

審査の結果の要旨

論文提出者氏名 國田 豊

本論文は「レイグジスタンスにおける実時間三次元映像の相互提示法の研究」と題し、6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あたかも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、レイ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得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。本論文は相互レイグジスタンスを用いる面談システムのための三次元映像相互提示装置を提案し、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、遠隔コミュニケーションに於いて面談しているような状態を実現するには、話者が三次元空間を共有している感覚とそれに伴うお互いの位置関係が具現され、さらにはその空間での実時間相互インタラクションが行えなくてはならないことを述べ、これらが従来のテレビ電話などの遠隔コミュニケーションシステムでは満たされていないこと、また、既存の三次元映像の撮像・生成・提示技術要素の単なる組み合わせでは、これを解決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ための新しいシステムを、相互レイグジスタンスにより実現するという本研究の目的と立場と意義を明らかにしている。

第2章は、「システム設計論」と題し、三次元空間を遠隔地間で視覚的に共有するための工学的方法を提案している。ここで提案したシステムは、利用者を取り囲む閉曲面を介して、必要な光線の入出力を行うという原理に基づくブース状の端末と、それらを繋ぐ伝送路という構成をとっている。複数の利用者はそれぞれのブースを利用しながら、コンピュータの生成した空間(VR空間)を共有し、そのなかでそれぞれの位置関係を保ちつつ面談する状況を作り出すことができる。利用者が入るブースは、内から外に向かう光線の取り込みと、外から内に向かう光線の提示を同時に行う。他の利用者のブースで取り込んだ光線のデータが伝送され、自分のブースで提示されるが、この提示される光線は、他の利用者のブースで取り込まれた光線をもとに、VR空間中での利用者の位置関係に応じて適切に再構成されたものであり、これにより共有空間中での相互の位置関係を保ちつつそれぞれの三次元映像を実時間に提示できることを示している。ただし、このようなシステムを単純に実現しようとする、利用者を取り囲む閉曲面のあらゆる位置であらゆる方向の光線を取り込み、かつ、あらゆる位置であらゆる方向に提示できなくてはならないことになり、実装するのが現実的でなくなる。そこで、通常的面談においては上や下からのぞき込むことも、焦点調節が奥行き手がかりとなる至近距離まで密接することも少ないことを鑑みて、光線の取り込みは円周軌道で行い、光線の提示は利用者の両眼のみ行うという工学的に実現可能で、しかも実用上は問題ない方式を提案している。提案

の構成法により、伝送する光線データも、基本的には両眼のデータとなり、帯域を節約できる一方で、視点移動をする際の遅延により VR 酔いの状況を生じないよう、視点位置付近のデータを冗長に伝送し、ローカルに両眼分の映像を生成するという補償を行い、視点移動に対して遅延を生じない工夫も凝らしている。

第3章は「撮像・生成系の試作」と題し、提案したシステムの撮像・生成系を試作的に実装している。試作システムは、複数のカメラを直線状に配置し被写体の任意視点映像を実時間で生成するもので、実時間処理のために、カメラと被写体のおよその距離を想定し、そこに透明な平面があると仮定して、生成する視点位置に応じて各カメラからの映像の一部を投影しているが、その際、被写体が厳密には正しい距離になくても、ある許容誤差の範囲内で映像を生成することができる。そこで、このような被写体の存在範囲を「等価被写界深度(Equivalent Depth of Field: EDOF)」として解析し定式化して、この理論的に導かれた EDOF が、実際の画像生成の結果と合致し、システム設計において有用な指標となることを確認している。また、実装上の特徴として、計算機に映像の生成に必要なデータのみを事前に選択して取り込むことで I/O ボトルネックを解消し、実写画像をテクスチャマッピングすることで汎用的なグラフィクス・アクセラレータにより高速演算を行っている。

第4章は「提示系の試作」と題し、提案した提示系として試作した TWISTER (Telexistence Wide-angle STEReoscope) について述べている。この試作システムは、特殊なメガネの装着を一切必要とせず、広視野な立体映像を提示できることが特徴である。立体映像の提示法としては、左右2列に並べた光源列と遮光板を一つの提示ユニットとして、複数の提示ユニットを観察者を取り囲む円周上で機械的に走査する方法で、遮光板の存在によりどちらかの光源列は片方の眼からしか観察されないため、両眼に提示する映像が分離できる仕組みとなっている。視点追従を行わない場合には視点の移動範囲が制限されるが、その範囲を理論的に求め、直径2m程度のブースでは、十分に広いことを確認している。また、映像の時間・空間解像度と、走査の回転速度、光源の点灯周波数、提示ユニットの数との間の関係を定式化すると共に、立体視が成立するための人間の視覚特性による制限を明らかにし、両者を満足するための条件を示している。これらの設計指針をもとに、試作システムを試作し、カラー映像が提示可能なこと、毎秒 30 フレームの動画を提示できること、明瞭な立体視ができることを確認している。

第5章は「撮像・生成系と提示系の融合に関する考察」と題し、以上で述べた撮像系と提示系を一体化するための理論的な検証を行って、提案法が技術的に実現可能であることを示している。

第6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、三次元映像の相互提示装置の設計法を明らかにし、実際のハードウェアを構成して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。