

仮想現実によるノートの感触の検討 Assessment of paper's roughness for haptic device

石原 学†
Manabu Ishihara

1. まえがき

近年、3D 映像技術や立体音響システムなどの開発が進み、人々の生活においても仮想現実 (Virtual Reality: 以降 VR と略記) は身近な存在となってきた。なかでも触覚を提示するための技術として、触覚インタフェースの研究が盛んに行われてきている[1]。これらの特性を利用した教育システムや教具への応用例が検討されてきている[5]。教具として利用するときには実在のものに近い感触が得られることは重要で、電子的媒体に VR を利用して馴染み深い身近な教具に置き換えることで親近感をもたせられる。たとえば、習字等の教具は紙媒体の出力先が必要になる。それらは、紙質によって滑り具合が異なる。力覚ディスプレイを現存の粗さを感じるような手法について検討した。紙質の表現は習字に使われる半紙や和紙に限らず、辞書やノートといった身近なものである。これらを力覚デバイスで表現するための基礎的な情報を実験から求めたので報告する。

2. 実験

実験装置としては Sensable Technologies 社の力覚デバイス(PHANToM Omni Device)、制御用コンピュータに(Intel® Core™ 2 CPU 6600 @2.40GHz 2.39GHz, 2.00GB RAM)、制御用プログラムに(OpenHaptics™ toolkit v2.0) [2]を用いた。

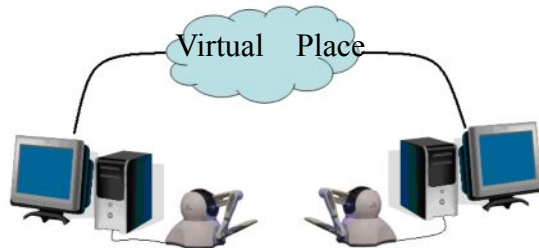


図1 実験装置の概要

対象のノート・紙の表面感触のイメージを摩擦を利用することでモデル化する。力覚ディスプレイで摩擦を作成した時に、どの程度の大きさで分別できるかを実験から求めた。

3. 実験の概要

摩擦力の閾値と主観的等価点を測定するに当たり、動摩擦と静止摩擦を用いた実験を各々に行った。被験者数は両実験共に 20 歳前後の男性 3 名である。

3.1 実験方法

測定には、恒常法(constant method)を用いた。測定では 2 種類の刺激を被験者に呈示し、両者の比較を求める。比較尺度には被験者の主観的印象の大きさを「強い」、「等しい」、「弱い」の中から選択する 3 件法を用いた。

3.2 刺激の種類

比較の基準となる刺激を標準刺激(SS:standard stimulus)とし、摩擦力の場合一定範囲の物理量をもつ 1 種類の刺激とした。標準刺激の比較対象になる刺激は比較刺激(CS:comparative stimulus)として、標準刺激の刺激量を中心に、数種類の刺激量の刺激を段階的に用意した。実験の動摩擦に 0.400~0.800(SS=0.600)、静止摩擦に 0.200~0.400(SS=0.300)の摩擦係数を用い、各々 7 種類の刺激とした。刺激の割当てを表 3.1、および表 3.2 に示す。

表 3.1 動摩擦の刺激

刺激	S ₁	S ₂	S ₃	S ₄	S ₅	S ₆	S ₇
摩擦係数	0.400	0.467	0.533	0.600	0.667	0.733	0.800

表 3.2 静止摩擦の刺激

刺激	S ₁	S ₂	S ₃	S ₄	S ₅	S ₆	S ₇
摩擦係数	0.200	0.233	0.267	0.300	0.333	0.367	0.400

3.3 実験の手続き

測定実験は、1 回につき被験者 1 名ごとに行った。被験者を PHANToM の前に着席させ、ペンの部分を持つように保持させた。被験者はコンピュータから出る合図に従い、腕だけを動かし、板状のモデルを任意の力で平行に撫でる様に動かした。被験者には SS 同士の組合せも含める 7 組の刺激を各々 10 回ずつの計 70 回をランダムに提示して判断を求めた。なお、PHANToM が保証する最大の力は $10[\text{kg} \cdot \text{m/s}^2](10[\text{N}])[2]$ となっており、それ以上の垂直な力が加わると擦り抜けるという制限をかけた。

4. 実験結果と考察

実験データの解析には確率モデルを導入し、最尤法を用いてデータに対するパラメータの推定を行った[3]。

4.1 実験結果

測定結果の頻度分布を表 4.1、および表 4.2 に示す。ただし、S_i は比較刺激(i=1,...,7)とする。

表 4.1、および表 4.2 のデータに対して、最尤法を用いてパラメータ値を求めると、表 4.3、および表 4.4 の結果を得る。ただし、 μ は平均、 σ は分散、 c は判断の基準、Z0.75 は正規分布において累積確率が 0.75 になる正規偏差

†小山工業高等専門学校, Oyama National College of Technology

を表す。 $\mu + Z_{0.75}$ および $\mu - Z_{0.75}$ は、それぞれ上弁別閾と下弁別閾である。

この結果から図 4.1, および図 4.2 が得られる。横軸が呈示刺激値、すなわち摩擦係数を表し、縦軸が判断の確率あるいは比率を表している。小円がデータ値を表しており、◎が標準刺激の方が強い($S_i < S_4$)判断、○が等しい($S_i = S_4$)判断、●が比較刺激の方が強い($S_i > S_4$)判断を表している。曲線が実験データから求めたパラメータ値による判断の確率である。

4.2 考察

4.1 の実験結果から、動摩擦では摩擦係数 0.600 を標準刺激とした場合、主観的等価点は $\mu = 0.6083$ となる。静止摩擦では摩擦係数 0.300 を標準刺激とした場合、主観的等価点は $\mu = 0.2972$ となった。標準刺激と主観的等価点の恒等誤差が小さく、個人の実験誤差が少ないことがわかる。一方、弁別閾は動摩擦で $Z_{0.75} = 0.0685$ 、静止摩擦では $Z_{0.75} = 0.0466$ となる。ここで垂直抗力の制限を考慮すると、それぞれ最大で 0.685[N]、0.466[N]の力の変化を感じ取る事ができているといえる。

5. おわりに

本研究では力覚ディスプレイを用いて触覚の要素である摩擦の閾値や主観的等価点の測定を行った。しかし、PHANTOM で呈示できるものはペンを握る手を通した力覚である。そのため、実験結果は皮膚感覚ではなく深部感覚の特性になるので、実際の手で感じ取れる摩擦力よりも遥かに大きくなってしまふ[4]。しかし、本システムのように力覚ディスプレイを介して表面の粗さとして、ノートのように紙に書く・触る・めくるなどの基本動作の特徴として有用であると考えられる。

今後の課題としては、実験結果の弁別閾が Weber の法則に適用できるか、他の標準刺激を用いて検証する。さらに、摩擦をかけることにより衝突シミュレーションの効率が上がるかを検証する必要がある。

謝辞 本実験に卒業研究として協力された平成 22 年度卒研生の埴拓郎君に感謝する。また、本研究は科研費(22500954)の助成を受けたものである。

参考文献

- [1] H.Ohnishi, K.Mochizuki, "Effect of Delay of Feedback Force on Perception of Elastic Force: A Psychophysical Approach" IEICE TRANS. COMMUN, VOL.E90-B, No.1 2007
- [2] Sensable OpenHaptics™ programmer's guide
- [3] 岡本安晴, "心理学の世界 専門編 14 計量心理学-心の科学的表現をめざして" 培風館, 2006
- [4] C.T.MORGAN, J.S.COOK, A.CHAPANIS, M.W.LUND 近藤武他訳, "人間工学データブック" McGraw-HillBookCompany, Inc., コロナ社, 1972
- [5] 石原学, "力覚ディスプレイを利用した教材の操作初期の印象について", 電気学会論文誌 A 分冊, vol.129, no.7, pp.490-491(2009)

表 4.1 動摩擦実験

比較刺激	カテゴリ		
	$S_i > S_4$	$S_i = S_4$	$S_i < S_4$
S_1	26	4	0
S_2	21	9	0
S_3	9	20	1
S_4	2	22	6
S_5	0	19	11
S_6	1	7	22
S_7	0	5	25

表 4.2 静止摩擦実験

比較刺激	カテゴリ		
	$S_i > S_4$	$S_i = S_4$	$S_i < S_4$
S_1	19	11	0
S_2	20	8	2
S_3	11	17	2
S_4	4	17	9
S_5	2	18	10
S_6	2	9	19
S_7	1	8	21

表 4.3 動摩擦実験のパラメータ値

μ	σ	c	$Z_{0.75}$	$\mu + Z_{0.75}$	$\mu - Z_{0.75}$
0.6083	0.0893	0.0990	0.0685	0.6768	0.5398

表 4.4 静止摩擦実験のパラメータ値

μ	σ	c	$Z_{0.75}$	$\mu + Z_{0.75}$	$\mu - Z_{0.75}$
0.2972	0.0733	0.0573	0.0466	0.3438	0.2506

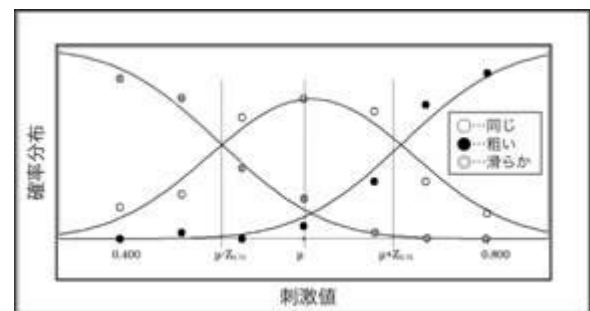


図 4.1 動摩擦実験の分析結果

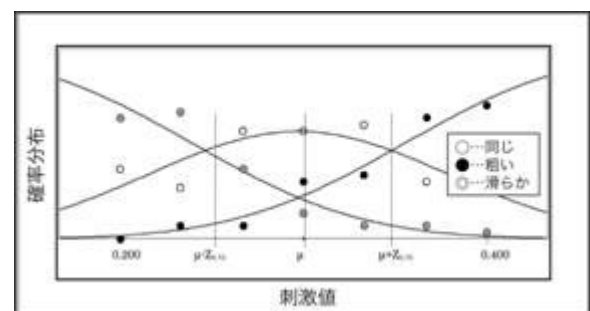


図 4.2 静止摩擦実験の分析結果