

ディスプレイ上に描画した平面的な目の視線方向の計算モデル A Computational Expression for Planar Eyes Drawn on the Display

尾関 基行[†] 西澤 良真[†] 岡本 拓也[†] 岡 夏樹[†]
Motoyuki Ozeki Ryoma Nishizawa Takuya Okamoto Natsuki Oka

1. まえがき

2014年6月にソフトバンクの pepper が発表されて話題をさらったように、コミュニケーションロボットはますます身近な存在となってきた。しかし、コミュニケーションで重要となる顔の表情をハードウェア的に表現するにはコストがかかる。そこで、ロボットの頭部にディスプレイを取り付けて顔を描画することで、視線や表情を容易に変えることのできるロボット頭部が廉価に実現できる。この方法の問題点は、ロボットとユーザの位置関係や頭部の向きによって、ユーザがディスプレイを斜めから見るようになってしまうことである。通常のディスプレイは正面から見るのが前提とされているため、それを斜めから見たときにはロボットの目が意図した方向を見ていないように見える。このことはテレビ会議システムでも古くから問題にされてきた[1]が、根本的な解決は、小型の裸眼三次元ディスプレイが入手できるようになるまで待たなくてはならない。

通常のディスプレイにおいてこの問題を軽減するため、我々は、ディスプレイ上に描かれた“目”をユーザが斜めから見たときにも正しく視線方向を表現するための計算モデル(白目に対する黒目の相対位置を算出する計算式)を検討してきた[2]。問題を簡単にするため、平面的に描かれた目を対象として、輻輳は考えず、「ディスプレイの正面方向」「ユーザの方向」「その他の方向」の3種類の視線方向を区別することをまず目的とした。この先行研究では、眼球がディスプレイに埋め込まれた3次元のモデルを想定し、そこから黒目の位置を算出する計算式を導出した。本稿では、眼球モデルを想定せずに“直線”もしくは“シグモイド関数”にユーザから得たデータ(ディスプレイを見る角度と黒目位置の対応関係)をフィッティングしてパラメータ推定した計算式と、先行研究のモデルを比較した結果を報告する。

2. 計算モデル

本研究で比較する四つの計算モデルを紹介する。これらの計算式は「白目中央からの黒目中央までの距離」を算出する。従来手法と先行手法で使用した眼球モデルを図1に示す。a, b, c, r, R はデータから推測するパラメータ。

- 従来手法: $R \sin \varphi + b$
- 先行手法: $(R - r / \cos \varphi) \sin(\varphi - \theta) + r \tan \varphi \cos \theta + b$
- 直線: $a\theta + b$
- シグモイド関数: $-c / (1 + e^{-a\theta}) + b$

従来手法は、ユーザがディスプレイを斜めから見ているときも「ディスプレイを真正面から見ている」と仮定して黒目位置を計算するため、ユーザとディスプレイの角度 θ が式に含まれていない。現状、CG エージェントと人がインタラクションするシステムで、運動視差を再現していな

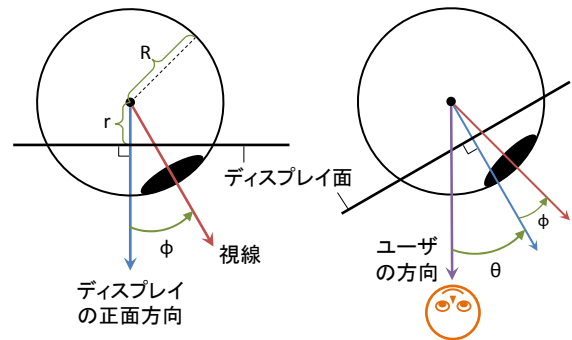


Figure 1 従来手法と先行手法で用いた眼球モデル

いものの多くはこの手法を用いていると思われる。パラメータ R は描画した白目の大きさから経験的に決定されることも多いが、今回はデータから推定した。

先行手法は、図1の眼球モデルから正確に計算される「ユーザから見たディスプレイ上の目の見え方」を簡易化し、 θ が大きくなると顕在化する白目の突出部分の影響(白目の淵が歪む、黒目が隠される)を排除したものである。具体的には、(1) 描画する白目の淵は、常にディスプレイと眼球の境界線とし、(2) 黒目の位置は、眼球モデル上でディスプレイ面に射影したものとしている。現時点では「ディスプレイの正面方向($\varphi = 0$)」と「ユーザの方向($\varphi = -\theta$)」の二つの場合のみを扱っているため、式は θ のみの簡単な形にすることができ、求めるパラメータは r/R と b の二つになる。

先行手法のパラメータ r/R は眼球のサイズと突出距離の比率を示し、本来は φ の値によらず一定となるべきである。しかし、先行研究の調査において、 φ によって r/R が大きく変わることがわかった。この変化は φ に対しておそらく非連続であり、そのため、パラメータ推定のためのデータを各 φ 毎に取得する必要がある。つまり、手間としては、 φ 毎にデータを取得して直線やシグモイド関数にフィッティングする方法と違いがない。そこで本稿では、より簡潔な表現である直線やシグモイド関数と先行手法を比較する。

3. 実験方法

実験手順は次の二つに大きく分かれる。

1. パラメータ推定
2. 視線方向の精度調査

3.1 パラメータ推定

実験協力者として大学生・大学院生 19 名(男 15 名, 女 4 名)を集め、ディスプレイを見る角度 θ を変えながら、ディスプレイ上に描かれた“目”が「ディスプレイの正面方向」と「自分の方向」に向いているように見えるよう、それぞれ黒目を移動させてもらった。実験協力者の顎をディ

[†] 京都工芸繊維大学工芸科学研究科

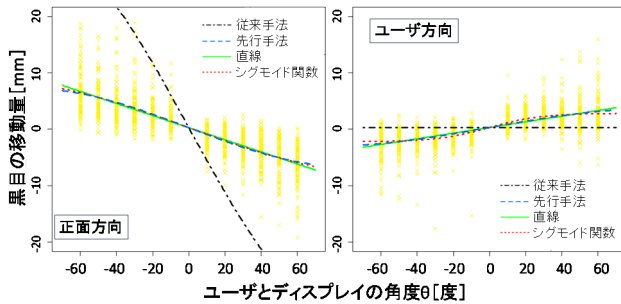


Figure 2 計算式へのフィッティングの結果

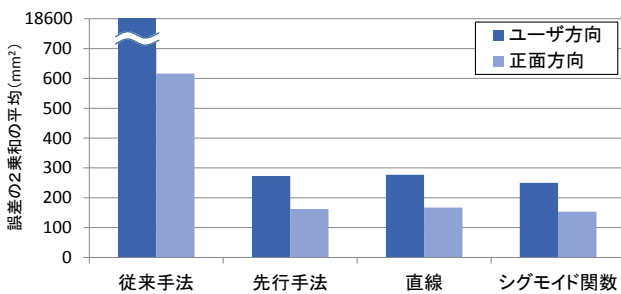


Figure 3 データからの誤差の2乗和の平均

スプレイから 120cm の距離に固定し、ゲームコントローラで黒目を制御してもらった。ディスプレイは遠隔操作可能な雲台に載せ、 θ の範囲は -60 度から 60 度までを 10 度刻みで分割した 12 方向 (0 度を除く) とし、各方向のデータを 6 回ずつ取得するようランダムに呈示した。

得られたデータに各計算式をフィッティングした結果を図 2 に示す。移動距離や誤差は mm に換算して表記した。先行研究によりパラメータは個人差が大きいことがわかっており、次の実験では各人毎に推定したパラメータを使用しているが、紙面の都合上、ここでは全員分のデータをプロットしてフィッティングした結果を載せた。また、実験協力者毎に求めた各手法の 2 乗誤差の平均を図 3 に示す。従来手法を除く三つの手法の間では誤差がほとんど変わらないことがわかる。

3.2 視線方向の精度調査

前述の実験で各人毎に求めたパラメータ ($\varphi = 0, -\theta$ の各場合) を用いてディスプレイ上に「目」を描画し、その視線方向を評価してもらう実験を行った。実験設定は先の実験と同様にした。実験協力者は前述の実験と同じ 19 名、ディスプレイとの距離は 120cm、 θ の刻み幅は 10 度刻みの 12 方向 (0 度除く)、試行回数は各方向 6 回ずつになるようランダムに呈示した。実験協力者には、ディスプレイに表示された目が次の三つの方向を向いているように見える度合いを 5 段階で回答してもらった。

- ディスプレイの正面方向
- 自分 (実験協力者) の方向
- その他の方向

図 4 に、上の二つの視線方向を描画したときの、正しい方向に対する各手法の評価の平均を示す。視線がディスプレイの正面方向を向くよう描画した場合について分散分析を行った結果、手法の効果は有意であった ($F(3,54)=2.89$,

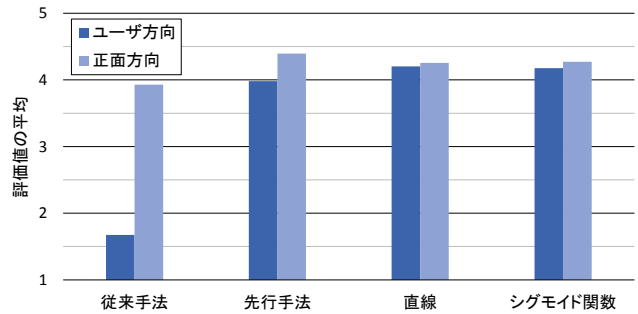


Figure 4 視線方向に対する 5 段階評価の結果

$p < 0.05$)。多重比較 (LSD 法) の結果、先行手法とシグモイド関数は従来手法に対して有意に正しい視線方向を表現できた ($Mse=9.33$, 5%水準)。また、視線が実験協力者の方向を向くよう描画した場合も、手法の効果は有意であり ($F(3,54)=119.15$, $p < 0.01$)、先行手法・直線・シグモイド関数が従来手法に対して有意に正しい視線方向を表現できた ($Mse=8.63$, 5%水準)。

以上の結果より、「ディスプレイの正面方向」と「ユーザの方向」の両方において、シグモイド関数は、先行手法と同程度の視線表現精度を持つことがわかった。また、直線とシグモイド関数、先行手法の間に有意差はなく、「ユーザの方向」については直線が一番よく当てはまっている実験協力者も 19 名中 5 名いた。

4. あとがき

本稿では、ディスプレイに平面的に描かれた「目」を斜めから見た時に、その視線が「ディスプレイの正面方向」や「ユーザの方向」を向いているように見えるよう描画するための計算モデルを検討した。本実験では、これら 2 種類の方向について、シグモイド関数や直線によるモデル化で十分に視線が表現できることを示した。実際に利用する際にはユーザ毎に数点のデータを取得してパラメータを求めればよい。 $\theta = 0$ のときの黒目は中央であるとして直線 $a\theta$ で近似すればデータ数を更に削減できる。

φ 毎にパラメータを推定しなければならないという問題があるが、我々はここで取り上げた二つの方向を正しく示せるだけでも十分有益だと考えている。実空間中の対象を参照する際には、ディスプレイを対象の方向に向けるのが最も分かりやすく、そのためには「ディスプレイの正面方向」を見ていることが正しく表現できればよい。また、その姿勢をとったまま (話題の中心をその対象においたまま) ユーザに注意が向いていることを示すためには、ディスプレイを動かさずに視線だけをユーザに戻せばよい。これは「ユーザの方向」を見ていることが正しく表現できればよい。なお、本稿では述べなかったが、ディスプレイとユーザが正対している状態で視線だけを動かす ($\theta = 0$ で φ を動かす) 場合にも直線やシグモイド関数でモデル化できる。

参考文献

- [1] S.M.Anstis, J.W.Mayhew, and Tania Morley, "The perception of where a face or television 'portrait' is looking", The American Journal of Psychology, 1969.
- [2] 西澤良真, 尾関基行, 岡 夏樹, "首振りディスプレイエージェントの目を描画するための計算モデル", HAI シンポジウム 2012, 2-D-1, 2012.