

画像の自己相似性および回転・発散に基づくモデルの 実現とその応用に関する研究

学位論文内容の要旨

本研究は、静止画像の高精度な拡大、および動画画像の拡大に利用する動きの高精度な推定の実現を目的として、画像の自己相似性および回転・発散に基づくモデルに関する基礎的な研究の成果をまとめたものである。

ブロードバンドの発展や様々なデジタルメディアの普及に伴い、静止画像および動画画像を有効に活用するため、様々な画像処理技術が必要とされている。それらの技術の中でも静止画像の拡大は、基本的な画像処理技術の一つであり、航空写真、衛星画像、医用画像等の多様な静止画像に適用されると共に、解像度の異なるメディア(医用画像システム、印刷用画像システム等)を結ぶのに必要な解像度変換としても利用できるため、極めて重要である。また、動画画像の拡大を行う場合、一般によく利用される手法として Super Resolution が挙げられるが、その手法を利用するためには物体およびカメラ等の動きを推定する必要があり、動きの高精度な推定が求められる。ここで、動きの高精度な推定の実現は、動画画像の拡大だけではなく、気象学における雨雲の追跡、海洋学における海流の観測、医学における血流の監視等、様々な分野で必要とされる重要な画像処理技術であり、多くの分野においてその発展に貢献することが期待できる。したがって、動きの高精度な推定の実現は、非常に有意義であると考えられる。

よく知られた静止画像の拡大法として、共 1 次補間法や 3 次畳込み補間法等が挙げられる。これらの手法は、静止画像が持つ周波数特性を維持したまま、拡大することを目的としている。一方、高周波成分を推定することを目的とした拡大手法が種々提案され、その中でも多重解像度解析に基づく手法が注目されている。その代表的な手法として、静止画像が持つ自己相似性に着目し、Iterated Function System (IFS) を用いることで静止画像の拡大を行う手法が挙げられる。しかしながら、この手法では、処理の最小単位となるブロック(以降、レンジブロック)の重なりを許しておらず、縮小写像が低近似となる場合に、拡大後の静止画像におけるレンジブロックの境界で本来存在しないはずの輝度値の変化が発生する。また、IFS による再構成は、エッジの連続性を考慮したものではないため、拡大後の静止画像において再構成されるエッジは拡大対象の静止画像中のエッジと同一の方向に対して不連続となる。一方、前述したように、動画画像の拡大において動きの推定はその拡大精度の向上に有効であると考えられる。従来より動きを推定する手法が種々提案されており、代表的な手法の 1 つとして勾配法が挙げられる。また、その勾配法の改良も多くの研究者によって行われている。Corpetti らは、動きを回転成分および発散成分に分解可能なヘルムホルツ分解定理に基づく動き推定法を提案している。この手法では、ヘルムホルツ分解定理を利用することで、回転および発散を用いた動きの推定を実現している。しかしながら、動きは、回転成分および発散成分だけでなく、平

行移動の成分のように回転および発散では表すことができない成分からも構成される。さらに、この手法では、連続する 2 フレーム間の動きが別々に推定されており、動きの推定誤差が伝播する問題を解決していない。

そこで本論文では、従来の IFS による静止画像拡大法とは異なり、拡大対象の静止画像から重なりを許して切り出したレンジブロックを用いる。これにより、レンジブロックの境界で発生する本来存在しないはずの輝度値の変化の抑制を可能とする。さらに提案手法は、拡大後の静止画像におけるエッジの連続性を保つため、新たにラインプロセスを IFS の再構成処理に導入する。それにより、エッジの連続性に着目した新たな IFS を用いた、自己相似性に基づく静止画像のモデルを実現し、連続性を保つエッジの存在を考慮した上で IFS に基づく静止画像の拡大を可能とする。また、動画像の拡大に利用する動きを高精度に推定するため、ヘルムホルツ分解定理に基づくパーティクルフィルタによる動き推定法を提案する。その実現のため、本論文では、回転成分および発散成分に加えて、平行移動の成分に分解可能なヘルムホルツ分解定理のモデルの拡張を行う。これにより、回転および発散だけでなく、他の特徴を表現することを可能とする。さらに、拡張したヘルムホルツ分解定理のモデルに基づく状態遷移モデルおよび観測モデルを用いた、動きの推定誤差の伝播を解決する新たなパーティクルフィルタを導出する。その結果、本研究では回転および発散による新たな動画像のモデルを実現し、重要な特徴に基づく高精度な動きの推定が可能となる。

本論文では、第 2 章で、静止画像の拡大を行う従来手法を紹介し、問題点について示す。さらに、エッジの連続性に着目した新たな IFS を用いた、自己相似性に基づく静止画像のモデルを実現するために、本論文で解決すべき課題について明確にする。次に第 3 章では、自己相似性に基づく静止画像のモデルを示し、エッジの連続性を考慮した IFS に基づく静止画像の高精度な拡大を実現する。本論文では、第 2 章で紹介した従来の IFS とは異なり、拡大対象の静止画像から重なりを許して切り出したレンジブロックを用いる。さらに本論文は、拡大後の静止画像におけるエッジの連続性を保つため、新たにラインプロセスを IFS の再構成処理に導入する。それにより、エッジの連続性に着目した新たな IFS を用いた、自己相似性に基づく静止画像のモデルを実現し、連続性を保つエッジの存在を考慮した上で IFS に基づく静止画像の拡大を可能とする。第 4 章では、動画像の動きを推定する従来法を紹介し、問題点について示す。さらに、回転および発散による新たな動画像のモデルを実現するために、本論文で解決すべき課題について明確にする。さらに第 5 章では、回転および発散に基づく動画像のモデルを実現する前準備として、回転および発散に基づく静止画像のモデルを示す。さらに、そのモデルを用いた、ヘルムホルツ分解定理に基づく静止画像の回転構造および発散構造の検出法を提案する。第 6 章では、回転・発散に基づく動画像のモデルを示し、ヘルムホルツ分解定理に基づくパーティクルフィルタを用いた動画像の動き推定法を実現する。本論文では、回転成分および発散成分に加えて、平行移動の成分に分解可能なヘルムホルツ分解定理のモデルの拡張を行うことで、回転および発散だけでなく、他の特徴を表現することを可能とする。さらに、拡張したヘルムホルツ分解定理のモデルから動きの推定誤差の伝播を解決する新たなパーティクルフィルタを導出する。これらにより、回転および発散による新たな動画像のモデルを実現し、重要な特徴に基づく高精度な動きの推定を可能とする。最後に、第 7 章において、本研究の成果について要約し、論文全体のまとめとする。

以上を要約すると、エッジの連続性に着目した新たな IFS を用いた、自己相似性に基づく静止画像のモデルを実現し、高精度に静止画像を拡大する手法について提案を行っている。さらに、回転および発散による新たな動画像のモデルを実現し、重要な特徴に基づく高精度な動きの推定を可能としている。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 長谷山 美 紀

副 査 教 授 山 本 強

副 査 教 授 荒 木 健 治

学 位 論 文 題 名

画像の自己相似性および回転・発散に基づくモデルの 実現とその応用に関する研究

本研究は、静止画像の高精度な拡大、および動画画像の拡大に利用する動きの高精度な推定の実現を目的として、画像の自己相似性および回転・発散に基づくモデルに関する基礎的な研究の成果をまとめたものである。

ブロードバンドの発展や様々なデジタルメディアの普及に伴い、静止画像および動画画像を有効に活用するため、様々な画像処理技術が必要とされている。それらの技術の中でも静止画像の拡大は、基本的な画像処理技術の一つであり、航空写真、衛星画像、医用画像等の多様な静止画像に適用されると共に、解像度の異なるメディア（医用画像システム、印刷用画像システム等）を結ぶのに必要な解像度変換としても利用できるため、極めて重要である。また、動画画像の拡大を行う場合、一般によく利用される手法として Super Resolution が挙げられるが、その手法を利用するためには物体およびカメラ等の動きを推定する必要がある。動きの高精度な推定が求められる。ここで、動きの高精度な推定の実現は、動画画像の拡大だけではなく、気象学における雨雲の追跡、海洋学における海流の観測、医学における血流の監視等、様々な分野で必要とされる重要な画像処理技術であり、多くの分野においてその発展に貢献することが期待できる。したがって、動きの高精度な推定の実現は、非常に有意義であると考えられる。

よく知られた静止画像の拡大法として、共 1 次補間法や 3 次畳込み補間法等が挙げられる。これらの手法は、静止画像が持つ周波数特性を維持したまま、拡大することを目的としている。一方、高周波成分を推定することを目的とした拡大手法が種々提案され、その中でも多重解像度解析に基づく手法が注目されている。その代表的な手法として、静止画像が持つ自己相似性に着目し、Iterated Function System (IFS) を用いることで静止画像の拡大を行う手法が挙げられる。しかしながら、この手法では、処理の最小単位となるブロック（以降、レンジブロック）の重なりを許しておらず、縮小写像が低近似となる場合に、拡大後の静止画像におけるレンジブロックの境界で本来存在しないはずの輝度値の変化が発生する。また、IFS による再構成は、エッジの連続性を考慮したものではないため、拡大後の静止画像において再構成されるエッジは拡大対象の静止画像中のエッジと同一の方向に対して不連続となる。一方、前述したように、動画画像の拡大において動きの推定はその拡大精度の向上に有効であると考えられる。従来より動きを推定する手法が種々提案されており、代表的な手法の 1 つとして勾配法が挙げられる。また、その勾配法の改良も多くの研究者によって行われている。Corpetti らは、動きを回転成分および発散成分に分解可能なヘルムホルツ分解定理に基づく動き推定法を提案している。この手法では、ヘルムホルツ分解定理を利用することで、回転および発散を用いた動きの推定を実現している。しかしながら、動きは、回転成分および発散成分だけでなく、

平行移動の成分のように回転および発散では表すことができない成分からも構成される。さらに、この手法では、連続する 2 フレーム間の動きが別々に推定されており、動きの推定誤差が伝播する問題を解決していない。

そこで本論文では、従来の IFS による静止画像拡大法とは異なり、拡大対象の静止画像から重なりを許して切り出したレンジブロックを用いる。これにより、レンジブロックの境界で発生する本来存在しないはずの輝度値の変化の抑制を可能とする。さらに提案手法は、拡大後の静止画像におけるエッジの連続性を保つため、新たにラインプロセスを IFS の再構成処理に導入する。それにより、エッジの連続性に着目した新たな IFS を用いた、自己相似性に基づく静止画像のモデルを実現し、連続性を保つエッジの存在を考慮した上で IFS に基づく静止画像の拡大を可能とする。また、動画の拡大に利用する動きを高精度に推定するため、ヘルムホルツ分解定理に基づくパーティクルフィルタによる動き推定法を提案する。その実現のため、本論文では、回転成分および発散成分に加えて、平行移動の成分に分解可能なヘルムホルツ分解定理のモデルの拡張を行う。これにより、回転および発散だけでなく、他の特徴を表現することを可能とする。さらに、拡張したヘルムホルツ分解定理のモデルに基づく状態遷移モデルおよび観測モデルを用いた、動きの推定誤差の伝播を解決する新たなパーティクルフィルタを導出する。その結果、本研究では回転および発散による新たな動画のモデルを実現し、重要な特徴に基づく高精度な動きの推定が可能となる。

本論文では、第 2 章で、静止画像の拡大を行う従来手法を紹介し、問題点について示す。さらに、エッジの連続性に着目した新たな IFS を用いた、自己相似性に基づく静止画像のモデルを実現するために、本論文で解決すべき課題について明確にする。次に第 3 章では、自己相似性に基づく静止画像のモデルを示し、エッジの連続性を考慮した IFS に基づく静止画像の高精度な拡大を実現する。本論文では、第 2 章で紹介した従来の IFS とは異なり、拡大対象の静止画像から重なりを許して切り出したレンジブロックを用いる。さらに本論文は、拡大後の静止画像におけるエッジの連続性を保つため、新たにラインプロセスを IFS の再構成処理に導入する。それにより、エッジの連続性に着目した新たな IFS を用いた、自己相似性に基づく静止画像のモデルを実現し、連続性を保つエッジの存在を考慮した上で IFS に基づく静止画像の拡大を可能とする。第 4 章では、動画の動きを推定する従来法を紹介し、問題点について示す。さらに、回転および発散による新たな動画のモデルを実現するために、本論文で解決すべき課題について明確にする。さらに第 5 章では、回転および発散に基づく動画のモデルを実現する前準備として、回転および発散に基づく静止画像のモデルを示す。さらに、そのモデルを用いた、ヘルムホルツ分解定理に基づく静止画像の回転構造および発散構造の検出法を提案する。第 6 章では、回転・発散に基づく動画のモデルを示し、ヘルムホルツ分解定理に基づくパーティクルフィルタを用いた動画の動き推定法を実現する。本論文では、回転成分および発散成分に加えて、平行移動の成分に分解可能なヘルムホルツ分解定理のモデルの拡張を行うことで、回転および発散だけでなく、他の特徴を表現することを可能とする。さらに、拡張したヘルムホルツ分解定理のモデルから動きの推定誤差の伝播を解決する新たなパーティクルフィルタを導出する。これらにより、回転および発散による新たな動画のモデルを実現し、重要な特徴に基づく高精度な動きの推定を可能とする。最後に、第 7 章において、本研究の成果について要約し、論文全体のまとめとする。

以上を要約すると、エッジの連続性に着目した新たな IFS を用いた、自己相似性に基づく静止画像のモデルを実現し、高精度に静止画像を拡大する手法について提案を行っている。さらに、回転および発散による新たな動画のモデルを実現し、重要な特徴に基づく高精度な動きの推定を可能としている。本研究を通じて、情報メディア工学・画像工学への大きな貢献をしたので、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があるものと認める。