画像の構成要素に着眼した消失領域の復元に関する研究

学位論文内容の要旨

本研究は、画像の構成要素に着眼した画像中に存在する消失領域の復元に関する基礎的な研究の成果をまとめたものである。

近年、放送のデジタル化や記録媒体の大容量化、高速通信網を介した映像配信の普及により、我々が扱う映像コンテンツは急速に増加している。このような状況において、画像中に存在する消失領域の復元技術は非常に多くの分野において必要とされ、様々な応用が行われている。具体的に、画像中に存在するテロップ等の不必要なオブジェクトの除去や、経年劣化した古い映像フィルムの復元、さらに、映像通信の分野において通信環境が劣悪である場合に生じる消失ブロックの補間等が挙げられる。

このような背景から、これまで画像中に存在する消失領域の復元を行う手法が種々提案されている。従来手法では、画像の重要な特徴としてエッジまたはテクスチャに注目し、消失領域内におけるこれらの要素をそれぞれ高精度に復元することを試みている。エッジの高精度な再構成を目的とした消失領域の復元手法では一般に、画像中に存在するエッジを検知し、その結果に従って復元を行う。しかしながら、消失領域に複数のエッジが通過する場合や、通過するエッジの方向が領域内において大きく変化する場合には正しく復元することが困難となる。また、確率モデルを用いて復元を行う手法では復元を行う上で、画像が弱定常である、または局所的に弱定常であるという仮定を用いている。しかしながら、自然画像はエッジ部において非定常であることが知られており、これらを高精度に再構成することは困難である。さらに、テクスチャの高精度な再構成を目的とした従来法では、画像からテストパターンとして切り出される局所画像の統計的特徴量を算出し、その結果を用いることで、消失領域中に存在するテクスチャを再構成する。ただし、従来手法では、画像中に含まれるテクスチャが一通りであると仮定している場合が多く、複数のテクスチャが画像中に存在する場合に、その性能が低下する可能性がある。

そこで、本論文では画像中に存在する消失領域を高精度に復元するため、エッジおよびテクスチャの正確な再構成に着目した復元手法の提案を行っている。本論文ではまず、従来から動画像の動き解析に用いられてきたオプティカルフローの定式化の変更を行い、静止画像中で輝度値が最も類似する画素の位置を与える指標として導入する。このように、オプティカルフローを同一の画像内において利用することができれば、精度良くエッジの検知が可能となり、消失エッジの高精度な再構成が実現される。また、本論文では確率モデルの一つであるマルコフ確率場モデルを用いた復元手法を導入し、新たな画像のモデルと併せて用いることで、消失領域の復元を実現する。具体的に、画像は複数

の弱定常な領域により構成され、異なる領域間にエッジが存在すると仮定することで、エッジ部においても正確にモデル化が可能となり、その結果、消失したエッジの正確な再構成が実現される。さらに、テクスチャの再構成手法では、カーネル主成分分析を ER(Error Reduction) アルゴリズムおよび凸射影法と併せて用いることで、画像中に存在する消失テクスチャの再構成を可能とする。提案手法では、凸射影法により収束する誤差に注目することで、消失輝度値を含む復元対象領域に対して同一種類のテクスチャの選択を可能とする。これにより、復元対象領域は同一の種類テクスチャのみから適応的に復元され、高精度な消失テクスチャの再構成が実現される。

本論文では、まず第 2 章で消失領域の再構成を行う従来手法について説明を行い、それらの手法の問題点について示す。さらに、本論文で解決すべき課題について明確にする。第 3 章では、画像中に存在するエッジを精度良く再構成する手法として、オプティカルフローを用いた消失領域の再構成法を示す。提案手法では、オプティカルフローを静止画像に適用可能となるように、定式化の変更を行う。さらに、消失領域中に存在する画素に対しても、オプティカルフローの算出を可能とするため、画素間の輝度値の相関に着眼した新たな指標を導入する。新たに導入される指標を用いて算出されるオプティカルフローを用いることで、提案手法では消失領域中に存在するエッジを精度良く再構成することが可能となる。第 4 章では、第 3 章で提案された手法を応用し、動画画像中に存在する消失領域を再構成する手法を提案する。この手法では、動画画像中の同一のフレーム内および異なるフレーム間において、それぞれ別々にオプティカルフローを定義し、これらを用いることで消失領域の再構成を可能とする。第 5 章では、確率モデルの一つである GMRF (Gaussian Markov Random Field) モデルを用いることで、エッジの正確な再構成を目的とした消失領域の復元手法を提案する。提案手法では、画像の新たなモデルを導入することで、異なる領域間においてエッジの表現を可能とする。さらに、このモデルの下で、GMRF モデルを用い、消失領域の復元を行うことで、エッジの高精度な再構成を実現する。第 6 章では、カーネル主成分分析を用い、得られる固有空間を ER アルゴリズムの拘束条件に導入することで、消失領域内のテクスチャを高精度に復元する手法を提案する。提案手法では、対象画像中で輝度値が既知の局所画像およびそれらのフーリエ振幅に対して高次元特徴空間でそれぞれ固有空間の生成を行う。さらに、高次元特徴空間へ写像される復元対象領域およびそのフーリエ振幅が、それぞれの固有空間内に存在するように ER アルゴリズムの拘束条件を設定することで、フーリエ振幅およびその位相の高精度な推定を可能とし、消失テクスチャを精度良く再構成する。第 7 章では、凸射影法を用いた消失テクスチャの再構成法を提案する。提案手法では、対象画像中に存在する局所画像に対してテクスチャの分類を行い、各クラスタの非線形固有空間を凸射影法の拘束条件に新たに導入する。さらに、凸射影法により収束する誤差を用いることで、消失輝度値を含む復元対象領域に対して同一の種類を含むテクスチャの選択を可能とする。これにより、提案手法では復元対象領域の適応的復元が可能となり、高精度な消失テクスチャの再構成が実現される。最後に、第 8 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、本論文はエッジおよびテクスチャの適応的な再構成を可能とすることで、高精度な消失領域の復元を実現する手法について提案を行っている。また、本手法を実際の自然画像に適用した実験を行うことにより、その有効性を示している。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 長谷山 美 紀
副 査 教 授 荒 木 健 治
副 査 教 授 山 本 強

学位論文題名

画像の構成要素に着眼した消失領域の復元に関する研究

本研究は、画像の構成要素に着眼した消失領域の復元に関する基礎的な研究の成果をまとめたものである。近年、放送のデジタル化や記録媒体の大容量化、高速通信網を介した映像配信の普及により、個人のユーザが保持する映像コンテンツは急速に増加している。このような状況において、画像中に存在する消失領域の復元は非常に多くの分野において必要とされている。具体的に、テロップ等の不必要なオブジェクトの除去や、経年劣化した古い映像フィルムの復元、さらに、映像通信の分野におけるエラーコンシールメントに応用が行われている。

このような背景から、これまで画像中に存在する消失領域の復元を行う手法が種々提案されている。従来手法では、画像の重要な特徴としてエッジまたはテクスチャに注目し、消失領域内におけるこれらの要素をそれぞれ高精度に復元することを試みている。エッジの高精度な再構成を目的とした従来手法では、主に画像の構造的特徴に着目した復元法と確率モデルを用いた復元法の2つに大別され、それぞれ様々な手法が提案されている。しかしながら、前者の手法では消失領域を複数のエッジが通過する場合や、通過するエッジの方向が領域内において大きく変化する場合に、これらを正しく復元することが困難となる。また、後者の手法では画像が弱定常である、または局所的な弱定常であるという仮定を用いており、一般に非定常となるエッジ部において高精度な再構成を行うことが困難となる。さらに、テクスチャの高精度な再構成を目的とした従来手法では、画像中に含まれるテクスチャが一通りであると仮定している場合が多く、複数のテクスチャが存在する場合に、その性能が低下する可能性がある。

著者は、本論文においてこれらの問題を解決すべく、画像の構成要素に着眼した復元手法の提案を行っている。まず、エッジに注目した復元手法では、定式化の変更を行ったオプティカルフローおよび新たな画像のモデルを導入したマルコフ確率場モデルを用いることで、従来手法において生じた問題の解決を可能とした。また、テクスチャに注目した復元手

法では,ER アルゴリズムによるアプローチ,さらに凸射影法を用い,その収束誤差に注目する新たなアプローチを導入することで,適応的な消失テクスチャの再構成を可能とした.これにより,従来手法で問題となっていた複数のテクスチャが画像中に存在する場合において,高精度な消失領域の復元が実現された.

以下,章を追って論点を述べる.まず,第2章では,消失領域の再構成を行う従来手法の問題点を示し,さらに本論文で解決すべき課題を明確にした.第3章では,画像中に存在するエッジを精度良く再構成する手法として,定式化の変更を行ったオプティカルフローを用いて消失領域を復元する手法を示した.第4章では,第3章で提案された手法を動画像へ応用し,同一フレーム内および異なるフレーム間で定義される2つのオプティカルフローを用いることで,動画像中に存在する消失領域を再構成する手法を提案した.第5章では,画像の新たなモデル化を行い,このモデルの下で GRMF モデルを用いることにより,エッジの正確な再構成を可能とする消失領域の復元手法について説明を行った.第6章では,対象画像中の局所画像およびそれらのフーリエ振幅に対して算出される非線形固有空間を ER アルゴリズムの拘束条件に導入することで,消失領域内のテクスチャを高精度に復元する手法を提案した.第7章では,対象画像中に存在する局所画像に対してテクスチャの分類を行い,各クラスタの非線形固有空間を凸射影法の拘束条件に新たに導入した消失領域の復元手法を提案した.この手法では,凸射影法により収束する誤差を用いることで,消失輝度値を含む復元対象領域に対しても,同一種類のテクスチャの選択を可能し,消失テクスチャの適応的復元を実現した.第8章において,著者は本研究の成果について要約し,論文全体のまとめを行った.

以上を要約すると,著者は,高精度な消失領域の再構成を実現するために,エッジやテクスチャ等の画像を構成する重要な要素について分析を行い,新たな画像のモデルを導入することで,適応的な復元手法の提案を行った.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.