

実世界と拡張現実感の映像との視距離の違いに着目した 視線計測と映像の制御

Measurement of eye movements for difference between visual distances of real visual target
and augmented reality image and processing of images

2151010



研究代表者 (助成金受領者)	名古屋大学大学院 情報科学研究科	准教授	工 藤 博 章
共同研究者	名古屋大学大学院 情報科学研究科	教 授	大 西 昇

[研究の目的]

近年、拡張現実感（AR）技術の広がりにより、実世界とともに人工的な映像を同時に視聴する機会が増えてきた。視線移動は瞳孔位置を変化させ光学系の幾何の変更を生じさせるため、一定の奥行の画像面での映像の視聴時と、実映像と人工的な映像とで視距離が異なる映像の視聴時では、状況が大きく異なる。このような状況のもとで、視線移動を計測・分析し、それに応じた映像提示法の提案を、本研究の目的とする。

また、AR映像の表示の際には、実世界注視とAR表示面注視とでは、本来、網膜像差やぼけ具合が異なるが、現状では視線移動とは無関係に同じ位置に表示するため、不自然な像の提示とも言える。この映像を制御することで不自然さを低減することを目指す。

[研究の内容, 成果]

視線移動により生じる視差

本研究では、2次元表示と3次元立体映像の提示条件の違いによる輻輳運動等に注目して分析を行う。このような分析は、通常のディスプレイやプロジェクタを用いた視距離での研究は、従来にも行われているが、ヘッドマウントディ

スプレイ（以下、HMD）ではあまり見られない。HMDで映像を提示した際の眼球運動と奥行き知覚について、研究代表者らの研究[1]では、眼球運動時に眼球の回転運動の中心と光学系の軸が一致していないことにより生じる視差[2]（ocular parallax [3]）に着目している。

図1で、遠くの実物体に視線を向けた時、映像表示面が眼に近い距離にあるHMDの像 I_{AR} は、両眼映像の融合や焦点距離などにより、映像面より遠くで結像したARに位置することに相当する。ここで、ARの位置に視線を向けようとする、瞳孔位置をはじめとして、光学系に変化が生じる。

実世界の幾何と同等にするには、ARと眼球の回転中心を結ぶ I_{True} の位置に、像を提示しなければならない。これに対応する視線移動前の網膜での像の位置は $[I_{True}]$ であり、 $[I_{AR}]$ との間にずれが生じている。これは、 I_{True} の位置への視線移動に必要な回転角 $[I_{True}]_{post}$ が、 I_{AR} の回転角 $[I_{AR}]_{post}$ よりも大きいことを示してい

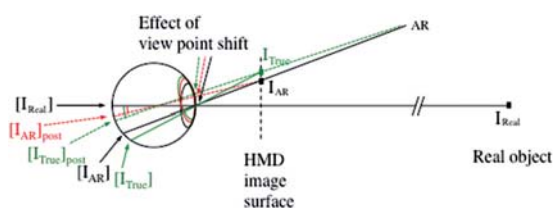


図1 ocular parallax

る。言い換えれば、実世界の経験に基づいて、視線移動を行うと、視線移動が過大になるということになる。この効果は通常の両眼視差と同じく、映像面が遠くにあれば、ずれは小さく、近くであれば、ずれは大きい。HMD の映像提示面が眼に近いことで効果が大きい。[1] では、視線の移動の際に映像の提示位置を操作し、映像が元の位置に表示されていると知覚されるかを検証した。本研究では、眼球運動、調節力を計測し、他覚的に分析する。

実験 1 HMD 像と視距離の異なる固視点の間の視線移動

提示刺激として、光学シースルー方式 HMD (960×540 画素、画角約 23 度) の、左側 (中央から約 9.6 度) の位置に AR 像として、4 画素の線幅、線長 20 画素の十字型の指標を描画した。実対象として、同様の十字型の指標をモニタの表示面 59.6×33.5 cm の中央に描画した。作業距離を想定し、被験者から 40 cm の位置にモニタを配置した。設置式の眼球運動計測を用いた。

被験者は、HMD を装着し、あご台で姿勢を保って実験を行った。眼球運動はモニタの画素位置として記録される。モニタ中央の実指標 3 秒間、HMD の左の AR 指標 3 秒間の注視を記録した。HMD 映像の十字指標に相当する位置にカーソルを表示し HMD を外し、モニタ中央の指標 3 秒間、モニタ上カーソル 3 秒間の注視を、同様に記録した。

眼球運動の記録の例を、図 2 に示す。上図が実映像と AR 像との間の注視、下図がモニタ上の十字指標とカーソルとの間を注視した結果である。横軸はフレーム番号 (30 Hz サンプリング)、縦軸は画面上の水平画素位置であり正が右側となる。図から、AR 指標の方が安定するまでに時間を要していることがわかる。また、ばらつきも大きい。右眼では、AR 指標とカーソルへの視線移動の大きさはほぼ同じであるので、これについて見てみると、実指標から AR

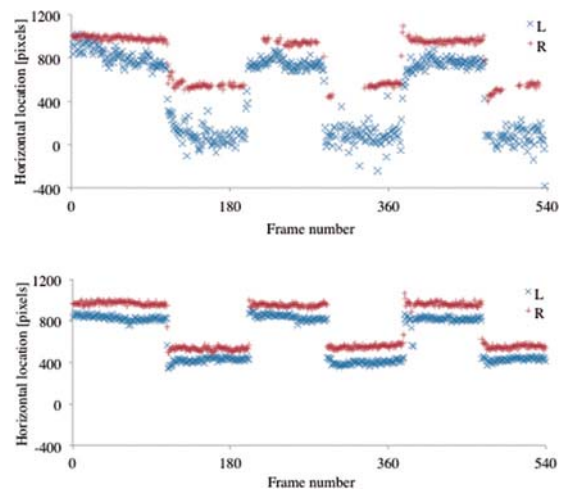


図 2 眼球運動の計測例
上：HMD (AR) とモニタ (固視点)
下：モニタ上の 2 点

への視線移動の際にオーバーシュートが見られ、安定するまでの時間も長くなる傾向が見られる。

Ocular parallax の幾何に従うと、オーバーシュートは、AR 像への視線移動に必要な実際の回転角度が、AR 像の視角方向で、遠くに実対象があることを仮定した際の回転角度より小さいことから、眼球運動の回転角度が過大に計画されることによる可能性がある。あるいは像の位置ずれによる必要な回転角度が異なること自体により、安定するまでの時間を要する可能性も考えられる。

実験 2 変位させた HMD 像と視距離の異なる固視点の間の視線移動

実験 1 では、AR 像は、静止像であった。ここでは、視線移動の際に AR 像の位置を変化させる (像の位置を制御する) ための刺激提示環境を構築し、両眼の眼球運動から算出される 3D での注視位置についての計測を行った。

グラスタイプの眼球運動計測器を装着し、その上から光学式シースルー方式 HMD (960×540 画素、画角約 23 度) を装着して測定を行った。HMD への刺激提示は、無線アダプタによって、映像生成 PC の HDMI 出力を伝送する方式とした。

ブロック組み立て作業を行うことを想定し、

AR 像として、ブロックの組立図を HMD 表示領域の左側に表示した。その組立図の中央付近に注視対象となる部品の図が、周囲と異なった色で示されている。これを、視線移動の間に、左に 10 画素、変位なし、右に 10 画素ずらした計 3 種を注視対象とした。HMD の左右眼それぞれの提示面に対して、同一映像を描画した。

被験者は、眼球運動計測器と HMD を装着し、あご台で姿勢を保って実験を行った。最初に、被験者から 50 cm の位置にあるモニタに固定された校正用カードを注視する。その後、実験用プログラムにより、合図音の出力と映像切替が行われ、被験者は、3 秒ごとの合図音に従って、以下の順で注視を行った。映像切替は、合図音の後、0.25 秒後に行われるように設定した。

1. HMD の中央に十字型の指標が表示され、これを注視する。
2. HMD に標準の位置のマニュアルの図が表示され、中央の校正用カードを注視する。
3. HMD のマニュアルの図が更新（変位なし、10 画素右、10 画素左）され、指定部分を注視する。

注視位置記録の例を、図 3 に示す。計測器の中央上部にある記録カメラを原点とした時の 3D での注視位置の X（左が正）、Z（遠方が正）座標（単位は mm）を示す。十字指標、校正カード、マニュアルを 3 秒ずつ注視し、これ

を 1 セッション（9 秒間）の試行として表している。横軸は、表示の際の遅延などを含んだものである。X 軸の値で、横軸が 1, 2, 3 の位置で 0 に近く、1.3, 2.3, 3.3 の位置で大きな値であり、それぞれ、校正カード、マニュアル（左領域）の注視に相当する。

校正カードは視距離 50 cm のモニタ面の距離にあり、確かに奥行き方向を示す Z の値が 500 mm で安定していることが確認できる。

この時間経過の区分に従うと、1 セッション内では校正カードからマニュアルへの視線移動で Z の値が若干小さくなることを示唆している。また、十字指標注視時よりも小さくなっている。

一方、水平方向の移動である X の値を見ると、マニュアル表示位置への視線移動の際、1.4, 2.4, 3.4 付近の比較では、2.4 の値が矩形波状に近くなっている。すなわち、安定するまでの時間が早い。3 セッションで、いずれもオーバーシュート状の概形は見られないため、この実験条件では、一度で視線移動が終了するのではなく、徐々に対象の注視位置に収束するような振舞いと考えられる。映像の制御を行う上で、考慮が必要な点であろう。

実験 3 HMD 像と視距離の異なる固視点の間で視線移動した際の水晶体調節力の測定

映像のぼけも奥行知覚に影響を及ぼす。実験 1 では、AR 像と視距離の異なる固視点との間の視線移動時の眼球運動を計測した。ここでは、視距離の異なる視対象間での視線移動の際の水晶体調節力の測定を行った。実験 1 と同様に、3 秒ごとに視距離の異なった対象を注視する課題とした。なお、眼球運動の同時測定ではない。

被験者は、HMD を装着し、あご台で姿勢を保って実験を行った。実験 1 と同様の刺激提示を行い、モニタ中央の実指標 3 秒間、HMD の左の AR 指標 3 秒間の注視を行い、オートレフラクトメータで調節力を記録した。実験 1 と同

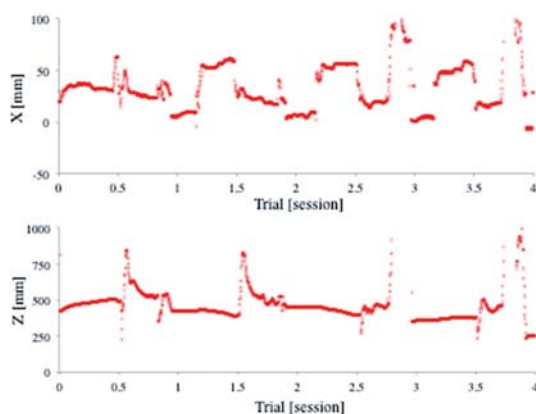


図 3 3D 眼球運動の計測例
上：水平方向、下：奥行き方向

表1 調節力（視距離換算）

	Left eye		Right eye	
	L	C	L	C
H-M			0.33	far
			0.33	0.50
	0.20	far		
	0.20	0.33		
H-H			far	far
			far	far
	far	far		
	far	0.40		
M-M			0.20	0.33
			0.20	0.33
	0.20	0.50		
	0.20	0.40		

様に、40 cm の位置にモニタを配置した。比較のため、ディスプレイ上の固視点（中央）と別の位置（左側）の点の間の視線移動と、HMDの中央のAR像と別の位置（左側）のAR像の間の視線移動時について、計測を行った。

計測された調節力から被験者の個人特性を補正し、対象の視距離に換算した値の例を、表1に示す。単位は[m]で、0.50はモニタの位置に相当する。farはモニタより遠方を意味する。H-MがHMDとモニタに注視対象の提示を行った場合、H-HがともにHMDに注視対象2点を、M-Mがモニタ上の2点とした条件を表す。Lが左側、Cが中央の注視対象を、注視した時である。H-M条件で、HMDに表示された左側の対象の注視時には、M-Mの左側の対象の注視の結果に近く、モニタに表示された中央の対象の注視時にはH-Hの中央の対象の注視の結果に近い結果が得られた。

[今後の研究の方向、課題]

実験1で映像提示と視線計測の環境を整え、実験2で映像制御を含めた視線計測の環境を整

えた。実験1では過大な視線移動の傾向が、実験2では過大な視線移動ではなく、徐々に視線を注視対象の位置に収束させる傾向が見られた。今後は、これらの特性も考慮すべく視線計測結果に応じた映像の制御が行えるようにするとともに、実験1及び2の結果を詳細に検討していく。実験3では調節力の測定を行った。調節力も映像の知覚の上で重要な要因であり検討を進める。視線と調節力などの信号の同時計測も進めていく予定である。

[参考文献]

- [1] H. Kudo, N. Ohnishi: Effect of the Sight Line Shift when a Head-Mounted Display is used, CD-ROM Proceedings of the World Congress on Medical Physics and Biomedical Engineering, 1-4 (2000)
- [2] 工藤博章, 齋藤雅也, 山村 毅, 大西昇: 単眼観察時の近距離に位置する視対象の奥行き知覚, 映像情報メディア学会誌, 54(9), 1311-1314 (2000)
- [3] A. P. Mapp, H. Ono, The rhino-optical phenomenon: Ocular parallax and the visible field beyond the nose, Vision Research, 26, 7, 1163-1165 (1986)

[成果の発表、論文等]

- [1] 工藤博章, 大西 昇: 実世界と拡張現実感映像との視距離の違いに着目した視線計測, 2015年電子情報通信学会基礎・境界ソサイエティ大会基礎・境界講演論文集, 160 (2015)
- [2] Hiroaki Kudo, Noboru Ohnishi: Accommodation measurement for differences between visual distances of real visual target and augmented reality image, The proceedings of The Eighth International Workshop on Image Media Quality and its Applications, 56-61 (2016)
- [3] 工藤博章, 大西 昇: “実世界と拡張現実感映像との視距離の違いに着目した3D注視位置の計測”, 2016年電子情報通信学会総合大会基礎・境界講演論文集, 233 (2016)