の姿勢や移動方向が変化する場合, 安定した観察は容易ではなく, これは生物学における課題となっている. 対象を撮像し, 画像処理結果をフィードバックする技術は, ナノテクノロジーの分野に有効な手法であるが, 従来の研究では泥などの背景の外乱や照明のゆらぎによる外乱を多く含んだ環境下での微生物の検出の研究は, 生物学において必要とされているがいまだ多くはない. そこで本手法をこの分野への応用を提案し, 実用化へ向けての応用を含めた考察を述べる.

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 金 子 俊 一

副 査 教 授 金 井 理

副 査 准教授 田 中 孝 之

学 位 論 文 題 名

照明環境変動に対するロバスト画像照合法とその応用

本研究においては、カラー情報を有効に用いる新しいロバスト画像照合法として「カラー OCM」が提案されている。この新しい独自手法においては、XYZ 表色系の各成分値ごとに独立に方向符号画像を得、参照画像と対象画像を比較することにより、各値ごとに照明変動分を予測し、方向符号の類似度を評価するための重み係数を求める。得られた重み係数により、各値のうち照明変動の影響がより少なく照合のための類似度としてより高く評価できると考えられる画素に大きな評価値を与えるという独自に開発された技術を含む。基本的な性能解析、重み係数の算出法、更に非一様な照明変動を含む画像データを用いた実験により、スペクトル変動に対する提案手法のロバスト照合性能が確認されている。また実応用として、近年、注目を集めるナノテクノロジーやバイオテクノロジーの分野での使用を考えている。

画像処理の技術はこの分野にて、位置推定や計測、検査などに使用されており、その技術に対する要求は高まっている。中でもこの分野における視覚フィードバック制御、医療分野の腹腔鏡制御や、生命科学分野の細胞注入に応用されており、マイクロマニピュレーションやマイクロセンシングなどでの操作を行うことを考えた場合、任意の位置に精密に移動させることのできる位置決めシステムが求められる。細胞や微生物のように対象物そのものが運動する場合、安定した観察は容易ではなく、これは生物学における課題となっている。そのような問題へのアプローチとして、移動する微生物の高速トラッキングシステムが挙げられる。これは視野から対象物が外れないように位置を制御し、特定の一個体を自動制御により継続的に追従し、評価を行うものである。対象を撮像し、画像処理結果をフィードバックする技術は、ナノテクノロジーの分野に有効な手法であるが、従来の研究では澄んだ水の中、目的の対象物だけを入れトラッキングするものが主となっており、泥などの背景や照明のゆらぎによる外乱を含んだ環境下での微生物の検出の研究は、生物学において必要とされているがいまだ多くはない。そこで本研究では、顕微鏡より得られた視覚画像から、カラー OCM を用いトラッキングを行う方法を提案した。また、水中の生物のようにしばしば姿勢が変わるものに対しての問題や対象の形状そのものが変化してしまう場合に対して、それぞれ回転不変の特徴を考慮した中心差分 OC(CDOC) の提案や、対象の形状そのものが変化してしまう場合に対しての複数枚テンプレートを用いた照合法の提案を行った。

回転不変の特徴量については現在まで様々な回転不変の照合技術が開発されている。代表的な例

ではモーメントによる照合法があげられる。特に 2 値画像の回転変換に有効であるが、和と積の演算が必要となり一般的に計算コストが大きい。またノイズに弱いという欠点もある。色や明度のヒストグラムを特徴量としてヒストグラム照合法は回転に不変なヒストグラムの特徴量であるが、形状情報は保存されず、照合位置の精度や角度の推定に弱いとされる。計算の効率化、ロバスト性を取り入れた手法として、円環情報を利用し照合する円環 Zernike モーメントや、同じく円環を用い OCM の情報を使うことで明度や遮蔽にロバストな性能を持つ方向符号差分ヒストグラム (OCDH) がある。またカラーの情報と円環を用いることで照合性を高めたカラーリーチヒストグラムも存在する。これらの手法を参考に今回水中の生物の回転変化に対応するため、OCM の回転不変への拡張を目的に CDOC の開発を行った。これらの提案手法の性能と実用性が確認されている。

以上を要するに、著者は、色情報を有効に使い画像を処理することによって、照明環境による色や明度のノイズや外乱に対してロバストな手法を開発し、他手法との比較実験・検証実験を行うことで有用性を明らかにした。また、提案手法を微生物の視野固定システムに応用し視覚フィードバックを実現した。本研究の成果は、画像処理分野ならびにバイオテクノロジーの分野の発展に寄与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 (情報科学) の学位を授与される資格あるものと認める。