

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 16 日現在

機関番号：12612

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2012～2014

課題番号：24700125

研究課題名(和文)多感覚情報ディスプレイの開発と効果的な情報提示条件

研究課題名(英文)The development of visual, force, and tactile information multi-modal display and effective information-giving condition

研究代表者

水野 統太 (Mizuno, Tota)

電気通信大学・情報理工学(系)研究科・助教

研究者番号：00337875

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：視覚に提示された物体の動きに合わせて力覚や触覚などの体性感覚情報を提示することにより、より効果的な情報提示が可能になる。本研究では液晶ディスプレイ(LCD)の裏面にPC制御のリアモータによって左右に移動可能な錘を取り付け、また左右の把持部に振動子を取り付けることにより、視覚・力覚・触覚を刺激できるマルチモーダルディスプレイを試作した。本研究において、視覚情報、振動覚情報、視覚情報と振動覚情報が、重さ感覚の知覚に作用するか調べた。本研究により、これら感覚間の知覚特性と効果的な情報提示条件を示すことができた。

研究成果の概要(英文)：In this study, a technique designed to enhance virtual reality (VR) effects by simultaneously stimulating multiple sensations has been investigated, and significant interactions among such perceptions are expected to be evoked under multiple-simultaneous stimulation conditions. To accomplish this purpose, we have been developing a hand-held vision-tactile-force display device. The display device includes a liquid crystal display and a back mounted moveable weight operated by a linear motor and two vibration motors in the handgrips. The display device is capable of presenting visual, weight, and vibrotactile information simultaneously. Using this hand-held multimodal device, it was determined that VR perceptions could be enhanced by the interactions by multimodal stimulations.

研究分野：情報学

キーワード：マルチモーダル インタフェース インタラクション

1. 研究開始当初の背景

バーチャルリアリティの分野において、「実際にそこに存在しない物を、あたかもそこに存在するように錯覚・認知させる」ことが課題のひとつである。この課題を解決する1つの手法として、複数の感覚に対し同時に情報提示を行うことで感覚間に相互作用を生起させ、バーチャルリアリティを構築させる方法がある。しかし、感覚間の相互作用の研究は少なく、効果的な情報提示条件は明確に示されていないかった。

これに対し我々は、視覚と力覚を同時に情報提示できる手持ち型マルチモーダルディスプレイを試作し、バーチャルリアリティを構築できるのか検討してきた。

このマルチモーダルディスプレイは、表面に液晶ディスプレイ(LCD)、裏面に錘とサーボモータが取り付けられた機構となっている。LCDに映し出された映像と裏面の錘を同期させて移動させる。このことにより、視覚には映像を、両手で感じる力覚にはディスプレイの重心移動の情報を同時に提示することが可能である。本ディスプレイを把持してもらい視覚と力覚に対し同時に情報提示を行うと、これらの感覚間に相互作用が生起され、視覚情報があたかも質量を持っているような感覚が生起されることがそれまでの実験研究によって明らかとなっていた。これは、それまでの手持ち型ディスプレイには得られていない特性であった。さらに、LCDに表示される物体の形や色、大きさ等の視覚情報を変化させると感覚間の相互作用も変化し、搭載している錘の質量は変わらないにもかかわらず、力覚が変化するという可能性も見られている。

これらのことから、この機構・方式による情報提示方法はバーチャルリアリティを構築させることが可能であった。それまでの情報提示方法として視覚と力覚の2感覚のみであった。これを、触覚を含めた3感覚を同時提示可能な機構・方式に拡張することで、これまで構築していたバーチャルリアリティのリアルな感覚が増す可能性があった。そこで、この開発したディスプレイに対し、把持部に振動子を取り付けることにより視覚と力覚に加え、触覚に対し振動刺激を同時に提示できるよう改良を加えることにより、これまでの情報提示方法よりもリアルな感覚を増加させることができないか検証する必要がある。さらに、これら感覚間の知覚特性について研究し見地を深めることで、開発するディスプレイに留まらず、現存するデバイスや今後開発されるデバイスに対して効果的な情報提示条件を示す必要がある。

バーチャルリアリティを構築するには包含的なシステム、つまり人が内側から眺めるような没入的なシステムが必要なことが多い。そのため、デバイスも大型であることが多い。これに対し、本機構・方法を用いたディスプ

レイは、映像を移動させることにより視覚を映像に集中させ没入感を与えている。これに加え映像の移動と錘の重心移動を同期させ情報提示を行うことで、小型の把持タイプディスプレイでバーチャルリアリティを構築する。

ただし、これまでの研究は視覚と力覚の2感覚のみの知覚特性であり、触覚などを含めた多感覚に対する知覚特性は明らかになっておらず、また、3感覚を同時に提示した知覚特性の研究は少なく、感覚間の相互作用についての知見を得ることは、効果的な情報提示条件の明示に繋がると考えられた。効果的な情報提示条件が明示されれば、現在あるデバイスの根本的な変更の必要はなく、情報提示方法を少し変えることで、これまでよりも体感的なバーチャルリアリティの構築や、より体感的で人に優しいなどの特性を持つヒューマンインタフェースの開発が可能となることなどが期待され、学術的に見て推進すべき重要な研究課題であった。

2. 研究の目的

本研究において、視覚や力覚、触覚の3感覚に対して同時に情報提示できるディスプレイを開発し、感覚間の知覚特性について検討し、効果的な情報提示条件を研究した。

視覚・力覚、力覚・触覚、視覚・力覚・触覚に対し様々なパターン(詳細は「研究方法」で述べる)の情報を同時に提示することで、それぞれ感覚間に生起される相互作用について検討、また、各感覚への相互作用の起こりやすいパターンを研究し、効果的な情報提示条件を明示することを目的とした。

3. 研究の方法

本研究では、(1)視覚・力覚・触覚の3感覚に対して同時に情報提示できるマルチモーダルディスプレイの開発を行った。(2)視覚・力覚への情報提示による感覚間の知覚特性、(3)力覚・触覚への情報提示による感覚間の知覚特性、(4)視覚・力覚・触覚への情報提示による感覚間の知覚特性を、心理物理実験を中心に各段階により研究する。特に、これまで試作したマルチモーダルディスプレイにおいて、視覚・力覚への情報提示した場合、搭載している錘の質量は変わらないにもかかわらず、両手で感じる力覚が変化するという可能性が見られている。このことから情報の同時提示方法により、ひとつの感覚が相互作用によりもう一つの感覚知覚の感度を高める可能性があるため、(2)、(3)、(4)は力覚に注目し研究を行った。

4. 研究成果

(1) マルチモーダルディスプレイ開発：図1に開発したディスプレイを示す。表面にLCD、裏面に錘とサーボモータ、把持部には振動子を取り付けられた機構となっている。開発は、プログラミング言語(Microsoft

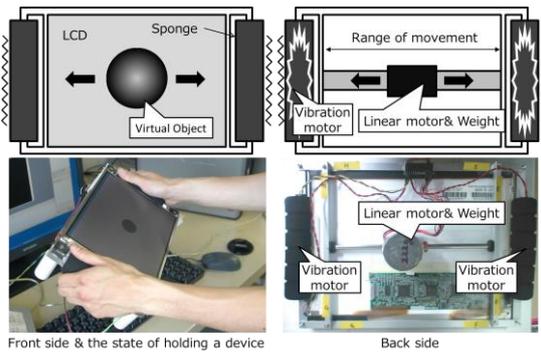


図 1. 開発したマルチモーダルディスプレイ

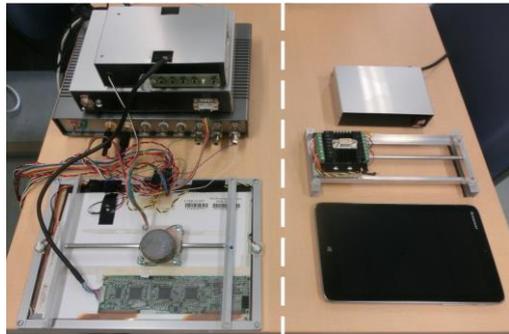


図 2. 改良したマルチモーダルディスプレイ (左：これまでのシステム、右：改良後)

Visual C++) を使用した。OpenGL と呼ばれる映像の API を使用し、LCD に移動する球を作成した。LCD に映し出された移動する球の映像と裏面の錘の位置、振動強度を同期させた。それぞれの感覚に対して、視覚には映像を、両手で感じる力覚にはディスプレイの重心移動の情報を、両手の触覚に振動情報を、それぞれ同時に提示可能なディスプレイである。本ディスプレイの研究開発の困難さは、複数の感覚に対し“同時に”情報提示を行う点にあった。プログラムから各デバイスに同時に命令を送った場合、デバイスの応答時間に差があるため、動作し始めるまでの時間に若干のズレが生じる。複数の感覚に対する情報提示に若干の時間的なズレが生じると、感覚間の相互作用が生じにくくなりバーチャルリアリティのリアルな感覚が減少してしまう。各デバイスに同時に命令を送るのではなく、各デバイスが同時に動作するようなプログラム設計を行うことで、情報の同時提示が可能になった。

開発したディスプレイは把持タイプであり、また、全体の重量に対する錘の重量の比率が大きいほど重心移動による力覚知覚が明瞭化されるため、錘以外の重量の軽量化を図る必要がある。そのため、マルチモーダルディスプレイに使用する液晶ディスプレイやセンサ、モータを軽量のものを用いた。また、このシステムを更に改良し、タブレットに装着するタイプのディスプレイを開発した。図 2 の右側に示す。これまでのディスプレイは、プログラムを起動させるための PC からマルチモーダルディスプレイへ映像信号を送る形式を取っていたため、タ

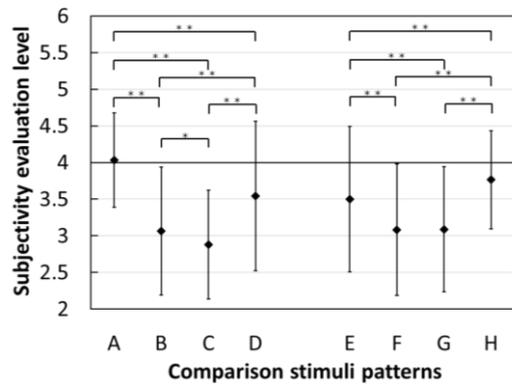


図 3. 力覚の知覚量

ブレットを用いることにより、更なる小型化・簡略化が実現できた。

(2) 視覚・力覚への情報提示による感覚間の知覚特性

①目的: OpenGL を用いて作成した球を視覚刺激とし、ディスプレイ裏面に取り付けられた錘を移動させると、マルチモーダルディスプレイの重心が移動する。両手でデバイスを把持した状態で重心移動させると手に加わる力が変化する。これを力覚刺激とした。先行研究における情報提示方法は、視覚情報と力覚情報の移動方向は同方向であった。これは、実際に起こりうる事象の再現である。これに対し、視覚情報と力覚情報の移動方向を逆方向にすることにより、実際には起こりえない・起こりにくい事象の構築が可能である。この逆方向への提示における感覚間の相互作用を調べる実験を行った。

②実験: 視覚刺激と錘を同方向に動かす基本刺激と反対方向に動かす比較刺激を交互に提示し主観評価を用いて比較実験を行った。主観評価は 7 段階とし、基本刺激と比較刺激を提示し、同じ重さと知覚した場合 4 と回答、比較刺激が基本刺激より軽く感じた場合 3-1 と小さい数字、重く感じた場合を 5-7 と大きい数字を回答してもらった。球を中央から左に 6.8cm、錘を左に 5.8cm 移動させる(左)パターンと、右方向に同様に移動させる(右)パターンの 2 つとした。比較刺激は、球と錘の順で (A) 左 6.8cm-左 5.8cm、(B) 左 6.8cm-左 2.9cm、(C) 右 6.8cm-右 2.9cm、(D) 右 6.8cm-右 5.8cm、(E) 右 6.8cm-左 5.8cm、(F) 右 6.8cm-左 2.9cm、(G) 左 6.8cm-右 2.9cm、(H) 左 6.8cm-右 5.8cm、中央から移動させる合計 8 パターンである。比較は(左)と(A)-(D)、(右)と(E)-(H)の組み合わせで行い、それぞれ比較刺激の提示順が予測できないようランダムに提示した。被験者は 21-58 歳の男性 6 名、女性 1 名で行った。

③結果および考察: 全被験者における力覚の知覚量の平均値と標準偏差を図 3 に示す。ほとんどの力覚の知覚量が 4 以下となったことから、比較刺激が基本刺激よりも重く感じる場合がほとんどなかったことが示唆される。また、球の移動方向に関わらず錘の移動

位置が左右の端への移動の場合に力覚の知覚量が高くなった。このことから被験者の多くが視覚刺激の球の移動した方向に強い力覚を知覚していると考えられる。これは視覚情報により、あらかじめ重くなる方向を予測したと考えられる。これにより、視覚情報の移動方向は重さの知覚に影響を与えること、力覚の知覚には視覚からの情報が大きな役割を果たしている可能性が示唆された。

(3) 力覚・触覚への情報提示による感覚間の知覚特性

①目的：視覚と力覚刺激に、更に振動刺激を加え 3 感覚へ同時に刺激提示を行うことで、これまでよりも更にリアリティ感が増す可能性がある。そこで開発したディスプレイを用いて、3 感覚同時提示における効果的な情報提示条件を得ることを目標に、先に、力覚と振動覚情報を同時に提示したときの力覚への影響について心理物理的に検討した。

②実験：ディスプレイを把持した状態で、重心移動量の最大の力覚刺激のみの刺激を基本刺激とする。

基本刺激に振動を加えた刺激を比較刺激とする。力覚刺激パターンを図 5(a) に示す。

錘の位置移動を中央から (A) 左端、(B) 左、(C) 右、(D) 右端の 4 種類を設定した。錘の移動位置まで速度は、(A)、(D) を 8.2 [cm/s] (B)、(C) を 4.1 [cm/s] で、等速直線運動で移動させた。錘の動作開始と停止時には加速度が必ず発生するが、加速度による反動や衝撃を感じさせないように緩やかに起動・静止させた。

使用する振動強度は最大を 0.32 [G] とし、左右の振動強度を 0.15 [G] から (1) 左 0.32 [G] : 右 0.02 [G]、(2) 左 0.25 [G] : 右 0.08 [G]、(3) 左 0.15 [G] : 右 0.15 [G]、(4) 左 0.08 [G] : 右 0.25 [G]、(5) 左 0.02 [G] : 右 0.32 [G] の 5 種類、設定値まで錘の移動に合わせて線形に増加・減少させた。比較刺激は位置設定 4 種類と振動強度の設定 5 種類を組み合わせた計 20 パターンである。被験者に対し同方向に対する基本刺激と比較刺激を交互に提示し、力覚に差異があったかを口頭で答えてもらった。刺激提示はランダムな順番で全種類を各 1 回ずつ提示した。

評価方法は 7 段階の重さ感覚についての主観評価を用いた。基本刺激と同じ重さを感じた場合を 4 とし、比較刺激の方が軽く感じた場合を 3~1 と軽いほど小さい数字、重く感じた場合を 5~7 と重いほど大きい数字を回答してもらった。実験の様子を図 6 に示す。被験者は立位で地面と並行になるように両手でデバイスを把持してもらった状態で実験を行った。実験中、被験者に目隠しとピンクノイズを流したヘッドフォンを装着させることにより視聴覚からの影響の軽減を図った。被験者は 21~35 歳、男性 5 名、女性 1 名の健常者計 6 名とし、1 日 1 回、計 15 回の実験を行った。本実験は、倫理的配慮によりヘルシンキ宣言に基づき実施した。

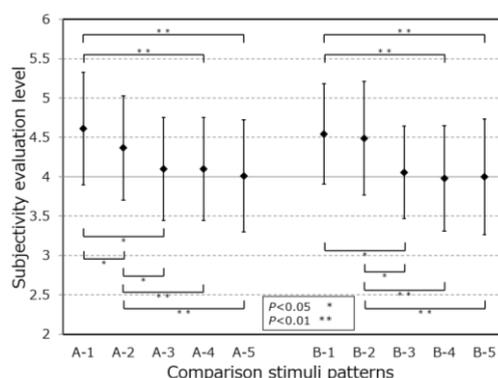


図 6. 振動刺激による力覚の変化

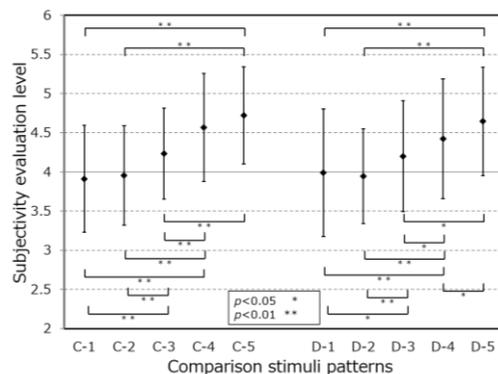


図 7. 振動刺激による力覚の変化

③結果および考察：振動刺激による力覚の変化を図 7、8 に示す。グラフの主観評価値は全被験者の平均値、エラーバーは標準偏差である。結果より、力覚刺激の提示方向と同方向に強い振動刺激を与えた場合において、比較刺激の主観評価値の平均が 4 以上であった。また、力覚の提示方向と反対方向に強い振動刺激を与えた場合においては、主観評価値が 4 に近い値であった。統計解析の結果、力覚の提示の同方向と反対方向の刺激提示において、有意な差が見られた (A-1~A-5 : $F(4; 420) = 16:57, p < 0:01$ 、B-1~B-5 : $F(4; 420) = 19:16, p < 0:01$ 、C-1~C-5 : $F(4; 420) = 33:46, p < 0:01$ 、D-1~D-5 : $F(4; 420) = 18:05, p < 0:01$)。これらのことから、力覚・振動の同時提示を行った際、同方向に提示した場合に振動の影響により感覚間の相互作用が起こり錘の重量が重く感じられ、力覚と振動を逆方向に提示した場合には相互作用は小さく振動による錘の重量感覚に変化がほとんど無いことが示唆された。

(4) 視覚・力覚・触覚への情報提示による感覚間の知覚特性

①目的：視覚、力覚、振動覚の 3 感覚に情報を同時に提示したときの力覚への影響について心理物理的に検討した。

②実験：錘と球体の映像を同期させてデバイス中央から右端または左端の位置まで移動させる刺激を基本刺激とした。視覚刺激パターンを図 8 に示す。また、力覚刺激パターンは力覚・振動覚実験と同様、図 5(a) の 4 種類を用いた。また、図 8 と図 5(a) の組み

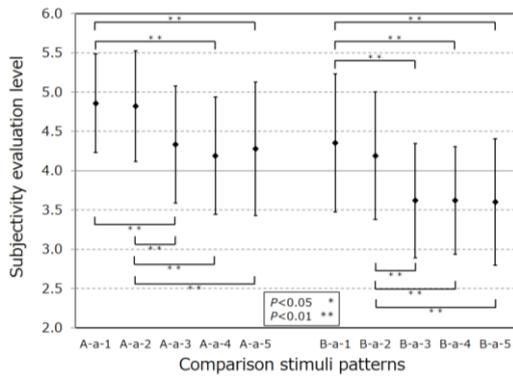


図 8. 振動刺激による力覚の変化 I

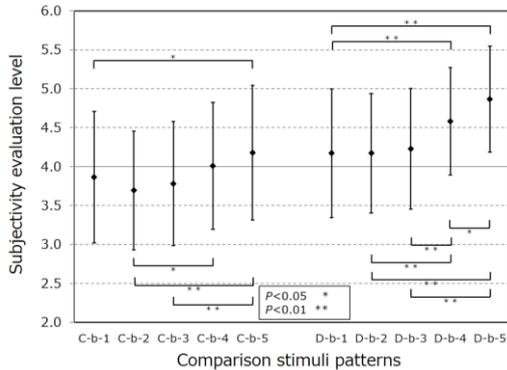


図 9. 振動刺激による力覚の変化 II

合わせの中で、視覚と力覚が同方向となるような 4 つの刺激(力覚刺激、視覚刺激の順で(A-a)、(B-a)、(C-b)、(D-b))を視覚・力覚刺激提示パターンとした。錘の移動速度は視覚情報と同期するようにした。視覚刺激は直径 8cm、白色の球体で画面背景は黒とした。さらに、視覚・力覚の提示に振動刺激を加えたものを比較刺激とした。振動刺激パターンは、図 5(b)を用いた。比較刺激は位置設定 4 種類と振動強度の設定 5 種類を組み合わせた計 20 とした。

力覚・振動覚実験と同様、被験者に対し同じ移動方向に対する基本刺激と比較刺激を交互に提示し、力覚に差異があったかを口頭で答えてもらった。刺激提示はランダムに全種類を各 1 回ずつ提示した。評価方法は、(2)と同様に 7 段階の主観評価を用いた。被験者は立位、両手でデバイスを水平に把持した状態で実験を行った。実験中はピンクノイズを流したヘッドフォンを装着し、聴覚からの影響の軽減を図った。被験者は 21~58 歳、男性 6 名、女性 1 名の計 7 名とし、各被験者に対し 15 回の実験を行った。本実験も倫理的配慮によりヘルシンキ宣言に基づき実施した。各被験者が実験を 15 回行なっていることを考慮し、力覚刺激パターンごとに二元配置分散分析と Bonferroni 法による多重比較を行った。

③結果および考察：視覚・力覚・触覚を同時提示した際の力覚の知覚の変化を図 8、9 に示す。主観評価値は全被験者の平均値、エラーバーは標準偏差である。結果より、視覚・力覚刺激の提示方向と同方向に強い振動

表 2. 力覚・振動覚実験および視覚・力覚・振動覚実験の結果の比較

Exp1	Exp2	Welch's test	Exp1	Exp2	Welch's test
A-1	A-a-1	*	C-1	C-b-1	n.s.
A-2	A-a-2	**	C-2	C-b-1	**
A-3	A-a-3	*	C-3	C-b-1	**
A-4	A-a-4	n.s.	C-4	C-b-1	**
A-5	A-a-5	*	C-5	C-b-1	**
B-1	B-a-1	n.s.	D-1	D-b-1	n.s.
B-2	B-a-2	**	D-2	D-b-1	*
B-3	B-a-3	**	D-3	D-b-1	n.s.
B-4	B-a-4	**	D-4	D-b-1	n.s.
B-5	B-a-5	**	D-5	D-b-1	*

** $p < 0.01$, * $p < 0.05$, n.s. $p > 0.05$

刺激を与えた場合において、比較刺激の主観評価値の平均が 4 以上であった。また、視覚・力覚の提示方向と反対方向に強い振動刺激を与えた場合においては、主観評価値が 4 に近い値であった。統計解析の結果、視覚・力覚の同方向と反対方向の刺激提示において、有意な差が見られた(A-a-1~A-a-5: $F(4; 490) = 22:84$, $p < 0:01$ 、B-a-1~B-a-5: $F(4; 490) = 28:43$, $p < 0:01$ 、C-b-1~C-b-5: $(F(4; 490) = 7:40$, $p < 0:01)$ 、D-b-1~D-b-5: $(F(4; 420) = 20:81$, $p < 0:01)$)). 反対方向の刺激提示条件 A-a-3~A-a-5 および D-b-1~D-b-3 においては、相互作用が起こりやすくなったが、力覚の刺激強度が低い提示条件である B-a-3~B-a-5 および C-b-1~C-b-3 においては、重量が軽く感じられた。

以上により、視覚・力覚・振動覚の同時提示を行った際、3 感覚間に相互作用が起こり、3 感覚の刺激強度が高くなる方向を同方向にそろえた場合に、錘の重量がより重く感じられ、そろえない場合、条件によっては錘が軽く感じられることがあることが示唆された。

(5)まとめ

力覚・振動覚実験および視覚・力覚・振動覚実験において客観的評価の標準偏差が大きくなっている。これは 15 回計測における各被験者内の要因と個人によって客観的評価レベルが異なる要因からなる。

しかし、統計解析によると各刺激間に多くの差が見られている。このことから、個人内の客観的評価レベルは刺激ごとに違いを評価できていると思われる。力覚・振動覚実験および視覚・力覚・振動覚実験の結果において、視覚刺激がある場合とない場合の条件をウェルチの両側検定により差を評価した。その結果を表 2 に示す。ほとんどの条件において、力覚・振動覚実験よりも視覚・力覚・振動覚実験のほうが主観評価の平均値が大きく、また有意な差があることから、視覚刺激を追加することで、感覚間の相互作用が増幅し、力覚知覚が強調されることが明らかとなった。特に、反対方向への刺激提示条件において、力覚・振動覚実験の場合、相互作用が

起こりにくくなることが示唆されたが、視覚・力覚・振動覚実験の力覚の刺激強度が低い条件の場合、相互作用が逆方向に起こり、錘が軽く感じるという結果が得られた。このことから、力覚・振動覚実験において、振動刺激強度を現在よりも高くすると、逆方向への相互作用が起こる可能性が示唆される。

以上のことから、デバイスの錘の重さは変わらないにも関わらず、視覚や振動覚を変化させることにより、力覚を変化させることが可能であることが示唆された。これにより、把持型のタブレットなどのデバイスに移動可能な錘を装着し、効率的な情報提示を行うことにより、体感的なアプリケーションやコンテンツ作成が可能となることが示唆された。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

- ① 水野 統太、久米 祐一郎：“速度と大きさの視覚情報と姿勢が傾斜知覚に与える影響の検討”，査読有，電気学会論文誌 A vol.135, no.3, pp.163-167 2015.03 10.1541/ieejfms.135.163
- ② Tajima, D., Mizuno, T., Kume, Y. and Yoshida, T: “The mirror illusion: does proprioceptive drift go hand in hand with sense of agency? ”, 査読有, Frontiers in Psychology 200/ 6, 1-10 2015/02 10.3389/fpsyg.2015.00200.
- ③ 伊藤 雄太、板倉 直明、水戸 和幸、水野 統太：“Eye Glance 入力インタフェースにおける判定アルゴリズム”，査読有，電気学会論文誌 C vol.134, no.7, pp.924-930 2014.7.1
- ④ 内田 雅文，水野 統太：鼻部皮膚温を用いた点滅視覚刺激に伴う不快感定量評価の試み，査読有，電気学会論文誌 C, vol.134, no.2, pp286-292, 2014.
- ⑤ Dekun Gao, Naoaki Itakura, Tota Mizuno, and Kazuyuki Mito : Improvement of Eye Gesture Interface, Special Issue on Latest Developments in Intelligent and Evolutionary Systems, 査読有, Vol.17, No.6, pp. 843-850, 2013.
- ⑥ Tota Mizuno, Naoki Nakategawa, Yuichiro Kume: Color influences on human beings evaluated by nasal skin temperature, Artificial Life and Robotics, 査読有, vol.16, no.4, pp519-522, 2012.

[学会発表] (計 8 件)

- ① 水野統太，前田潤，久米祐一郎：仮想現実と拡張現実を構築するマルチモーダルディスプレイの開発、第9回日本感性工学会春季大会、2014.3.23（札幌市北区）
- ② Tota Mizuno, Jun Maeda, Yuichiro Kume: “ Force Sensation Affected by

Visual Stimulation with a Hand-held Multimodal Vision-Tactile-Force Display Device,” The Nineteenth International Symposium on Artificial Life and Robotics 2014 (AROB 19th `14)CD-ROM OS16-1, 2014.1 (Beppu, Japan)

- ③ 水野統太，前田潤，久米祐一郎：手持型多感覚同時提示デバイスによる視覚刺激による重さ感覚の変化、第18回日本バーチャルリアリティ学会大会論文集(DVD-ROM)、pp.305-306, 2013.9.19 (大阪府大阪市)
- ④ Tota Mizuno, Jun Maeda, Yuichiro Kume : “ Weight Sensation Affected by Vibrotactile Stimulation with a Handheld Vision-Tactile-Force Display Device,” 2013 10th international Conference on Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology, CD-ROM Control in Mechatronics and Power Electronics, No.1683, 2013.5.15 (Kurabi, Thailand)
- ⑤ 水野 統太，前田 潤，久米 祐一郎：“ マルチモーダルディスプレイの開発と効果的な情報提示方法の検討”，日本感性工学会「志学の会」×「而立の会」合同開催 若手による研究交流会抄録集，pp.1 2013.2 (習志野市,千葉)
- ⑥ 水野 統太，桐ヶ谷 大輔，木村 瑞生，久米 祐一郎：“振動刺激によって生起する力覚のような感覚”，人類動態学会第41回東日本地方会、人類動態学会会報、97号、pp.20, 2012.11 (調布市,東京)
- ⑦ 前田 潤，水野 統太，久米 祐一郎：“ 視覚・力覚・触覚同時提示デバイスにおける感覚間相互作用”，日本バーチャルリアリティ学会第16回大会論文集，pp397-398 (2012-9). 2012.22 (函館市,北海道)
- ⑧ 桐ヶ谷大輔，水野統太，久米祐一郎：“ 手指への複数振動刺激によって誘発される力覚様感覚”，日本バーチャルリアリティ学会第16回大会論文集，pp399-400, 2012.21 (函館市,北海道)

[図書] (計 1 件)

- ① 高德堃・板倉 直明・水戸 和幸・水野 統太：次世代ヒューマンインタフェース開発最前線，エヌ・ティー・エス出版社，pp159-172, 2013.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

水野 統太 (MIZUNO, Tota)

電気通信大学大学院理工学研究科・助教
研究者番号：00337875