

氏名(本籍)	武田 翔一郎				
学位の種類	博士(工学)				
学位記番号	博甲第 10012 号				
学位授与年月日	令和 3 年 3 月 25 日				
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当				
審査学術院	理工情報生命学術院				
学位論文題目	Robust and Fast Eulerian Video Magnification for Practical Applications (実用化に向けた頑健で高速なオイラービデオマグニフィケーション)				
主査	筑波大学	教授	博士(工学)	三谷 純	
副査	筑波大学	教授	博士(工学)	福井 和広	
副査	筑波大学	教授	博士(工学)	亀山 啓輔	
副査	静岡大学	准教授	博士(情報理工学)	岡部 誠	
副査	筑波大学	准教授	博士(情報理工学)	金森 由博	

## 論文の要旨

映像として撮影された、呼吸に伴う胸の動きや心臓の拍動に伴う血色の変化などは、微小な変化であるため人間の肉眼では気づきにくい。本審査論文で扱われている Video Magnification とは、このような映像中の微小な変化を検出・強調し、人間が明瞭に認識できるように加工する映像処理技術である。しかし従来の Video Magnification には、1) 素早く大きい動きが含まれると微小変化の検出に失敗する、2) 撮像ノイズの影響を受けやすい、3) 計算時間が長い、といった問題がある。本審査論文では Video Magnification の実用化に向けて、これら 1) ~ 3) の問題に対する解決策を提案している。1) については、各画素で観測される信号をテイラー展開による多項式近似で表現した場合に、素早く大きい動きが 3 階微分の項に現れると仮定し、その 3 階微分係数(躍度)に基づいて、素早く大きい動きの影響を抑制する時系列フィルタを設計している。また、空間的に異なる大きさの動きを捉えるため、画像ピラミッドを利用し、粗い階層で捉えた動きを細かい階層に伝播させる仕組みも考案している。2) については、撮像ノイズによる時間的位相変化が等方性の分布を示すのに対し、物理現象由来の動きでは異方性の分布を示すことに注目し、異方性比率に基づいて撮像ノイズを低減させる時系列フィルタを提案している。また、テクスチャの少ない領域で撮像ノイズの影響が大きくなることから、画像ピラミッドの各階層間で共通して振幅変化の大きい領域を検出・強調することで、テクスチャの少ない画像領域での撮像ノイズの影響を抑えることを実現している。3) については、画像ピラミッドの各階層間で強調される部分が共通していることから、より粗い階層で強調すべき領域を特定・強調し、その結果をより細かい階層に伝播させる手法を提案している。処理すべき画素数が抑えられることにより、最大で 2 倍程度の高速化を達成できている。以上の貢献により、Video Magnification の頑健性と計算速度を改善し、実応用に向けて大きく前進させるものである。

## 審査の要旨

### 【批評】

武田翔一郎氏は Video Magnification という映像処理技術の実用化に向けて、論文の要旨に挙げた 3 つの問題、すなわち 1) 素早く大きい動きが含まれると微小変化の検出に失敗する、2) 撮像ノイズの影響を受けやすい、3) 計算時間が長い、という 3 つに取り組み、大きな成果を上げた。それらのうち 2 つは、武田氏が修士課程まで取り組んでいた、脳神経信号処理分野の知見を活かしたものである。具体的には 1) における躍度、2) における異方性比率の導入が該当する。1) については素早く大きな動きを無視しつつ微小な変化を検出・強調できていることを、2) については撮像ノイズの影響を、テクスチャのない領域も含めて低減できていることを、既存手法との定性比較および、シミュレーションデータを用いた定量比較において実証している。これらの成果は、コンピュータビジョン分野で世界最高峰の国際会議である Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR) にそれぞれ論文が採択されるなど、世界的に高く評価されている。3) については、高速化の度合いが最大で 2 倍程度に留まっているものの、GPU 実装と併用することによってさらなる高速化が見込まれる。今後の課題として、Video Magnification のさらなる頑健化および高速化が挙げられる他、映像に限らず、音声や言語も含めた微細信号を強調する枠組みである、Multimodal Magnification という構想も検討されている。

本研究は全体的に完成度が高く、口頭試問ではいずれの審査員からも高い評価を受けた。質疑の際には様々な観点から議論が交わされた。例えば、信号処理に基づく本研究と深層学習の関係について議論があった。具体的には、現状の教師あり学習ベースの深層学習手法では訓練データへの依存性が高いため、信号処理に基づく提案手法に分があるものの、映像中の被写体に対して意味的領域分割を前処理として施すなど、深層学習に基づく手法を併用することによって、より高度な強調が実現できる可能性が言及された。特に将来の展望で挙げられた Multimodal Magnification において、人間の理解が難しい高次相関を扱う場合に有効かもしれない、とのコメントがあった。また、手法の制限に関して、フレームレートについての議論もあった。特に 1) の提案手法は微分値に基づくため、フレームレートが低い場合は強調すべき微細信号をそもそも捉えられない可能性がある。その場合はハイスピードカメラの利用が必要となる。

### 【最終試験の結果】

令和 3 年 2 月 4 日、理工情報生命学術院において、学位論文審査委員の全員出席のもと、著者に論文について説明を求め、関連事項につき質疑応答を行った。この結果とシステム情報工学研究群情報理工学位プログラムにおける達成度評価による結果に基づき、学位論文審査委員全員によって、合格と判定された。

### 【結論】

上記の学位論文審査ならびに最終試験の結果に基づき、著者は博士（工学）の学位を受けるに十分な資格を有するものと認める。