

審査の結果の要旨

論文提出者氏名 柳田 康幸

本論文は「トレイグジスタンスにおける視覚と運動感覚の整合性に関する研究」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やコンピュータの生成した3次元空間にあたかも存在するような臨場感を有して空間を視察し、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、トレイグジスタンスないしは人工現実感と呼ばれている。このトレイグジスタンスのための視覚提示に用いる方式としては頭部搭載型ディスプレイ(HMD)を用いる方式と包囲投影型ディスプレイを用いる方式(IPT)があるが、前者については、特にコンピュータの生成する3次元コンピュータグラフィクス(CG)空間での利用に際して、頭部運動を計測したり画像を生成したりする際の時間遅れにともなう違和感の問題があり、後者については、逆に実の遠隔環境での利用に際して、IPTに時間遅れなく提示するための画像入力方式が未だ確立していないという問題があった。本論文においては、HMDとIPTにおける視覚と頭部運動の整合性を解析し、HMDの短所とされる回転運動への追従性能を向上させる手法を提案しその効果を実証するとともに、IPT方式のディスプレイでも実環境を実時間で提示することを可能とするための視覚入力システムを提案し、実際のハードウェアを構成してその効果を実証し、頭部運動に対して安定な3次元空間を構築するための設計指針を明らかにして今後の応用への道を拓いたものである。

第1章は「序論」で、頭部運動に連動した3次元視覚提示システムにおける違和感という主観的な感覚を、操作者の運動と提示される視覚情報との整合性という切り口から客観的に分析し工学的な考察を行い、従来の頭部運動に連動する視覚提示システムの問題点を明らかにすることにより、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、「Virtual TELESARの構築」と題し、現在、東京大学館研究室に物理的に存在するトレイグジスタンスの世界標準的なロボットシステムであるテレサ(TELESAR)とほぼ同一の構成を有し3次元かつインタラクティブで自己投射性を有するコンピュータシミュレータを構築している。このVirtual TELESARでは、全体のタスクをサブタスクに分割し演算の分散を図ると共に、最も負荷が大きく時間がかかる3次元CG画像生成を高速化するための手法を考案し実装して、効率の良い人工現実感空間の生成を実現している。これらにより、システム全体としての遅延時間を小さくすることが可能となり、運動感覚と提示される視覚との整合性の確保が実現されている。

第3章は「HMD使用時の視覚系パラメータ整合性の影響」と題し、両眼立体視を利用する3次元視覚提示装置を用いて空間提示を行っている場合に、何らかの理由により3次元空間が正確な空間になっていない場合に頭部運動を行うと、空間の動的な変形と不自然な画像のフローが生じるという現象を幾何学的解析により定量的に説明している。また、この現象によって作業性に影響が生じることを第2章で構成したシステムを用いて実験的に確認している。従来人工現実感システムの時間的な要素といえば純粋な時間遅ればかりが議論されてきたが、ここで指摘した問題は、不正確な立体

視を行った状況でかつ頭部運動が生じると、たとえ時間遅れが皆無という理想的な状態で頭部運動に追従できたとしても不具合が生じるということを明らかにしたものである。

第4章は「視覚提示デバイスの特性分析」と題し、近年世界各地に設置されている CAVE や CABIN などの IPT 方式のディスプレイに着目し、HMD を用いたシステムとの比較を行うことにより、それぞれのディスプレイにおける利点と欠点を解析し、その結果、IPT の視覚提示品質が良好であることの本質は、空間に固定した画像提示面を使用していることにあることを明らかにしている。頭部運動、特に回転運動を行った場合における提示画像の安定性は固定スクリーン型の方が優れており、所謂シミュレータ酔いを喚起しにくい性質を持っていることを理論的に示している。逆に、固定スクリーンを用いて自然な立体視を行うには、操作者の運動に従って時間的に変動する非対称透視投影によって生成される画像をスクリーン上に表示することが必要であり、HMD を利用した実環境へのトレイグジスタンスで常用される光軸に対称な視野を持つ通常のカメラをそのまま使用すると様々な問題が生じることを指摘し、続く第5章と6章へ向けた問題提起を行っている。

第5章は「HMD 利用時の頭部回転運動に対する画像安定化」と題し、システム全体にわたる時間遅れや CG 画像生成時のフレームレートが十分に確保できない場合に HMD を用いたシステムでは世界が揺れてしまうという従来の問題点の解決を図っている。すなわち提案する方式は、操作者側にローカルな高速ループを構成することにより、等価的に高フレームレートを実現し遅延の補償を行う手法である。これは視野角が多少限定されるという短所はあるものの、頭部運動に対する画像の振る舞いにおいて等価的に固定スクリーン型システムの有する良好な性質を HMD においても実現するものであり、世界を安定化させる効果を持つと主張している。

第6章は「固定スクリーンを利用した実環境へのトレイグジスタンス」と題し、もともと3次元 CG 環境において多用され頭部運動感覚と視覚との整合性確保が容易な固定スクリーン型システムを、実環境へのトレイグジスタンスに適用する場合に生じる第4章で指摘した実時間での時変非対称透視投影の問題を解決する手法を提案している。すなわち、複雑な三次元空間の再構築や画像の三次元的な変形操作を行わず、あくまでカメラで取得した二次元画像を二次元画像のまま扱おう方式であり、そのためにカメラの姿勢を常に一定に保つリンク機構を提案し設計試作して、これと二次元的な画像のシフト・拡大縮小操作により固定スクリーンを利用しながら、正確な実環境へのトレイグジスタンスが実現できることを構成論的に示している。

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、本研究では人工現実感ないしはトレイグジスタンスにおいて、HMD と IPT における視覚と頭部運動の整合性を解析し、3次元 CG 空間提示において HMD の短所とされる回転運動への追従性能を向上させる手法を提案しその効果を実証するとともに、逆に従来困難とされていた IPT を用いた遠隔実環境の実時間提示を可能とするための視覚入力システムを提案しハードウェアを構成して提案方式の効果を実証して、あわせ頭部運動に対して安定な3次元空間を構築するための設計指針を明らかにして今後の応用への道を拓いたものであって、計測工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。