The University of Osaka
Institutional Knowledge Archive

Title	触覚情報の多重化提示
Author(s)	吉元, 俊輔
Citation	大阪大学, 2012, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/24729
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

https://ir.library.osaka-u.ac.jp/

The University of Osaka

【32】

氏　　名	吉　元　俊　輔（よし もと しゅん すけ）
博士の専攻分野の名称	博　士（工学）
学　位　記　番　号	第　２５６８０　号
学位授与年月日	平成24年９月25日
学位授与の要件	学位規則第４条第１項該当 基礎工学研究科機能創成専攻
学　位　論　文　名	**触覚情報の多重化提示**
論文審査委員	（主査） 教　授　大城　　理 （副査） 教　授　佐藤　宏介　　教　授　野村　泰伸

論　文　内　容　の　要　旨

本研究は，複数の情報を一つの感覚伝達経路を使って伝送し，高品質・高機能な感覚を提示する，感覚情報の多重化提示という新しい概念のもと，力触覚提示の利用価値に応じた装置の設計指針を示すものである．視覚や聴覚に比べ，力触覚の提示では装置が情報を遮蔽するため，触覚情報を多重化提示することは困難であった．本研究では，触覚伝達経路の構造に着目し，経路を構成する六つの要素のうち，三つの階層における制御方法を提案することでそれぞれ異なる多重化提示を実現し，力触覚提示の刺激階層と利用価値の関係性を明らかにした．

物体制御による多重化提示では，物体が有する物性そのものを制御し，人工的な力覚と触覚を同時に生成する．その実現方法として，ダイラタント流体の濃度調整による粘性制御方法を提案した．撫で動作を行った際に提示可能な力触覚を感性評価によって分析したところ，力覚と触覚を含む複合的な感覚が生成可能であることが確認された．

受容器制御による多重化提示では，小型な装置によって受容器活動を制御し，人工的な触覚と実際の力覚を同時に生成する．その実現方法として，単一の刺激電極のみを用いて皮膚の機械的な変形情報を伝える方法を提案した．なぞり動作を行った際に提示可能な感覚を調べたところ，質感の一つである粗さの表現が可能であることが確認された．

神経制御による多重化提示では，刺激と知覚の部位が異なるために機械的な遮蔽の問題を解決し，実際の力触覚に人工的な触覚を重畳することができる．その実現方法として，指中節に陰極電気パルス刺激を与えることで実際の力触覚を損なうことなく触覚を重畳させる手法を提案した．指の押し下げ動作の教示を行ったところ，動作結果から実際の感覚と人工的な感覚が融合して知覚される可能性が示唆された．さらに，微細な道具操作の支援への応用を行ったところ，位置と力をそれぞれ教示可能であることが確認された．

本研究において実現した多重化提示と刺激階層の関係を整理すると，触覚伝達経路において対象物に近い要素を制御するほど仮想感覚の"品質"を向上させる多重化提示を実現でき，脳に近いほど現実感覚の"機能"を向上させる多重化提示を実現できることが明らかとなった．本研究は，情報が有する"品質"と"機能性"に応じて力触覚提示装置を設計するための指針として貢献し，力触覚提示の普及を促進するものであると考えられる．

論　文　審　査　の　結　果　の　要　旨

本論文では，感覚情報の多重化提示という新しい概念のもと，力触覚提示装置の利用価値に応じた設計指針に関して述べる．本研究で定める感覚情報の多重化提示とは，複数の感覚情報を同一の感覚伝達経路を使って伝送し，高品質・高機能な情報を提供する技術であり，字幕の重畳表示やステレオ再生など，視覚や聴覚においては実用レベルで利用されている．一方，力触覚における情報の多重化提示は実現が極めて難しい．その理由として，力触覚を提示する刺激装置が情報を機械的に遮蔽するという問題が考えられる．触覚情報は筋骨格系の緊張によって生じる力覚と皮膚の変形によって生じる狭義の触覚の二つの情報から成るが，力覚と触覚を同時に提示することを力触覚における多重化提示の要件とする．多重化提示の実現方法は提示する情報の観点から以下の三つに分類する．

- 人工的な感覚に人工的な感覚を多重化する方法（人工現実感）
- 人工的な感覚に実際の感覚を多重化する方法（拡張仮想感）
- 実際の感覚に人工的な感覚を多重化する方法（拡張現実感）

物体に触れたという力学的な情報は，筋骨格系の緊張と皮膚の変形に変換され，複数の受容器の活動として脳に伝達する．この触覚伝達経路を，物体・道具・身体・受容器・神経・脳の階層に分類する．原理的には，いずれかの階層に対して制御を行なうことで力触覚を生成できる．多重化提示の観点からは，対象物に近いほど刺激装置の空間解像度は高くでき高品質な多重化提示が可能であるのに対し，中枢に近いほど刺激装置の触覚情報への干渉が少ないため機能的な多重化提示が実現できると考えられる．本研究では多重化提示と刺激階層の価値の関係を明らかにするために，物体，受容器，神経に対する制御による多重化提示を提案した．

(1) 物体制御による多重化提示
物体制御においては物体そのものにより力覚と触覚を含む複合的な感覚を生成することができるが，実際の感覚は装置によって遮蔽される．従って，人工現実感における多重化提示の要件が満たされる．その実現例としてダイラタント流体の濃度調整による粘性制御を実現し，力覚と触覚を一つの系で同時に提示することができる力触覚提示装置を提案した．本装置を用いて，撫で動作を行った際に提示可能な力触覚を感性評価によって分析したところ，複合的な感覚を生成できることが確認された．

(2) 受容器制御による多重化提示
受容制御においては装置が皮膚に接触するために実際の触覚は得られないが，実際の力覚と人工的な触覚を提示することは可能である．従って，拡張仮想感における多重化提示の要件が満たされる．その実現例として単一の電気刺激によって受容器を刺激し，実際の力覚を共存させながら曲面形状に基づく粗さ感覚を伝送する方法を提案した．なぞりの動作による質感の知覚に関する実験を行ったところ，粗さを基準に段階的な識別が可能であることが確認された．

(3) 神経制御による多重化提示
神経制御においては提示可能な触覚の空間解像度が低いため機能は不十分であるが，現実環境から得られる力触覚を損なわない．従って，拡張現実感における多重化提示の要件が満たされる．その実現例として指中節に陰極電気パルス刺激を与えることで実際の力触覚を損なうことなく触覚を重畳させる手法を提案した．指の押し下げ動作と道具操作において，力と位置を教示する触覚重畳システムの性能評価を行ったところ，実際の感覚と人工的な感覚の融合が可能であることが示唆され，微細な道具操作を支援できることが確認された．

本研究によって実現された多重化提示と刺激階層の関連性を整理すると，触覚伝達経路において対象物に近い階層を制御するほど仮想感覚の品質を向上させる多重化提示を実現でき，脳に近いほど現実感覚の機能を向上させる多重化提示を実現できることが明らかとなった．触覚情報の多重化提示に関する取り組みは，情報が有する品質と機能性の割合に応じて力触覚提示装置を設計するための指針として貢献し，さらに，力触覚提示の普及を促進することに寄与すると考えられるため，博士（工学）の学位論文として価値のあるものと認める．