

審査の結果の要旨

論文提出者氏名 魏 大比

オプティカルフローとは、運動する対象を撮像した際に像上に表れる明暗の流れ場のことであり、その計測には、三次元立体検出、画像認識、流体の流速分布計測などの幅広い応用がある。しかし、従来法には空間・時間解像度の制約、開口問題、理論的近似による誤差などの多くの問題点があり、十分満足すべき方法は未だ確立されてはいない。本論文は、近年実用化に向けて開発が進められている時間相関型イメージセンサをオプティカルフロー検出に導入し、これにより可能になった複素変調撮像法を理論的に定式化してオプティカルフローの直接代数解法を導出し、それを数値シミュレーションと実機実験によって確認するとともに、この方法論の理論的拡張と応用に向けた展開を通して、運動物体の検出と解析に新しい可能性を示したもので、全体で10章から構成されている。

第1章の序論においては、オプティカルフロー推定の問題の概要を紹介し、近年の高機能イメージセンサ研究の流れに言及しつつ、本論文の基調をなす理論的研究と新しい撮像原理の研究の一体化による問題解決の重要性を論じている。

第2章は「従来のオプティカルフロー推定アルゴリズム」と題し、空間フィルタ法とオプティカルフロー制約式に基づく方法に関して基本原理を紹介し、空間的な解像度や対象のパターンに関する制約、速度場の滑らかさの要求、微分の差分による近似誤差などの問題点を示し、これらを解決することが本論文の主題であると述べている。

第3章は「時間相関イメージセンサと複素正弦波変調撮像法」と題し、時間相関イメージセンサに一定周波数の三相参照信号を供給しつつ運動する対象を撮像する複素正弦波変調撮像法を導入し、いくつかの撮像例を示すとともに、その情報変換構造を数式化し時空間周波数空間で基本的な性質を示している。

第4章は本論文の中心をなす章であり、「時間相関イメージセンサを用いたオプティカルフロー計測」と題し、オプティカルフロー偏微分方程式の有限時間荷重積分によって速度ベクトルの厳密な代数方程式を得る独自の方法論を展開している。具体的には、前提となる偏微分方程式とその荷重積分との同値条件を示し、次に複素正弦関数を荷重関数に用いて得られる代数方程式においては多くの荷重積分と積分境界値が同一となることを示し、結果として時間相関イメージセンサの単一画素、単一フレームのみによって速度場が決定できることを証明している。さらに開口問題の条件を導いて従来法に対する改善点を明示し、さらにこれらを数値実験と実機実験により確かめている。

第 5 章は「オプティカルフロー恒等式の諸性質」と題し、前章で導いた新しい方法論に関する諸性質を理論と実験により調べている。具体的には、最適な参照信号周波数の選択方法、正弦波以外でオプティカルフローを計算可能な参照信号の条件、直流と他の 1 周波数のオプティカルフロー拘束式が速度場決定の必要条件を与えることの証明などである。

第 6 章は「時空間荷重積分による厳密解法」と題し、荷重積分の方法論を空間方向の積分に拡張し、同じく厳密代数解法が得られることを理論的に示している。

第 7 章は「異なる運動の合成画像のオプティカルフロー」と題し、提案する方法論を二つの異なる運動対象の明暗の和のオプティカルフロー検出に拡張し、同じく厳密解法が得られることを示し、数値シミュレーションによる確認の結果を報告している。

第 8 章は「アプリケーション 1 : ボケた画像の復元」と題し、速度場と同時に決定される積分境界値を利用して、フレームの前端時刻と後端時刻の静止画像を再構成するアルゴリズムを提案し、数値実験と実機実験による検証結果を報告している。

第 9 章は「アプリケーション 2 : 追跡」と題し、提案する方法を動き回る人の追跡へ応用し、実験結果を報告している。室内においては明度変調された LED の同期検出により精密に追跡し、室外ではオプティカルフローにより粗く追跡している。

第 10 章は結論であり、以上の成果を総括し将来の発展方向を論じている。

以上、要するに、本論文は、時間相関イメージセンサを利用する複素正弦波変調撮像法の方法論を確立し、これまでのオプティカルフロー検出法の欠点の多くが克服可能であることを示すとともに、空間方向へ理論的拡張、複数の運動の分離やボケた画像の復元などへの展開について論じたもので、本研究で展開された方法論は今後の計測技術・画像処理技術の発展に大きな波及効果が期待でき、システム情報工学上の貢献が十分にあると判断される。よって、本論文は博士(情報理工学)の学位請求論文として合格と認められる。