

画像方式眼球運動測定装置において注視点校正に角度補正を用いる方法

5 K-2

早見 武人 志堂寺 和則 松永 勝也

九州大学大学院システム情報科学研究科

1 はじめに

眼球をビデオカメラで撮影する方法を用いた、視点追跡を目的とした眼球運動測定装置は、一般に調整が容易であるといわれている。しかし被験者の眼軸（瞳孔の中心と回転の中心（回旋点）を結ぶ直線）とカメラの光軸のずれが測定精度を低下させる原因となっている。眼軸とカメラの光軸を一致させるための補正を行えば、空間精度の向上が期待できる。本研究では校正の方法を工夫することによって測定精度を高めることを考えた。

2 眼球運動の測定方法

本研究で用いている眼球運動の測定方法は、眼球の画像から瞳孔中心を検出し、その位置と実際の視線方向を一对一に対応づけることによって視線方向を知るものである。瞳孔中心を決定する方法としては、最大幅位置検出法を用いた¹⁾²⁾³⁾。眼球画像の瞳孔中心と視線方向を対応づけるには9点校正による線形補間を基本とした。

眼球運動の測定では、その目的によって、視点を知りたい場合と眼球の回転角を知りたい場合がある。Mooreらはビデオカメラの映像を用いた測定装置で眼球の回転角を調べるためのモデルと校正法（角度校正）を示した⁴⁾⁵⁾。この校正法を用いると、校正用指標を見たときの眼軸とカメラの光軸のなす角度を知ることができる。本研究ではこのことを利用して、カメラや鏡の調整の手間を軽減するとともに、9点線形校正によるひずみを小さくすることのできる眼球運動測定装置を開発した。

3 校正法

3.1 9点線形校正

9点線形校正では長方形の中心と四隅、各辺の中心の計9点を校正用指標とする。それぞれの点を見たときの、眼球の画像において検出された瞳孔の中心の位置を結んで8つの三角形を作る。

校正用指標に関しても同様の三角形をつくり、

対応する三角形を合致させるように一次変換を行う。こうして瞳孔の中心位置と視対象を関係づけることができる。

3.2 角度校正

Mooreらの校正法では、カメラと眼軸のなす角と眼球の回転半径、眼前部面（眼球画像の投影面）における眼球の回転中心の位置の、計6つのパラメータが得られる。眼球の半径の大きさと回転中心の位置は一定とみなしている。校正用指標は長方形の中心と各辺の中心の5点であり、中心と中点を結ぶ線分を見込む角は既知とする。校正用指標の角度とその点を見たときの眼前部面上の瞳孔の中心位置をもとに関係式を解いてパラメータを求める。関係式は上述の6つのパラメータと眼球の回転角、それに対応した眼前部面上の瞳孔の中心位置から成るので、眼前部面上の瞳孔の中心位置と眼球の回転角を対応づけることができる。

3.3 9点線形角度校正

ここで提案するのは、9点線形校正と角度校正の融合法である。これを以下では9点線形角度校正と呼ぶことにする。

用いた眼球のモデルは、眼軸と、注視点と回旋点を結ぶ線（注視線）が γ 角と呼ばれる眼に固有の角をなしているものである。 γ 角の水平成分は5度程度だが眼によって異なる⁶⁾。

図1は校正用指標、眼前部面に相当する、カメラの像に対応する面（カメラ面）

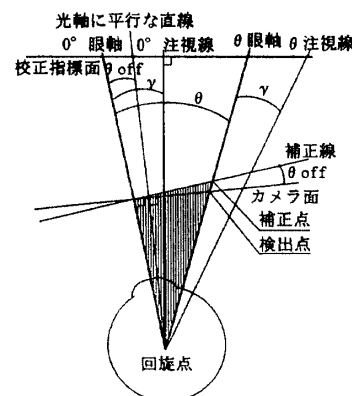


図1. 眼軸、注視線とカメラの位置関係

と眼球の回転に伴う注視線、眼軸の位置関係を水平方向について表したものである。9点線形校正ではカメラの傾きや γ 角の影響で注視点とカメラ面上の瞳孔の中心位置の対応にひずみが生じる。そこで、中心の校正用指標を注視し

たときの眼軸（0°眼軸）に垂直な補正線を考える。眼球の回転角がθのとき、補正線、0°眼軸、θ眼軸で囲まれた三角形と校正指標面、0°注視線、θ注視線で囲まれた三角形は相似である。したがって、この二つの三角形を対応づければ、カメラの角度やγ角によるひずみをなくすることができる。なお、カメラ面と補正線のなす角は0°眼軸と光軸のなす角θ_{off}と同じで、これは角度校正によって得られる。

補正では、眼球画像から求められるθ眼軸とカメラ面の交点から、θ眼軸と補正線の交点を求めることになる。右の校正用指標の角度をθ_p、眼球の回転角をθとする。校正指標面での視点の位置は中心の校正用指標から右の校正用指標までの距離を1とすると

$$\tan(\theta)/\tan(\theta_p) \quad \dots (1)$$

である。9点線形角度校正においては、9点線形校正におけるカメラ面上の瞳孔の位置の代わりにこの式で補正された点を用いる。比較のため、このときの9点線形校正の対応点を同様に角度で表すと、

$$\sin(\theta)\cos(\theta_p-\theta_{off})/(\sin(\theta_p)\cos(\theta-\theta_{off})) \quad \dots (2)$$

となる。

4 比較

図2は、9点線形校正法と9点線形角度校正法の差とθ_{off}の関係を示したものである。校正指標面の眼球からの距離が35cmで、校正用指標の間隔が15cmの場合の、9点線形角度校正で校正された視点の位置と9点線形校正での位置の差を表している。

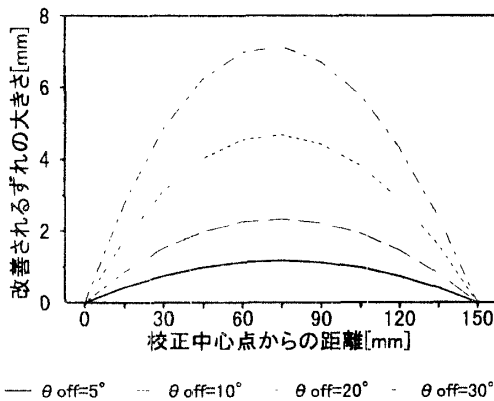


図2. 9点線形校正による誤差の大きさ

5 考察

9点線形角度校正を用いることによって、9点線形校正に比べてθ_{off}の影響に相当する誤差分の精度が改善された。眼球運動の測定を用いた入力デバイスでは、眼球測定用カメラを机の上などに設置する方式を取ることも考えられる。このような場合にはθ_{off}が大きくなるので補正による精度の改善が期待される。

あらかじめγ角を測っておけば、校正用指標を移動することによって0°眼軸とカメラの光軸を測定前に一致させることが可能であり、θを計算する必要がなくなる。しかしこの方法は被験者ごとにγ角の測定と校正用指標の調整を行う必要がある。

ダイクロイックミラーなどを使ってカメラの光軸が校正指標面と垂直に近くなるようにした装置ではθ_{off}を小さくすることができる。この場合には9点線形角度校正による改善分はそれほど大きくない。しかし、両眼の瞳孔の測定位置から輻輳運動を調べる場合は、平面上の注視点を調べる場合に比べて装置がより一層高い精度を持つことが望まれる。たとえば眼球から30cmの位置にある平面で視角40度の校正を行った場合、補正による改善は約2%でこの平面上では2mm程度にとどまる。しかしこの差に相当する輻輳角の変化を眼球から注視点までの距離に換算すると約7%になり、決して小さくない。

また、この装置は眼球の回転角と注視点の測定を同じ校正用指標をもとに行うので、両者の関係を調べることもできる。

参考文献

- 1) 松永, 渡邊, 船津: 映像物体の最大幅位置検出方法, 特公, 昭60-045801号.
- 2) 渡邊, 松永, 三木: 赤外線TV方式による瞳孔径・中心位置検出システム, 電気学会視覚情報研究会資料, VIN-78-8, 1978.
- 3) 早見, 志堂寺, 松永: 画像処理に基づく眼球運動測定システム—画像濃度対称性を利用した瞳孔中心検出アルゴリズム—, 九州大学大学院システム情報科学研究科報告, 第2巻, 第2号, 平成9年.
- 4) Haslwanter, T.: Mathematics of Three-dimensional Eye Rotations, *Vision Res.* Vol. 35, No. 12, pp. 1727-1739, 1995.
- 5) Moore, S. T., Haslwanter, T., Curthoys, T., and Smith, S. T.: A Geometric Basis for Measurement of Three-dimensional Eye Position Using Image Processing, *Vision Res.* Vol. 36, No. 3, pp. 445-459, 1996.
- 6) 萩原編: 眼の生理学, 医学書院.