審 査 の 結 果 の 要 旨

氏　　名　　中村 琢

本論文は「静電吸着を活用した大画面上でのマルチユーザ力覚提示システム」と題し，大画面の映像ディスプレイ上における多点での力覚提示手法について論じている．大画面ディスプレイを用いたテーブルトップインタフェースは，複数ユーザでの協調作業やアミューズメントなどの幅広い分野で活用が進んでいる．現状の大画面インタフェースではタッチ入力による直感的操作が実現されているが，画面内の仮想物体からの反力等をユーザにフィードバックできれば，より直感的なインタラクションが可能となる．このためには，大画面ディスプレイ上に容易に実装でき，映像情報と同期した力覚提示を行える技術が不可欠である．本論文では，映像ディスプレイとの統合が容易で，かつ，多点化にも適した手法として，静電吸着力によるブレーキを用いたパッシブ型の力覚提示手法を提案し，具体的なシステムの構成方法を論じている．

提案システムは，互いに絶縁した対向電極間に生じる静電吸着力によって摩擦力を変調することで力覚提示を行う．映像ディスプレイ上に画面全体を覆う透明電極を配置し，その上にユーザが指で操作するパッドを配置する．パッドの底面にも電極が設置されており，ユーザがパッドを操作した際にパッドと透明電極との間に適切な電圧を印加することで，パッドへの摩擦力が変化し力覚提示が実現される．画面上に設置した複数のパッドに異なる電圧を印加することで，独立した力覚提示が行えることが論文中で示されている．

本論文が提案する静電吸着による力覚提示では，提示力の根幹をなす静電吸着の動的応答制御が重要となる．静電吸着は古くから多様な用途に用いられてきているが，吸着力の動的応答制御については十分な検討がなされていない．本論文では，静電吸着力の動的応答制御を実現するために，帯電による電気的な応答とギャップ変動による機械的な応答の両者を表現するモデルを構築し，実際の静電吸着力の応答を適切に説明できることを示している．さらに，ギャップ変動を後述する静電容量式ビルトインセンサで検出し，そのギャップ情報と提案モデルの逆モデルを用いることで，静電吸着力の動的応答が制御できることを実証している．

提案システムでは，映像情報と同期した力覚提示を行うためにパッドの位置検出が不可欠である．また，上述の静電吸着力の動的応答制御のために，パッドと透明電極との間の微小ギャップ推定も要求される．本論文では，これらの要求を満たすセンサとして，複数パッドを対象とした静電容量式ビルトインセンサを構築し，位置とギャップの同時検出を実現している．提案センサは，静電吸着力の発生に用いる電極を直接利用して位置とギャップの検出を行うため，容易に提案システム上に実装可能である．このセンサの特性に関して，複数パッド間の干渉や，静電吸着力との干渉について考察し，その影響を明らかとしている．さらに，実際に構築したセンサシステムを用いて，映像情報と同期した複数点での力覚提示をデモンストレーションしている．

提案システムはブレーキを用いたパッシブな力覚提示システムであることから，パッシブ型力覚提示に特有の問題である「粘る壁」等の影響を受ける．本論文では，等方性ブレーキを用いたパッシブ力覚提示システム全般を対象に，そうした問題の一般化を行うとともに，センサシステムの拡張による解決手法を提案している．具体的には，提案した静電容量式ビルトインセンサを拡張し，一つのパッドに複数の電極を設けて，それらの出力差から操作力の方向を推定する．そして，推定された操作方向情報に基づいて力覚提示を行うことで，壁の粘着感を大幅に低減できることを示している．

さらに本論文では，提案システムの将来的な拡張に向けた要素技術を複数提案している．具体的には，提示パッドに可変構造を持たせることで画面法線方向の押し込みに対して硬軟感提示を実現する手法を論じ，静電吸着活用による画面上での多様な力覚・触覚提示の可能性を示している．また，現状の提案システムは，各パッドに配線を必要としているが，将来的な無配線化に向けて無線給電手法の検討を行っている．具体的には LC 共振を用いた多点無線給電の可能性と技術課題を議論している．

以上のように，本研究は，静電吸着力を活用することで，映像ディスプレイ上での多点力覚提示システムというユニークなシステムを実現している．本研究の中で提案された静電吸着の動的応答制御手法や，ビルトインセンシング手法は，本提案システムのみならず，静電吸着力を活用した他の多くの研究にも有用な知見を与えるものである．

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．