

論文の内容の要旨

論文題目 実環境センシングのための局所的な画像特徴に 基づいたフロー推定法と画像予測法に関する研究

氏 名 境野 英朋

1. 研究の背景

近年、自然環境や生活環境といった実環境のモニタリングや監視、警報、予報の必要性が高まってきており、カメラ画像の利便性を活かした画像センシング研究に注目が集まっている。その要素技術としては、画像処理やコンピュータビジョンに基づいて、観測する対象に関する画像特徴の推定、解析、予測があり、このような処理を通じて、膨大化しつつある時系列画像情報の大幅な削減や各種情報端末への有益な情報配信がなされつつある。

対象の画像特徴については、重心位置や表面形状などが時間と空間で変化しているという大きな特徴がある。そのため、対象の動きを推定・解析するフロー推定法が重要となっている。また、推定されたフローを活かして、現在から次の時刻以降の状態や様子を知るためのリアルな画像予測法が必要となっている。しかし、これまでのモデルや方法は照明条件を一定とした屋内実験環境や人工物を対象としたものが多く、屋外の対象、特に、流体状の自然現象を扱った例は稀であった。また、対象の大局的な画像特徴に基づいたモデリングが多く、環境外乱やノイズが著しい場合や対象の変形自由度が高い場合あるいは表面形状やテクスチャ(模様)が粗い場合、データの分解能不足などが問題視されていた。

フロー推定法として活発に研究が進められているのは勾配法であり、輝度やフローなどに関する拘束条件に基づく様々な目的関数が提案されているが、以下のような課題があった。一つ目の課題は、拘束条件間のバランスを左右するモデルパラメータにおいて、局所的な画像特徴の違いにも関わらず、経験的に画像全体で一つのパラメータ値が設定されているために局所的にフローが乱れてしまうことであった。二つ目の課題は、環境外乱が著しく、対象が重って見え隠れがある場合においても、大局的な画像特徴による対応づけを行っているため、対象以外の余分な背景のフローを同時に推定してしまうことであった。三つ目の課題は、変形自由度の高い流体状画像において、流れの向きが急激に変化するときに対応したフローが推定・解析できないことである。

一方で画像予測法は、過去から現在の画像情報に基づいて未来の画像を外挿するものであり、様々な画像予測関数が提案されてきた。しかし、メッシュモデルなどの大局的な画像特徴に基づいているた

めに、予測画質の品質が低いという問題があった。よりリアルな表現のためには、表面形状やテクスチャといった局所的な画像特徴を利活用できるような高い表現をもった画像予測関数が求められてきた。

2. 研究の目的

そこで本研究では、高精度な実環境画像センシングを実現するために、局所的な画像特徴に基づくフロー推定法と、推定されたフローに基づいた画像予測法を提案することを目的としている。

まず、フロー推定法では、表面形状やテクスチャの変化のある時系列的な画像間から局所的な画像特徴に基づいた目的関数、特に、変形自由度が大きい対象に関する物理的な表現に対処できる物理モデルに基づいた目的関数を提案している。次いで、画像予測法では、過去から現在までの画像からリアルな画像を生成・予測するために、局所的な画像特徴について、特に、直近や未来において移動・変形を繰り返していくような対象に関する物理的な表現ができる物理モデルに基づいた画像予測関数を提案している。

3. 論文の構成と各章の研究概要

本論文は8章から構成されている。第1章は序論であり、第2章～第4章はフロー推定に関して、第5章～第7章は画像予測に関して述べている。第8章は結論である。以下では、第2章～第7章の研究概要を述べる。

第2章は、「局所的な画像特徴に応じたモデルパラメータの最適化法」と題し、勾配法で広く用いられているHorn&Schunck (HS)法において、そのモデルパラメータの一つであるフローの滑らかさの拘束条件に対する重み係数に関して画像の局所的な画像特徴に基づいて最適化する方法について提案している。

まず、従来法では得られていなかった局所的な画像特徴と重み係数の関係について効率よく解析するために、フーリエ変換に基づいたテクスチャ解析が広く用いられていることから正弦波画像の振幅から得られる輝度の標準偏差と波数をさまざまに変えた画像を生成した。次に、生成した正弦波画像ごとに目的関数を最小化する重み係数を得て、これを最適な重み係数とした。実験において、提案手法が局所的な画像特徴に応じた複数の重み係数を用いているため、一つの重み係数を用いる従来法よりもフロー推定精度が2倍近く向上することを示している。

第3章は「局所的に見え隠れのある対象のフロー推定法」と題し、環境外乱や対象間で見え隠れする場合において、局所的な画像特徴に基づいたフロー推定のための目的関数について述べている。

提案手法ではわずかに見える対象間の局所的な画像特徴の対応づけのために、輝度変動モデルとフローの局所的な平行性の拘束条件を導入し、さらにノイズなどの外れ値の影響を抑制するロバスト推定法に基づいた目的関数を提案している。これにより従来法のように背景と対象の双方からのフローが

混在して推定される問題を解決している。実験では降雪により見え隠れが生じている交通シーンにおいて、提案手法によれば従来法では得られなかった走行車両のフローが得られることを示している。

第4章は、「局所的に変形自由度のある対象のための物理的なフロー推定法」と題し、局所的に変形自由度の高い画像に応じたフロー推定を実現するために、その局所的な画像特徴について物理的な表現に基づいたフロー推定法について述べている。これまでのフロー推定法は一定領域内での流量の出入りが一定という大局的な画像特徴に基づいていたため、急激に流れが変わるようなフローが得られなかった。そこで提案手法では表面形状やテクスチャといった局所的な画像特徴をうまく捉えられる物理的な表現を考え、波生成理論から導かれる波物理モデルに基づいた目的関数を提案している。実験において、提案手法により水面の流れが壁との衝突で生じるような局所的なフローが推定・解析できることを示している。

第5章は、「局所的な画像特徴の時空間的な外挿のための物理的な予測モデルの検討」と題し、変形自由度のある実画像を時空間的に外挿して画像を生成・予測するために、物理的な表現を取り入れた画像予測関数と予測モデルについて述べている。これまではメッシュモデルという対象の大局的な画像特徴に基づいたものであったが、本章ではよりリアルな表現のために対象の局所的な画像特徴、特に、フローを活かせる物理的な表現ができる画像予測関数を勾配法の基本的な拘束条件より導出している。この関数は流体力学で知られている移流式と同形式の物理モデルである。また、画像を移流式に用いた画像の予測過程において、リアル性を保つための数値解法とフローと輝度に関する予測モデルについて検討し、予測精度を2倍近く改善できる画像予測関数について示している。

第6章は、「局所的な画像特徴の短時間先予測」と題し、時系列画像からの局所的な画像特徴として推定されたリアルなフローと輝度に基づいた短時間先の画像予測について述べている。これまでは過去から現在までの膨大な時系列画像を特殊な関数に学習する方法などといった大局的な画像特徴に基づいていたため、対象の局所的な画像特徴が短時間先でも失われていた。そこで本章では、局所的な画像特徴を外挿するために、画像間からリアルなフローを推定し、移流式を用いて短時間先までの画像を予測生成している。実験において、提案手法が従来法よりも予測精度を4倍近く改善したリアルな画像予測ができることを示している。

第7章は、「局所的な画像特徴の長時間先予測」と題し、時系列画像からの局所的な画像特徴として推定されたリアルなフローと輝度に基づき、長時間にわたって移動と変形を繰り返していくような対象に関する画像予測について述べている。長時間先までの画像予測が必要とされているものに気象レーダ画像を用いた雨の広がりや量に関するものを挙げることができる。しかし、従来法は一定画像領域ごとに線形外挿するという大局的な画像特徴に基づいていたため回転予測などに対応できなかった。そこで本章では局所的な画像特徴である輝度とフローの双方を時空間的に予測変化させることで従来法よりも30%以上予測精度が向上している。提案手法は全国を予報エリアとして実用化され、多くのユーザ

に台風や集中豪雨に対するきめ細かい予測情報が配信されるようになっている。これにより提案したフロー推定法と画像予測法の有用性と有効性を示している。

4. 結論

本論文では、高精度な実環境画像センシングを実現するために、局所的な画像特徴に基づいたフロー推定法と、推定されたフローに基づいた画像予測法を提案した。

まず、フロー推定法では、モデルパラメータの最適化によりフロー推定精度を2倍以上に改善したことをはじめとして、特に、これまで困難であったような急峻な流れを推定できる新しい目的関数を創出できた。

次いで、画像予測法では、リアルな実画像を生成・予測できる新しい画像予測関数を導出した。特に、長時間予測では従来法よりも 30%以上予測精度を向上させることができ、システムとして実用化したことで数多くのユーザに生活に役立つ予報の配信を実現できた。

以上より本論文はフロー推定法と画像予測法の有用性と有効性を示し、画像センシングの基盤技術の構築に寄与したと同時に、扱いつらいとされてきた実環境画像に基づいた多くの工学的な応用に貢献するものである。