

審査の結果の要旨

氏名 木村 文信

本論文は「柔軟物体が有する表面触感の再現提示手法に関する研究」と題し、全7章から構成されている。近年、バーチャルリアリティやヒューマンインタフェースの分野において、物体表面に指で触れた際の触感を再現提示する触感提示技術への期待が高まっている。本論文では、そうした触感提示技術の中で、柔軟物体を指で押し込んだ際に得られる硬軟感を再現提示するデバイス技術とその制御手法について論じている。

本論文では、従来から知られる硬軟感提示手法の一つである「接触面積制御」による手法に着目し、この手法を発展させることで多様な硬軟感の再現提示を実現している。従来手法では、指先からの押し込み力に応じて指先にシートを巻き付け、指先とシートの間接触面積を変化させることで柔軟物体の硬軟感を提示していた。こうした従来研究では、再現される柔軟物体が「均一な構造」をした「弾性体」に限定されてきたが、硬軟感提示の将来的な応用・実用を考えると、このような単純な触感のみでは不十分であると考えられる。例えば、硬軟感提示の有望な応用先として医療における遠隔触診などが考えられるが、人体触感を模擬するためには、人体内部の骨やしこり等に起因する不均一な構造や粘弾性感の提示技術を確立することが不可欠である。そもそも、従来研究において提示対象が単純なものに限定されてきたのは、機構面および計算モデル面の制約に由来する。機構面の制約としては、従来研究における提示装置が機構的に1自由度しか有していないことが挙げられる。一方、計算モデル面での制約には、接触面積を求める際に用いる計算モデルをヘルツの接触理論をベースにしていることが挙げられる。ヘルツ理論は、均一な半無限体との静的な接触状況を表すため、上記のような不均一な粘弾性体との接触は、従来の硬軟感提示研究では十分に検討されていなかった。そこで本論文では、上記制約を解消することによって多様な柔軟物体の触感を再現することをめざし、その手法をデバイス機構面と触感提示用計算モデルの両面から論じている。具体的には、(1)粘弾性物質で構成される柔軟物体、(2)厚みが有限な柔軟物体、(3)しこりを内包する柔軟物体、の触感提示手法を明らかとしている。

一つ目の粘弾性物質の触感再現に関しては、粘弾性体との接触状況を表現するために非線形ダンパ要素を付加した動的接触モデルを提案し、これを線形化して硬軟感提示装置に実装する方法を論じている。提案手法に基づく提示実験では、指先と提示デバイス間の接触面積を、実際の粘弾性物体と同様に制御できることが示されている。

二つ目の厚みが有限な柔軟物体は、例えば硬い面上に置かれた薄いスポンジを押し込んだ際に得られるような触感の再現に取り組んだものである。柔軟物体の厚みが有限な場合、構成する物質の稠密度によって触感が変化し、稠密度が低く薄い物体(ヒト肌やスポンジなど)の場合は特に特徴的触感が得られる。このような柔軟物体が硬い物体(設置台や骨など)の上に配置された状態では、押し込み量がある一定量を超えると底面側に配置される物体の硬さを知覚することができる(本論文では、この感触を「底着き感」と称している)。これは、従来研究の接触面積制御のみでは表現が困難な触感であり、本論文では、接触面積に加えて指先に巻き付けるシート張力を制御することで触感提示の実現を図っている。このために、接触面積と張力という2種のパラメータを独立に制御できる2自由度の提示装置を提案し、適切な張力制御によって底着き感および仮想柔軟物の厚さの違いを提示可能であることを示している。

三つ目のしこりを内包する柔軟物体の触感は、提案した2自由度提示装置において、張力が非常に大きい場合にディスプレイ使用者がしこりを錯覚することに基づいたものである。本論文で見出したこの触錯覚現象を積極的に利用することで、柔軟物体の柔軟性と内包されるしこり感を同時に提示する手法を提案している。提案手法を用いて提示実験を行った結果、本手法によってサイズが異なるしこりの触感を再現できることが確認されている。また、シートに掛かる張力を左右独立に制御することで、なぞり動作に対応したしこり感の提示手法を開発している。

さらに本論文では、上記の触感および提示手法を比較し、各提示手法の統合についても議論している。本論文で取り上げた各触感は、「柔軟性」「粘性」「構造の特徴」といった3つの項目(基本要素)に集約できることを指摘し、それに基づいて統合提示のコンセプトモデルを提案している。

以上のように、本論文では、従来、単調な触感の再現にとどまっていた硬軟感提示の技術に関して新たな観点から議論を行い、従来提示が行われていなかった触感の再現提示を可能とするデバイス構成や手法を示している。また、提案した三つの特徴的触感の関連性や統合可能性についても論じられており、今後の触感提示研究に寄与する内容と認められる。

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。