

博士（工 学） 前 孝 宏

学 位 論 文 題 名

高効率画像照合のための
相関係数値の区間推定に関する研究

学位論文内容の要旨

類似画像同士を評価尺度に基づいて定量的に判定を行う画像照合技術は、パタン認識の分野において古くから研究が行われており、位置決め等のFA分野における組立工程、製品の外観検査といった生産及び物流工程における自動化、道路環境及び交通量の監視や車載ビジョン等を含む高度道路交通システム(ITS; Intelligent Transport System)、人物の監視や生体認証等セキュリティ分野等、幅広い分野において用いられている。

近年、記憶媒体の大容量化やインターネットの普及などに伴い非常に多くの画像や解像度の高いサイズの大きな画像を記録しておくことが可能になってきている。従来、多数の登録画像中より利用者の提示する対象画像に類似した画像を検索する問題においては検索を容易に行うために、画像に様々なキーワードを付与し、付与された情報に基づいて検索する手法が用いられてきた。しかし、画像情報は言語情報と比較して多義性やあいまい性が高いため、キーワードを与えるのが困難な画像を扱えない、登録者の主観に基づいてキーワードを付与することによる検索漏れが発生するという問題が存在する。また、1枚の情景画像中より対象画像と類似する箇所を探索する、所謂テンプレートマッチング問題では、このようなキーワードに基づく検索を行うことができないため、画像同士を直接比較する画像照合によって類似判定を行うことが求められている。画像同士を直接比較することによりキーワードを付与できない画像を取り扱うことが可能となったが、画像照合に要する計算コストはキーワード検索に比べて大きく、大規模な画像データベースや高解像度の画像に対して画像照合を行う場合には非常に莫大な計算コストを必要とするため、効率よく画像照合を行うアルゴリズムが求められるようになった。

そこで本論文では、画像間の未知の相関係数を低コストで推定する区間推定を導出し、この区間推定に基づく照合の信頼性が低下しない高効率画像照合アルゴリズムを提案する。相関の区間推定とは、算出する区間に真の相関係数値を必ず含む厳密な推定方式であり、事前に計算される相関係数に基づく方式と、画素数比率という情報に基づく方式の2種類である。提案するアルゴリズムは、まず登録画像同士の全ての組み合わせの相関係数値及び登録画像全ての画像中の画素数比率を算出し、登録画像間の類似情報データベースを作成する。探索過程において、検索対象となる画像と任意の登録画像との相関計算が行われた際に、探索時に計算された相関係数値と事前に計算された相関係数値より、対象画像と他の登録画像との間に区間推定を行い、算出した推定値に基づいて相関計算を行うかを判断する手法である。

第1章において、従来提案されてきた効率的画像照合手法を2つに大別し、それぞれの手法の問題点を述べ、本研究の意義と目的を明らかにした。

第2章において、本研究で用いる2値画像の相関係数値を定義し、相関係数値に基づく区間推定において推定の仲立ちの役割を果たすピボット画像を定義した。相関係数値の定義式と三角不等式より相関係数値に基づく区間推定を理論的に導出した。1200枚の実画像を用意し、この中より対象画像、ピボット画像、登録画像を抽出し区間推定の上下限界値を約3億通り算出し、この区間推定方式の推定精度及び厳密性を検証した。算出した上下限界値より、導出した区間推定が真の相関係数値を厳密に推定する手法であることを示した。また、この区間推定方式の推定精度の検証を行い、ピボット値が高い値を持つほど上限値、下限値共に真の相関係数値を正確に推定できることを明らかにした。

第3章において、画素数比率に基づく区間推定を導出し、相関係数値に基づく区間推定との推定精度及び計算コストの違いについて述べた。第2章にて用いた1200枚の画像を用いて画素数比率に基づく区間推定の上下限界値を算出し、この区間推定方式もまた厳密な推定方式であることを示した。また、相関係数値に基づく区間推定方式と推定精度の比較を行った。

第4章において、導出した2種類の区間推定方式を用いて、相関計算を行うべき画像を絞り込むために用いる4つの判定条件を導出した。導出した判定条件を用いて基本的な効率照合アルゴリズムを設計し、実画像を用いた実験により提案アルゴリズムの有効性を検証した。商標画像より切り出したカタカナ文字からなる小規模な実験用画像データベースを作成し、提案手法の有効性を検証した。また、4種類の判定条件が相関計算を削減する傾向の違いを明らかにした。マルチテンプレート問題として、回転画像照合と地図記号探索の実験を行い、複数のテンプレート画像が登録されたテンプレートマッチング問題においてもある制約下においては有効であることを示した。

第5章では、テンプレートマッチング問題に区間推定による効率照合アルゴリズムを適用する場合に存在した制約条件を取り除くために、走査型上限推定を定義した。導出した走査型上限推定を用いる効率的テンプレートマッチングアルゴリズムを設計し、設計したアルゴリズムに残差逐次検定法(SSDA)を導入し、他の効率化アルゴリズムとの併用を試みた。地図画像を用いた実験において、走査型上限推定に基づく手法は4章で示した手法よりも効率的にテンプレートマッチングを実行できることを示した。また、テンプレート画像の大きさが走査型上限推定に基づくアルゴリズムに与える影響を検証し、扱う画像の傾向が同じであるならば、大きな画像を取り扱うほうがアルゴリズムによる計算時間短縮の効果が大きいことを示した。文書画像を用いた実験においては、13枚のシーン画像と18枚のテンプレート画像を用いることにより、他の代表的な効率化手法である残差逐次検定法(SSDA)及び画素数による前処理と比較し、これらの手法より提案手法のほうが照合に要する時間が短いことを示し、提案手法に残差逐次検定法を導入したことによる効果を導入しない場合の照合時間と比較することによって示した。また、様々な閾値を与えて照合実験を行い、提案手法に与える影響を検証し、を示した。同一パターンがシーン画像中に多数存在する画像を用いた実験において、画素数に基づいた効率化が効果を発揮しない画像に対しても、相関係数値に基づく区間推定を用いている走査型上限推定が有効であることを示した。

第6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 山下裕
副査 教授 小野里雅彦
副査 教授 北裕幸
副査 助教授 田中孝之

学位論文題名

高効率画像照合のための 相関係数値の区間推定に関する研究

類似画像同士を評価尺度に基づいて定量的に判定を行う画像照合技術は、パタン認識の分野において古くから研究が行われており、位置決め等のFA分野における組立工程、製品の外観検査といった生産及び物流工程における自動化、道路環境及び交通量の監視や車載ビジョン等を含む高度道路交通システム(ITS; Intelligent Transport System)、人物の監視や生体認証等セキュリティ分野等、幅広い分野において用いられている。

従来提案してきた画像照合手法は、対象となる画像より抽出された様々な特徴量に基づいた手法が数多く提案してきたが、特徴量に基づく照合手法は照合に有効な特徴量の設定が困難であるため、近年は画像中の明度情報を直接取り扱う手法が研究されている。明度情報は非常に多くの情報を含む特徴量であり、これを直接用いて画像照合を行う際には、照合に要するコストが特徴量に基づく手法のコストに比べて高いため、効率的に画像照合を行う様々な手法が提案されてきている。これらの手法の多くは何らかの基準に従つて照合対象を絞り込むことにより効率的な照合を実現しているが、基準の設定によって照合の信頼性が低下するという問題があり、照合の信頼性を低下させることなく効率的に照合を行う手法が望まれている。

そこで本論文では、生体認証などで用いられている2値画像を対象とし、画像照合の効率化の基準となる「区間推定」を導出し、この区間推定に基づく効率照合アルゴリズムを設計している。本論文で提案する区間推定は、画像間の真の相関係数値を必ず含む厳密な推定方式であり、区間推定の算出コストは相関計算の算出コストと比べて遥かに小さいため、これを基準とすることで、全探索と同じ信頼性の照合アルゴリズムを作成することができる。区間推定手法は、ピボット画像と呼ばれる、推定の仲介となる画像を用い、画像間の相関係数値に基づいて算出する手法と、推定の仲介となる画像を用いず、画像中の画素数比率に基づいて算出する手法の2種類が導出されている。この2種類の区間推定方式より、多数の登録画像が登録された画像データベース中より利用者が提示した画像と類

似する登録画像を効率的に検索するアルゴリズムを設計している。このアルゴリズムは、データベースに登録された画像の全ての組み合わせの相関係数値を事前に算出し、利用者が提示した対象画像とデータベース中の任意の登録画像との相関係数値が計算された際に、この相関係数値と事前計算した相関係数値より、未だ相関計算が行われていない画像に関して区間推定を行い、区間推定の上限値の値によって相関計算を行うか判断するものである。

また本論文では、1枚の大きな情景画像中よりテンプレート画像と類似する箇所を探索する、所謂テンプレートマッチング問題を効率よく行うために「走査型上限推定」を導出している。走査型上限推定は情景画像中のある位置においてテンプレート画像との相関係数値が計算された際に、その周辺位置における情景画像とテンプレート画像との上限値を算出する手法である。走査型上限推定は導出した区間推定を利用した手法であり、区間推定と同じ特性を持ち、全探索と同じ信頼性を保証されている。

これを要するに、著者は、2値画像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、その実応用における可能性を実証したものであり、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。