

氏名	かわいまさゆき 川井昌之
学位(専攻分野)	博士(工学)
学位記番号	工博第2100号
学位授与の日付	平成13年11月26日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当
研究科・専攻	工学研究科機械工学専攻
学位論文題目	ハプティックインターフェースにおけるカップリングインピーダンスの高剛性化に関する研究

論文調査委員 (主査) 教授 吉川恒夫 教授 井上紘一 教授 足立紀彦

論文内容の要旨

本論文は、人工現実感で用いられるハプティックインターフェースの新たな提示手法について扱ったものである。操作者が仮想物体をより現実近く感じるためには、仮想物体と提示装置との間に設定するカップリングインピーダンスを高く設定する必要がある。しかしながら、提示の際の安定性は計算機のサンプリング間隔の影響を受けるため、カップリングインピーダンスを高く設定すると提示が不安定になってしまう問題が生じる。そこで、本論文では安定性を害さずにカップリングインピーダンスを向上させる手法として、連続値インピーダンスを利用したハプティックインターフェース(第2, 3, 4章)と、内力/外力に分離したカップリングインピーダンスを用いたハプティックインターフェース(第5章)を提案し、その効果について考察している。論文は、序論と結論を含め6章からなっている。

第1章は序論であり、人工現実感におけるハプティックインターフェースについて紹介し、そこで用いられるカップリングインピーダンスの役割とその安定性における問題点についてまとめ、これまで報告されてきたハプティックインターフェースの安定性に関する研究について紹介している。

第2章では、提示装置にハードウェアのばねを取り付け、そのばねによるインピーダンスをカップリングインピーダンスに利用する手法について提案している。本手法では、ハードウェアのばねが計算機のサンプリング間隔の影響を受けずにインピーダンスを発生させるため、より安定な提示が可能となる。また、剛体表面を持つ静止した仮想物体を提示する際の安定性について受動性の観点から考察し、解析的にその有効性を示している。さらに実際に2自由度提示装置を製作し、実験的にその有効性について確認した。

第3章では、第2章で用いた手法においてハードウェアのばねに代わり、自由にインピーダンスを調整できるアナログ回路を提示装置に設置し、その回路により発生するインピーダンスをカップリングインピーダンスに利用する手法を提案している。まず、VCA (Voltage Control Amplifier) を用いた回路の実際の構成方法について論じ、この回路を用いた手法において剛体表面を持つ静止した仮想物体を提示する場合の安定性について受動性の観点から考察している。さらに2次元の仮想環境を提示するための回路と提示装置を実際に製作し、実験によりその有効性について確認した。

第4章では、第3章で扱ったアナログ回路を用いて仮想環境内を動く仮想物体を提示する場合の効果について考察した。この際、回路により発生する連続値インピーダンスをカップリングインピーダンスに利用する場合と仮想物体の動特性に利用する場合の2種類の方法を提案している。また、それぞれの手法について受動性を解析的に考察し、その有効性を示している。さらに、各手法において実験を行い、その有効性を確認した。

第5章では、2台のハプティックデバイスを用いて、ひとつの仮想物体を把持する場合について扱っている。ひとつの物体に複数の点から力が加えられた場合には、その力は物体の運動に関与する外力と各々の力で相殺される内力に分解できることが知られている。そこで、仮想物体にかかる力を内力と外力に分離してカップリングインピーダンスを設定する手法を提案し、その効果を受動性の観点から考察している。特に、本手法を用いることによってシステムの受動性が単一物体に対

する提示手法に対する既存の受動性の研究に帰着できることを示し、従来手法より高いインピーダンスの設定のもとに安定な提示が可能であることを示している。また、実際に2台の2自由度提示装置を用いて実験を行い、その有効性を確認した。第6章は結論であり、本論文で得られた成果について要約している。

論文審査の結果の要旨

本論文は、人工現実感で用いられるハプティックインターフェースにおいて、安定性を損なうことなくカップリングインピーダンス性能を向上させるための手法について研究した結果をまとめたものであり、得られた主な成果は次のとおりである。

1. 提示装置にハードウェアのばねを取り付け、そのばねによるインピーダンスをカップリングインピーダンスに利用する手法について提案した。また、剛体表面を持つ仮想物体を提示する際の受動性について考察し、実験的にその有効性を確認した。
2. 自由にインピーダンスを調整できるアナログ回路を製作し、そのインピーダンスをカップリングインピーダンスに利用する手法について提案した。また、剛体表面を持つ静止した仮想物体を提示する場合の受動性について考察し、実験的にその有効性を確認した。
3. インピーダンス生成回路を用いた手法において、仮想環境内を動く仮想物体を提示する場合について考察した。その際、連続値インピーダンスをカップリングインピーダンスに利用する方法と仮想物体の動特性に利用する方法の2種類の方法について解析的に受動性を考察し、実験的にもそれらの有効性を確認した。
4. 2台のハプティックデバイスを用いてひとつの仮想物体を把持する場合の提示手法として、仮想物体にかかる力を内力と外力に分離してカップリングインピーダンスを設定する手法を提案した。また、その効果を受動性の観点から考察するとともに、2台の2自由度提示装置を用いて実験を行いその有効性を確認した。

以上を要するに本論文は、ハプティックインターフェースの性能向上のための新たな手法を提案し、その安定性解析と実験的検討を行ったものであり、学術上、実際上寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士（工学）の学位論文として価値あるものと認める。また、平成13年9月27日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認められた。