

審査の結果の要旨

論文提出者氏名 田中 健司

本論文は「テレグジスタンスのための全周囲立体提示撮像システムに関する研究」と題し、7章からなる。近年、自分が現存する場所にいながらにして、ロボットの働く遠隔環境に存在するような臨場感を有して空間を観察し、その空間で行動することを可能とする技術が確立されつつあり、テレグジスタンスと呼ばれている。一方、遠隔地間でのコミュニケーションのためのテレビ電話などが開発されているが、自分がその場にいるような臨場感や、相手が目の前にいるような存在感を伝えるにはいたっておらず、実際に面談しているようなコミュニケーションを可能とする新しいシステムが求められている。本論文は、テレグジスタンスを用いる面談やロボットの制御のための眼鏡なしで全周囲を立体映像として提示できるシステムと、そのための立体映像を撮像するためのシステムについて、その工学的実現に向け、理論的解析に基づいて設計法を明らかにするとともに、実際のハードウェアを構成してその効果を実証して、今後の実用と応用への道を拓いたものである。

第1章は「序論」で、遠隔地にいるにもかかわらず面と向かって会話をしている状況や、ロボットを分身のように利用し行動する所謂テレグジスタンスを考えたとき、使用者に広画角で立体視可能な映像を提示でき、かつ使用者の顔を覆うことなく全周囲に立体映像を提示できるという条件が必須であることを述べ、従来から提案され利用されている頭部搭載型ディスプレイ(Head-Mounted Display : HMD) や 没入型投影技術(Immersive Projection Technology : IPT)では、広画角で立体視が可能な映像を提示することはできるが使用者の顔を覆わないという条件が満たせず、一方、使用者の顔を覆わずに立体視をさせる従来の裸眼立体ディスプレイは全周囲を提示できないことを明らかにして、実際に面談しているような遠隔コミュニケーションを可能とするテレグジスタンスのための撮像提示システムを実現するという本研究の目的と立場と意義とを明らかにしている。

第2章は、「回転式没入型裸眼立体ディスプレイの設計」と題し、回転式没入型裸眼立体ディスプレイ TWISTER(Telexistence Wide-angle Immersive STEReoscope)の原理を説明したのち、その設計上の方法論や、設計パラメータについて議論を行っている。TWISTER は、裸眼立体視ができ、なおかつ全周囲の提示が理論的に可能なディスプレイとして1996年に提案されたものであるが、本論文では、その実現のための工学的設計論を確立し、その結果 360度の全周囲を裸眼でかつフルカラーの動画像で提示することを可能としたシステムとして実現している。TWISTER は、複数の縦に長いディスプレイユニットを円筒状に配置した回転体が、観察者の周りで回転し、人の目の残像効果を利用して、没入的な動画の裸眼立体視を可能にするディスプレイである。2列の Light Emitting Diode (LED) アレイと1枚の視差障壁(パララクスバリア)とで構成されるディスプレイユニットが観察者の周りを回転することで裸眼立体視が実現できる。フリッカ、サッケード、サーキュラベクション、両眼の時間差、輻輳調節矛盾を考慮した設計を行い、かつ頭部位置計測を省ける設計法として全周囲レンダリング法を提案している。

第3章は「TWISTERIIIの製作」と題し、TWISTER IIIを具体的に実装するにあたって問題となる事項を中心に述べている。これには円柱筐体の精度よく安定した回転、動画のための高速なデータ

転送と分配、画質を向上させるための工夫としての機械式インタレースや拡散板の利用などが含まれる。また、回転するディスプレイ特有の問題としての画像取得時と提示時の時空間サンプリングパターン的一致についても論じている。

第4章は「TWISTER の性能評価」と題し、提示系の性能評価を行っている。実験により、1) 没入感、臨場感を感じさせるのに十分な 140 度以上の画角で立体視の提示を実現できること、2) 面談で想定される 0.5m から 3m の間の距離において、線形な奥行き提示が可能であり観察者から 12cm ~ 3m の距離だけ離れた物体を輻輳により融像し正しく裸眼立体視ができること、3) ライブ動画の提示が可能であること、すなわち、毎秒 30 フレームで、RGB 8bit 階調のカラー動画を、左右それぞれの目に対して 1,920 x 256 画素の空間解像度で、明るく(740 cd/m²)色再現よく提示できることを示している。

第5章は「全周囲立体動画の取得および提示 I」と題し、全周のすべての向きについて近似的に立体表示をすることができるような画像の取り込み方法を提案し、実験による評価を行っている。提案する画像取得方法は、円柱もしくは楕円柱ミラーを利用したシステムである。これは、光学的には反射火線 (catacaustic) と呼ばれる曲線を利用しており、曲面ミラーに映り込んだ画像が、その視点を移動させながら光軸を回転させるような画像センサの出力を近似するものであることを利用している。円の反射火線は、Nephroid という形状になることが知られているが、楕円の反射火線はさらに円に近い形状になることや、反射火線の形状が指定されているときに、逆にミラーの形状を求める方法についても議論している。実際に円柱ミラーを使用して構成したシステムで撮影を行った結果、得られる全周囲画像の水平解像度は方向によって不均一性があるものの、正面から ± 30 度の範囲において視力換算約 0.1 となり、利用可能な範囲であるとしている。

第6章は「全周囲立体動画の取得および提示 II」と題し、全周囲立体動画取得方法として、回転光学系を利用した方法を提案し、設計・実装して実験を行っている。装置は、32本のピラーを備えたケージ状の回転円筒の側面に、16組ずつの、それぞれ左目画像と右目画像を取得できるようなプリズムシートおよび円偏光フィルムの組み合わせを配置し回転させる。左右眼に対応する画像は、この円筒側面の開口部から一つおきに取得されるようになっており、入射した光線は双曲面ミラーにより反射され、装置の上部に備えられたビームスプリッタによって2系統の光線群に分割された後、円偏光板によって、左目もしくは右目画像だけが取り出される。この構造を回転させて時間積分することにより、前章同様、常に正面から到来する左右眼それぞれの光線情報を全周囲にわたって取得できる。これを TWISTER に提示した実験によって、視力換算 0.1 程度の空間解像度と 1/30 秒の時間解像度で、水平方向に全周囲、垂直方向に 60 度の画角での画像の取得と提示が可能であることを確認している。

第7章は「結論」で、本論文の結論をまとめ、今後を展望している。

以上これを要するに、本研究では、遠隔地間での面談コミュニケーションなどの所謂テレグジスタンスのための全周囲立体動画の撮像と提示を工学的に達成するためのシステムを提案し、その実現可能性を理論と実験によって体系的に論じるとともに、裸眼で全周囲立体動画映像の撮像と提示が可能装置を設計し、実際のハードウェアを構成して評価することにより提案方式の効果を実証して、今後の実用と応用への道を拓いたものであって、システム情報学及び人工現実感工学に貢献するところが大きい。

よって、本論文は博士(工学)の学位請求論文として合格と認められる。

