

論文の内容の要旨

画像・映像理解のためのノイズ特性推定とその応用

小林 理 弘

従来、信号処理の分野において、ノイズは信号を阻害するものであり、除去すべきものであるという認識が広く持たれてきた。コンピュータビジョンの分野においても、画像や映像のノイズ除去は黎明期から積極的に研究されてきたトピックであり、今日においてもなお重要な課題の1つとして扱われている。

一方、ノイズをただ排除するのではなく、ノイズの特性に着目し、積極的に利用することを目指す研究が近年注目されてきている。微小信号とノイズの振る舞いに関する研究は天文学の分野で興り、その後物理・化学・生物分野においても同様の研究が報告されている。

このような背景を踏まえ、本研究では画像や映像を対象としたノイズ特性の推定とその応用を目指す。先に述べたように、コンピュータビジョンの分野においても画像や映像に含まれるノイズの解析は伝統的な研究分野であるが、その多くはノイズ除去に関する研究であった。しかし、画像や映像の取得の背景には物理的・光学的な特性が隠れている以上、信号処理の過程で含まれるノイズの特性には信号に関する有益な情報が含まれていると考えられる。本研究では物理的ノイズと計測誤差なる起源を異にする2種類のノイズを対象とし、各ノイズに関してその特性を推定し、応用することを目指す。いずれのノイズも信号や推定値の精度を悪化させる原因ともなるが、その振る舞いを正しくモデル化し、特性を推定することにより、取得した画像や映像の理解に役立てることができることを示す。

まず1つ目のノイズとして、物理的なノイズに着目した応用例を提案する。具体的には固定カメラで撮影された映像を対象とし、ノイズレベル関数と呼ばれる画素値の平均と分散を結ぶ関係式を改ざんの手がかりとして、映像内の改ざんを検出する手法を提案する。提案手法は与えられた映像からノイズ特性を求め、各領域のノイズレベル関数を推定する。ノイズレベル関数はカメラや撮影時のパラメータに依存するため、ノイズレベル関数の一貫性を評価することによって他の映像から貼り付けられた領域を検出することができる。

はじめに静止シーンの仮定の下で提案手法の基本的な有効性を検証する。静止シーンでは各画素の時間方向の輝度変動はノイズのみに起因するので、時間方向に平均と分散を計算し、各画素のノイズ特性を求めることによりノイズレベル関数を推定することができる。

改ざん箇所のノイズ特性はノイズレベル関数の推定において外れ値として振舞うため、ロバスト推定を用いて推定を行う。推定された関数からある閾値以上離れたノイズ特性をもつ画素は改ざんを見なすことができる。しかし、ロバスト推定は決定論的な関数の推定手法であるため、判別境界付近の画素を正しく検出することが難しい。そこで次に、ノイズ特性の確率的なモデルを仮定し、最尤推定の枠組みを用いた推定手法を提案する。改ざんの有無を潜在変数とする混合分布モデルを導入し、EM アルゴリズムを用いて改ざんの事後確率とノイズレベル関数の推定を同時に行うことにより、確率的に改ざんの確率を推定する。

続いて移動物体への対応を目指し、提案手法を拡張する。移動物体の場合、実空間において対応する点を追跡しながら分散を計算する必要があり、単純な時間方向の計算によってノイズ特性を求めることができない。しかし、前景の移動物体を画素精度で追跡することは技術的に困難であるので、領域的な追跡によってノイズ特性を求めるアプローチを取る。固定カメラを仮定すると、背景のノイズレベル関数は静止シーンと同様に求めることができる。空間的な分散にはノイズとテクスチャの成分が含まれるが、ノイズの成分は背景のノイズレベル関数から推定することができる。よって、残ったテクスチャの成分の時間的な一貫性を検証することにより、ノイズ特性の一貫性を検証することができる。

次に2つ目のノイズに対する応用例として、計測誤差に起因するノイズの特性と伝播に着目して、アルゴリズムの推定精度を向上させることを目指す。コンピュータビジョンのアルゴリズムの多くは用いる値の一部を既知と仮定し、実際の実験では予め校正により値を求めておく。しかし、現実的には校正にも誤差が混入し、アルゴリズムの推定値にも影響を与えるが、一般に校正誤差の影響はアルゴリズムには組み込まれていない。本研究では照度差ステレオからの形状復元に着目し、照明方向の校正誤差を考慮した形状復元の手法を提案する。照度差ステレオの多くは照明の方向を予め別の手法によって校正しておくが、光源方向の推定にも誤差が生じるため、その影響は推定された形状の法線や復元形状にも伝播する。

ノイズを考慮した形状復元の手法はこれまでに研究されてきているが、これらの手法は勾配に対して正規ノイズが混入した確率モデルを仮定し、最尤推定の枠組みで3次元形状を復元する。しかし、勾配に対するノイズモデルは経験的な仮定であり、また勾配は遮蔽輪郭線において発散するため、有限精度の計算機には不適である。一方、本研究では光源方向の校正誤差にもとづく確率モデルを導入し、校正誤差が物体形状の推定に与える影響を検証する。単位ベクトルである光源方向や法線の揺らぎを球面上の正規分布であるフィッシャー分布によってモデル化する。フィッシャーノイズモデルにもとづく最尤推定を用いた形状復元の手法を提案し、校正誤差を考慮することによって形状復元の精度を向上させることを目指す。

以上のように、本研究では異なる特性を持つノイズを対象としながらも、そのノイズ特性を推定することにより、画像・映像の理解や計算精度の向上に役立てることができるこ

とを示す。長年に渡ってノイズ除去の手法が研究されている一方、ノイズ除去には物理的・技術的限界がある以上、本研究で提案するノイズの積極的な活用は、情報処理の新たな方針を与えるという点で重要であると言える。