

触覚の Gestalt の定式化

Formulation of Tactile Gestalt

小村 啓¹ 大岡 昌博²

Hiraku Komura¹, Masahiro Ohka¹

¹九州工業大学, ²名古屋大学

¹Kyushu Institute of Technology, ¹Nagoya University

Abstract: Based on the Gestalt theory, we can recognize a combination of dots and lines as a shape in sight and some sounds as melodies in hearing. Recently we clarified that a smooth sensation of Velvet Hand Illusion (VHI) is caused by the tactile Gestalt, since VHI is created by not one line but two-line movement. In this paper, we attempt to formulate tactile Gestalt. The law of closure treated as a major factor of Gestalt is divided two factors: one of them is a factor of linear movement and the other is a factor of elasticity. In the formulation the factors of Gestalts, travel distance of two lines at same direction is calculated to obtain the VHI intensity generated by the linear movement factor, while travel distance of two lines at inverse direction is for the elasticity factor. We performed a series of experiments to estimate effects of phase difference of two lines' movement on subjective intensity of VHI. The formulated equations can estimate of the experimental results with sufficient precision.

1. 緒 論

近年, VR の適用事例は多岐にわたっており[1], その中でも触れたり操作したりする触覚を演出する Haptic デバイスは, 操作者に臨場感を与える上で不可欠である. Haptic デバイスの中でも表面の質感を生起させる技術は難しく, 高度なアクチュエータを開発することで皮膚に所望の感覚を作り出すアプローチ[2]や, 錯覚現象を利用して脳を欺くアプローチで感覚を作り出そうとする試みなど様々な手法が提案されている.

著者らは, 材質感を生起する触覚の錯覚(錯触)として知られるベルベットハンド錯覚(Velvet Hand Illusion; VHI)を活用する研究を進めている. VHIとは目の粗い網目を両手で挟んでこすると網目の間に滑らかな膜のような触覚を得る錯触として知られている[3]. 存在しない面を感じることから, 心理・生理学のアプローチでの研究も進められている[4]. VHIは網目より二本の鋼線(Fig. 1)の方がより強い錯覚が生起することが知られている. また, 一本の鋼線では生起しないことも知られている. これは, 線を部品とした場合に単独では誘発されず, 二本以上の部品が統合されて生じることを意味しており, 視覚や聴覚で議論されてきた Gestalt 理論[5]が適用される事例とみなせる[6]. 視覚・聴覚の Gestalt 研究では, 点と線の関係性がどのように美しいデザインと認識されるか, あるいは音の周波数の重ね合わせ

や連続性がどのようなメロディーを生み出すかなど, 物理刺激と人の感性の関係についても明らかにされてきている[7]. 一方, 触覚については触錯覚現象が Gestalt により生起することが明らかにされてきているが, 感性と刺激の関係については明らかにされていない. 両者を表現できる数式モデルを作ることにより, 触り心地や感性を触覚の Gestalt で操ることが可能となると考えられる.

本研究では, VHI の基本的な刺激条件である 2 本線が往復運動する刺激を変化させた際の, VHI の滑らかさの度合いの変化から, 触覚の Gestalt の定式化を試みる. すなわち, 2 本線が位相差運動した際の, 相対的な線間距離の変化から定式化を試みる. その際に, 代表的な Gestalt の要因として知られる閉合の要因を“平行移動の要因”と“伸縮の要因”に分けて, 二本の線が同方向に移動する距離(平行移動の成分)と逆方向に移動する距離(伸縮の成分)を計算してそれらに比例して VHI 感の度合いが決定されるとして定式化する. その後, 心理物理学実験の結果を用いて定式化の妥当性の検討も行う.



Fig. 1 Velvet hand illusion generated in the two wires

2. 触覚の Gestalt の定式化[8]

二本線で囲まれた面にVHIが生起されることと、一本線では生起されないことを考慮すると、VHIは少なくともGestaltの閉合の要因と共通運命の要因によって生起されると考えられる。本稿では、閉合の要因を閉合された領域が平行移動する“平行移動の要因”，並びに“伸縮の要因”に分けて考える。

二本の線をAとBとし、AとBは角速度 ω 振幅 r で単振動しているとする。AとBの間に位相差 ϕ' がある場合、AとBの速度 v_a と v_b は次式で表される。

$$v_a = \omega r \sin \omega t \quad (1)$$

$$v_b = \omega r \sin(\omega t + \phi') \quad (2)$$

平行移動の要因により生起されるVHI感を G_1 とする。 G_1 は、同方向に動く線の1周期の移動距離に比例するとする。すなわち、

$$G_1 = a_1 \left\{ \int_0^{2\pi/\omega} |v_a + v_b| dt \right\} + b_1 D \quad (3)$$

D と a_1 はそれぞれ線間距離と換算係数である。式(1)と(2)を式(3)に代入して計算すると、

$$G_1 = 4a_1 r (1 + \cos \phi') + b_1 D \quad (4)$$

次に伸張の要因に生起されるVHI感を G_2 とする。

G_2 は、逆方向に動く線の1周期の移動距離に比例するとする。すなわち、

$$G_2 = a_2 \left\{ \int_0^{2\pi/\omega} |v_a - v_b| dt \right\} + b_2 D \quad (5)$$

平行移動の要因と同様に式(1)と(2)を式(5)に代入して計算すると次式となる。

$$G_2 = 4a_2 r (1 - \cos \phi') + b_2 D \quad (6)$$

最後に式(4)と(6)に含まれる位相差 ϕ' と物理刺激としての位相差 ϕ の関係を式 $\phi' = c\phi^d$ で表せるとする。このようなべき乗則は、Stevensの法則を考慮したものである。ここで、 a, b, c, d は実験で定まる係数とする。 G_1 と G_2 についてそれぞれ別の値として実験により各係数を決定する。以上の結果、式(4)と式(6)は次式のようになる。

$$G_1 = 4a_1 r \{1 + \cos(c_1 \phi^{d_1})\} + b_1 D \quad (7)$$

$$G_2 = 4a_2 r \{1 - \cos(c_2 \phi^{d_2})\} + b_2 D \quad (8)$$

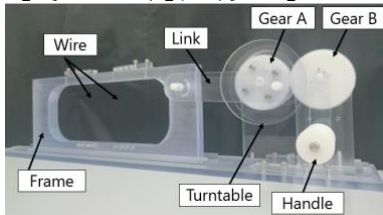


Fig. 2 Experimental device

3. 心理物理学実験による定式化の検証

図2の装置を用いて定式化の妥当性の検証を行う。この装置は、2本の線の往復運動の位相を任意に変化させることができる。実験では被験者10人に対して位相差刺激(0, 20, 40, 60, 80, 100, 120, 140, 160, 180[deg])を与え、VHIの強さがどの程度かを被験者に回答してもらった。その評価法としてマグニチュード推定法を採用し、ベルベット生地 of 滑らかさを7として、VHIの感覚を0~7の実数で回答させた。その実験結果を図3に示す。点で示されているのが10人の被験者が回答したVHIの主観的感覚の平均値である。また、その結果に合うように G_1 、 G_2 のパラメータを調整してフィッティングを実施した。

$$a_1 = 0.0108, b_1 = 0.030, c_1 = 1.45, d_1 = 0.4 \quad (9)$$

$$a_2 = 0.0083, b_2 = 0.023, c_2 = 1.1, d_2 = 1.1 \quad (10)$$

図3からわかるように、0~80°の範囲では G_1 が実験結果とよく一致しており、80~180°の範囲では G_2 が実験結果とよく一致している。位相差の変化に伴って平行移動と伸縮の要因は変化して、ある位相差の条件では両要因の中で強い方がVHI感を生起させると解釈できる。

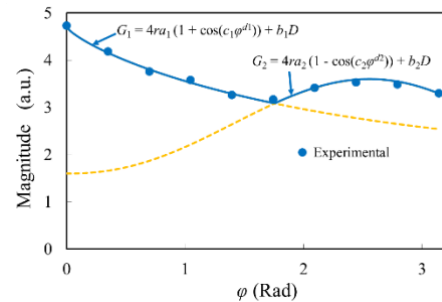


Fig. 3 Estimation of formulated tactile Gestalts factors

この2つの要因が重なった際に、強い方の要因が採用されるという現象は視覚や聴覚にもよく起きる現象である。例えば、有名な例として妻と義母の絵画がある[9]。この絵画では同じ絵を見ているにもかかわらず、妻と老婆が交互に認識される。この現象は、絵を見る人の注意によりGestaltの要因の強さが変化するために生じる。このようなGestalt特有の性質が本研究結果であらわれることから、VHIはGestaltの性質が反映された錯覚現象であることが分かる。

4. 結論

本研究ではVHIの生起に関係の深いGestaltの要因の内、閉合の要因について定式化を行い、心理物理学実験の結果が説明できるか検討した。触覚の場合

には閉合の要因は“平行移動の要因”と“伸縮の要因”に分けることで実験結果をよく説明できることを明らかにした。今後は閉合の要因以外の要素も取り入れた数式モデルを検討していく予定である。

謝 辞

本研究は、豊秋奨学会の助成、および JSPS 科研費 JP19J15243, および 19K22869 の助成を受けたことを付記し謝意を表す。

参考文献

- [1] 松村将太郎, 熊澤逸夫: 触覚に情報を提示するハプティックデバイスを活用するビジネスの展開—デジタルデバイドの克服とゲームの触覚リアリティ向上, 映像情報メディア学会誌, Vol.63, No.10, 1407/1412 (2009)
- [2] Tachi, S., Minamizawa, K., Furukawa M. and Fernando, C. L., Haptics media construction and utilization of human-harmonized “tangible” information environment, Proceedings of the 23rd International Conference on Artificial Reality and Telexistence, pp. 145-150 (2013)
- [3] H. Mochiyama, A. Sano, N. Takesue, R. Kikuuwe, K. Fujita, S. Fukuda, K. Marui, and H. Fujimoto: Haptic Illusions Induced by Moving Line Stimuli, World Haptics Conference, 645/648 (2005)
- [4] N. Rajaei, HK.Takahashi, T. Miyaoka, K. Kochiyama, M. Ohka, N. Sadato, and R. Kitada, Brain networks underlying conscious tactile perception of textures as revealed using the velvet hand illusion. Hum Brain Mapp., 39-12, 4787/4801 (2018)
- [5] K. Koffka: Principles of Gestalt Psychology, Harcourt Brace and Company, 106/210 (1935)
- [6] 小村啓, 大岡昌博: 滑らかさを惹起する触覚の Gestalt に関する基礎, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol.24, No.1 (2019)
- [7] 中島祥好, 聴覚の文法, コロナ社 (2014)
- [8] H. Komura, T. Nakamura, M. Ohka, Formulation of tactile Gestalt to express variation in velvet hand illusion caused by out-of-phase cycles of two wires, Journal of Advanced Mechanical Design, Systems, and Manufacturing, Vol. 14, Issue 6 (2020)
- [9] Hill E. W., “My wife and my mother-in-law. they are both in this picture - find them,” in Puck. Washington, D.C. 20540: Library of Congress Prints (1915)