

審査結果の要旨

論文題目 「Study on 3D Gaze Measurement and Its Application to Analyze Visually Induced Motion Sickness in Stereoscopic Environment」
(立体視環境下での三次元視線計測とその映像酔い分析への応用に関する研究)

学位申請者 Sunu Wibirama

本論文では、まず、アクティブシャッター方式による立体視環境下での3次元視線計測法について提案している。その後、提案する三次元視線計測法を実装したシステムを開発し、それをを用いた映像酔い(動揺酔い)分析を行っている。映像酔いの問題は、立体視環境に於ける安全性に関わる重要な問題である。映像酔い(Visually Induced Motion Sickness:VIMS)とは、動的な3Dコンテンツを見ているユーザが感じる、「酔い(nausea)」「めまい(disorientation)」または「眼精疲労(fatigue)」といった症状のことである。この研究では、開発されたシステムにより計測された三次元視線計測結果、心電図(ECG)による自律神経分析結果、映像酔いの主観評価である Simulator Sickness Questionnaire(SSQ)の結果から動的な3Dコンテンツを見ている間のVIMSの検討が行われている。VIMSの問題は重要な問題であるにもかかわらず、SSQによる検討がほとんどであり、生体信号や視線計測など客観的な計測結果も合わせた分析を行った例はなく、本研究は学術的に重要な研究である。

第一章は、背景、目的、本研究の科学的な貢献について述べている。動的な3Dコンテンツを見ているユーザは、通常、焦点をスクリーンに合わせる。その時、輻輳は、3Dコンテンツの奥行き方向の存在位置に応じて変化する。この輻輳と焦点の違いがVIMSに影響を与えるため、特に、スクリーン面に対して鉛直方向(深さ方向:Z方向)の視線移動の検討が重要となる。しかし、VIMSに関するこれまでの研究は、主観評価としてSSQを利用し、客観評価としてはECGを利用した例はあるものの、深さ方向の視線移動も含めた検討は行われていない。そもそも、従来の研究で利用されている視線追跡システムは、立体視で一般的に利用されているアクティブシャッター方式の立体視眼鏡と同時に利用できないという問題点もある。本研究では、立体視環境下でアクティブシャッター方式の立体視眼鏡と同時に利用が可能である新しい3D視線追跡システムを開発し、この提案システムと、ECG、SSQによる立体視環境下でのVIMSを検討している。よって本研究は、VIMSに関する研究分野において非常に重要な研究である。

第二章は、立体視環境、奥行き認知、VIMSに影響を与える要素についての一般的な理論を説明している。3Dを認知するため、人の脳は左と右の画像を認識する。この僅かに異なる左右の画像から奥行き情報を抽出する脳の働きを奥行き認知と呼ぶ。動揺酔いは一般に風景を見ている間の前庭刺激によって誘導される。一方VIMSは、前庭刺激無しの映像要素によって引き起こされる。

第三章は、三次元視線追跡システムの視線追跡アルゴリズムについて詳しく述べた後、その実装システムの開発、および精度確認実験結果について検討している。本システムは、ユーザ毎に眼球の大きさと眼間距離を計測し、平均値を利用せずユーザ毎の値を利用することで計測精度を上げている。また、3つのキャリブレーション点のみで正確な三次元視線計算を実現する最適化幾何アルゴリズムを提案して

いる。実験では、提案する三次元視線追跡システムの精度を検討している。その結果、その計測誤差は X 方向に 0.83cm, Y 方向に 0.87cm, Z 方向に 1.06cm であり、従来の方法より精度が向上していることが示されている。簡単なキャリブレーションにより従来法よりも高い精度で三次元的な視線計測を実現した提案アルゴリズムと実装システムは、VIMS に関する研究分野に波及する効果が大きい。

第四章は、速度が異なる動的な映像刺激を含む 2 つの三次元映像における VIMS を、提案する三次元視線計測システムと ECG, SSQ を用いて検討した結果について述べている。三次元映像としては、実写によるローラーコースターの映像と、CG によるウォークスルーの映像が用いられており、それぞれ注視点有りとなしの場合で検討されている。SSQ の結果は、映像中の動的な動きが増加するほど「酔い (nausea)」と「めまい (disorientation)」の症状が増加することを示している。実写で注視点がない場合に特に SSQ の値が大きくなっている。ECG データから交感神経と副交感神経の働きが分析されており、VIMS を感じているユーザでこの両者のバランスが崩れる時間帯は、左右回転や上下動を示しているシーンであることが示されている。さらに、三次元視線追跡の観測結果は、三次元映像視認時に深さ方向の視線移動範囲がユーザに近い側に圧縮され、かつ振動することを明らかにした。また、VIMS を感じているユーザは、VIMS を感じていないユーザと比べて、この振動の周波数が高くなる傾向も見られた。

三次元映像環境下におけるユーザの奥行き方向の視線が、実際よりもユーザ側に近くなりかつ振動すること、この振動の周波数が、VIMS を感じているユーザは感じていないユーザにくらべ高くなることは、非常に重要な新発見であり、その学術的意義は高く評価できる。

第五章は、まとめ、本研究の意義、今後の課題について述べている。

本研究の主要な結論は、アクティブシャッター方式による三次元映像環境下で三次元視線追跡を可能としたアルゴリズムの提案とシステムの実装を行った第三章と、このシステムと ECG, SSQ を用いた VIMS の分析を行った第四章で述べられている。これらの結果は、VIMS を感じているユーザの特徴的な奥行き方向の視線運動を明らかにしており、その新規性、独創性、当該研究分野における波及効果はいずれも高く、その学術的意義は高く評価できる。

以上の結果、本論文は学位論文として十分な内容を有するものと審査委員全員の一致で判定された。

したがって、申請者 Sunu Wibirama は東海大学博士（工学）の学位を授与されるに値すると判断した。

論文審査委員

主査	博士（工学）	伴野 明	情報通信学部教授	（総合理工学研究科総合理工学専攻）
委員	博士（工学）	石井 啓之	情報通信学部教授	（総合理工学研究科総合理工学専攻）
委員	工学博士	野須 潔	工学部教授	（総合理工学研究科総合理工学専攻）
委員	博士（工学）	黒田 輝	情報理工学部教授	（総合理工学研究科総合理工学専攻）
委員	博士（工学）	濱本 和彦	情報通信学部教授	（総合理工学研究科総合理工学専攻）