

## 審査の結果の要旨

氏 名 陸 峰

本論文は「Toward Constraint-Free Gaze Estimation with Unrestricted Head Motion」（自由な頭部運動を伴う拘束の少ない視線推定技術の開発）と題し、頭部姿勢を制限することなく単眼カメラのみを用いて撮影した顔画像から対象人物の視線方向を推定するという問題に対し、少ない学習用画像を用いた高精度な視線推定、任意頭部姿勢に対応した学習用目画像の生成、視線推定精度低下の主要因への対応、頭部姿勢変動による視線推定誤差に対する補償という、アピアランススペースの視線推定を実現するにあたり問題となる課題のそれぞれについて、解決の枠組みを示したものであり、英文で記され全体で6章により構成される。

第1章「Introduction」（はじめに）では、本研究の背景と目的について論じた後、視線推定における2つのアプローチ、すなわち目画像の見え全体を用いるアプローチ（アピアランススペース）と、瞳中心や目端点といった特徴点の位置関係を用いるアプローチ（モデルベース）のそれぞれについて利点と欠点を整理し、本論文においてアピアランススペースのアプローチに着目する理由について述べている。その上で、アピアランススペースのアプローチによって、頭部姿勢を限定することなく高精度な視線推定を実現するために解決すべき課題をまとめた上で、本論文で提案する解決策の概要を述べている。

第2章「Gaze estimation via adaptive linear regression」（適応的な線形回帰による視線推定）では、アピアランススペースのアプローチにより精度良く視線を推定しようとする場合、多数の学習用画像が必要となってしまうという根本的な課題を解決するための枠組みを提案している。アピアランススペースの視線推定は、目画像を表現する高次元特徴空間から視線方向を表現する低次元特徴空間への射影の問題と捉えることができるが、既存のアピアランススペース視線推定では各特徴空間における局所線形性を仮定した射影が用いられてきた。そのため、局所線形性が成り立つためには、既知の視線方向を見た際の学習用目画像を多数集めなければならないという根本的な課題が存在した。これに対し、本論文では、視線方向を推定しようとする目画像が与えられたとき、目画像特徴空間においてその目画像を近傍の学習用目画像による線形結合で表現するのではなく、L1ノルム最適化にもとづくスパース表現を導入することにより、近傍以外の少数の学習用目画像による線形結合で表現するという考え方にもとづき、適応的線形回帰の枠組みを新たに提案することによって、アピアランススペースの視線推定における学習用目画像の枚数の問題を解決している。

第3章「Training image synthesis for new head poses」（新しい頭部姿勢に対する学習用目画像の生成）では、任意頭部姿勢に対応した学習用目画像の自動生成手法を提案している。同じ視線方向であっても頭部姿勢が変化すると目の見え方が変化してしまうことから、ある頭部姿勢の下で集められた学習用目画像では別の頭部姿勢での視線方向を上手く推定できない。この問題を避けるためには、様々な頭部姿勢・視線方向に対する学習用目画像が必要となるが、学習用画像の枚数が膨大となり現実的でない。この問題に対し、本論文では、1次元画素フローモデルと呼ばれるモデルを新たに考案し、一つの頭部姿勢下で収集した学習用目画像の他に、頭部姿勢を変化させた4枚の学習用目画像のみを準備することにより、任意の頭部姿勢下におけるさまざまな視線方向に対応する目画像の合成を実現した。

第4章「Handling alignment, resolution change and blinking」（目画像の位置合わせ、解像度の変化、

瞬きに対する対応) では、アピアランスベースの視線推定において視線推定精度低下の主な要因となる、目画像の切り出し位置のズレの問題と目画像の解像度変動の問題に対し、第2章で提案したスパース表現にもとづく適応的線形回帰の枠組みを拡張することで解決を図っている。また、瞬きが生じている間は視線推定に大きな誤差を生じるため、瞬きを精度良く検出手法も提案している。

第5章「Gaze compensation for head motion」(頭部の動きに対する視線推定の補償) では、頭部姿勢の変化により生じる視線推定の誤りに対して、頭部姿勢変動に起因する誤差成分を予めモデル化しておき、推定された視線方向から取り除くという考え方に基づく補償方法を提案している。

第6章「Conclusions」(まとめ) では、本論文における主たる成果をまとめるとともに、今後の課題と展望について述べている。

以上これを要するに、本論文は、特殊な計測装置を用いることなしに、自由な頭部姿勢を許容した条件の下で対象人物の視線を精度良く推定するという課題に対し、適応的な線形回帰による少数学習画像からの視線推定手法、任意の頭部姿勢に対する学習用目画像の生成方法、目画像の切り出し位置のズレ・解像度変化・瞬きという視線推定精度低下の主要因への対応策、頭部姿勢変動により引き起こされる視線推定誤差への補償法を提案し、評価実験によってその有効性を検証したものであり、電子情報学上貢献するところが少なくない。

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。