Inside-out カメラにおける眼球の輻輳量からの注視点の距離推定

EP07052 後藤祐斗　　指導教授：藤吉弘亘

1. はじめに

人の眼球と視界を同時に撮影可能な Inside-out カメラは，注視点の 3 次元位置の推定に用いられ，両目の眼球画像から視界画像上の注視点を求め，ステレオマッチングにより 3 次元位置を求める手法が提案されている [1]．しかし，ステレオマッチングは視界カメラの画角に依存するため，広範囲の 3 次元注視点位置を求めることができないという問題がある．そこで，本研究では奥行き変化によって生じる輻輳開散運動を用いて注視点の距離を推定する手法を提案する．

2. Inside-out カメラ

Inside-out カメラ [1] は，図 1 に示すように，ゴーグル型の装置上部に眼球を撮影する Eye カメラと，下部に外界を撮影する Scene カメラで構成された視線計測装置である．Eye カメラは，赤外ミラーを介して，眼球を近赤外画像で撮影することができる．Scene カメラはハーフミラーを介すことで，カメラを人の視点と光学的にほぼ同一の位置から撮影することができる．

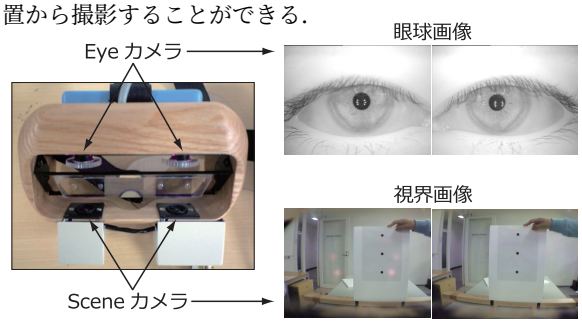
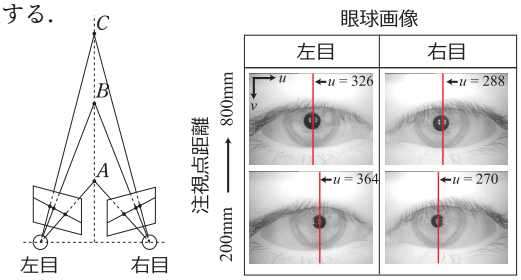


図 1：Inside-out カメラ

3. 輻輳開散運動と注視点距離推定

輻輳開散運動は，注視対象の奥行き変化に対応して発生する眼球運動で，両目が同時に反対方向へ動く非共役眼球運動である．図 2 に示すように，対象の距離によって視線の位置が異なる．このように，輻輳開散運動に着目することで対象との距離を推定できると考えられる．そこで本研究では，Inside-out カメラの眼球画像から画像処理によって得られた眼球パラメータを用いて注視点までの距離を推定する．



(a) 視線位置変化　　(b) 瞳孔位置変化

図 2：注視対象の距離変化による眼球パラメータの変化

3.1. 画像処理により得られる眼球パラメータ

輻輳開散運動によって注視点距離を推定するために眼球画像から得られた眼球パラメータを用いる．眼球パラメータには，図 3 に示すように，瞳孔中心座標 P_C と角膜反射像 P_p との差，瞳孔の輻輳量 V，瞳孔の長径 a と短径 b，長径の回転角 r がある．これらの眼球パラメータの組み合わせから，回帰分析により注視点距離を推定する．

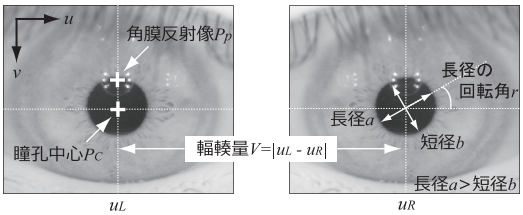


図 3：画像処理から得られる眼球パラメータ

3.2. 回帰分析による注視点の推定

式 (1) から，注視点までの距離 D と入力パラメータ $\boldsymbol{X}$ により，変換パラメータ $\boldsymbol{a}, \boldsymbol{b}$ を求める．求めた変換パラメータに未知の入力をすることで注視点距離の推定値を算出できる．

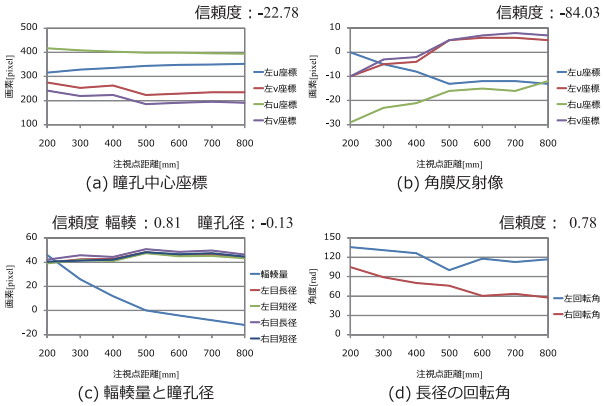
$$D = \boldsymbol{a}\boldsymbol{X} + \boldsymbol{b} \tag{1}$$

4. 実験

被験者に 100mm 間隔で移動する 200mm〜800mm の間に配置されたランドマークを用いて推定実験をする．

4.1. 入力パラメータの信頼度評価

各眼球パラメータと注視点距離を回帰分析し，推定誤差から求める信頼度を用いて距離推定に有効であるパラメータを調査する．各眼球パラメータの注視点距離毎の変化と信頼度を図 4 に示す．図 4 の結果から，輻輳量と瞳孔径，長径の回転角といった注視点距離と相関が高いパラメータから信頼度が得られることがわかる．よって，これらを入力として用いる．



(a) 瞳孔中心座標　　(b) 角膜反射像

(c) 輻輳量と瞳孔径　　(d) 長径の回転角

図 4：各パラメータの距離との信頼度

4.2. 注視点距離推定の比較実験

輻輳量と瞳孔径，長径の回転角を入力パラメータとした提案手法の有効性を示すため，従来法である清水らの手法 [1] と比較実験をする．各手法の Z 軸における注視点の真値と推定値の誤差を図 5 に示す．図 5 の結果より，提案手法の推定精度は従来法より平均誤差で 60mm 低いが，従来法では推定不可能な非ステレオ点に対し，正面視と同程度の精度で推定することができた．さらに，従来法では注視点 1 点の推定に平均 39msec 要する処理時間を，提案手法では平均 4msec でリアルタイム推定が可能である．

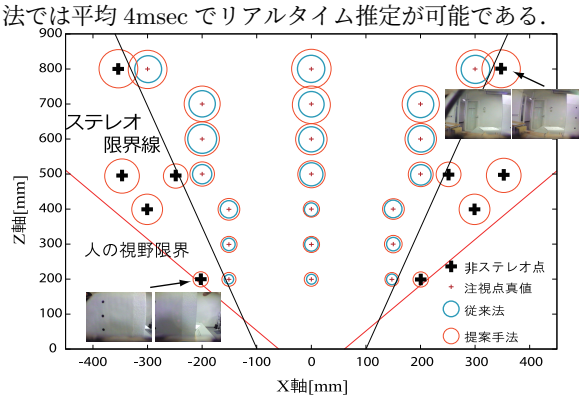


図 5：注視点距離推定結果

5. おわりに

本研究では，奥行き変化に対応して発生する輻輳開散運動から注視点距離を推定する手法を提案した．今後は提案手法の推定精度を向上させることを課題とする．

参考文献

[1] 清水彰一，西尾和晃，木村誠，藤吉弘亘，“First Person Vision のための Inside-out カメラの提案”，電子情報通信学会技術研究報告，電子情報通信学会，2010-05-13，Vol.110(28)，pp47-52