

# 電気刺激パルスを数える際の「バイナリカウンタ」仮説

○ヤェム ヴィボル (電気通信大学), 梶本 裕之 (電気通信大学)

## “Binary Counter” Hypothesis When Counting Electrical Pulse Stimulation

○Vibol YEM (UEC), and Hiroyuki KAJIMOTO (UEC)

Abstract: It is known that, in the process of repeatedly pressing and releasing the skin with a needle, fast adapting receptors (FA) in the skin are activated during both pressing and releasing. With this consideration, we hypothesize that, when we are presented the tactile sensation by pulses of electrical current, we will interpret two pulses of stimuli as one time of press-release action. In this study, we investigate this characteristics of tactile numerosity perception. The experiment result showed that, the perception number became gradually less when the time span of each pulse (refresh period) became shorter. At the refresh period of 50 ms, the perception number was a half of the pulses' number for both anodic and cathodic stimulation when pulses number was two, but it slightly became less when pulses number increased. Moreover, the perception number of cathodic stimulation was less than that of anodic stimulation when pulse's number was high, possibly because of the difference of types of involved mechanoreceptors.

### 1. はじめに

触覚の研究分野において、テクスチャーなどの提示方法や機械刺激又は電気刺激を用いた触覚ディスプレイに関する研究が多く行われている[1][2][3]。こうした研究のなかで最も基礎的なものの一つが、「刺激された回数を知覚できるか」という、触覚的な数覚についての研究である。Iidaら[4]は振動子を用い、振動子による刺激回数と人間のカウント能力との関係を調査した。刺激を2回提示した場合、各刺激間の時間(リフレッシュ周期)に関わらずカウント正答率が最も高かったが、提示回数の増加及びリフレッシュ周期の減少につれてカウントの正答率が徐々に減少することを報告している。彼らの研究は数覚の触覚バリエーションの発見をしている一方で、触覚の神経活動と知覚回数との関係を明らかにしたわけではない。

このような背景から本研究は、電気刺激を用いることで明確に触覚神経の活動を統制し、その条件下で刺激回数と知覚回数との関係を調査する。この触覚的な数覚特性を理解できれば、人間の触覚メカニズムの解明に貢献するとともに、電気刺激と機械的な振動刺激の共通点および相違を明確化し、より良い電気刺激ディスプレイの開発に繋がると期待できる。

### 2. 関連研究

ヒトの触覚は皮膚にある4種類の機械受容器の活動の結果によって生じることが知られている。これらは、Ruffini 終末, Merkel 細胞, Meissner 小体及び Pacinians 小体である[5]。Ruffini 終末と Merkel 細胞は、遅順応型の受容器であり、それぞれ機械刺激の「変位」と「変位+速度」成分に対し神経活動を生じる。これに対して、

Meissner 小体及び Pacinians 小体は速順応型の受容器であり、それぞれ機械刺激の「速度」と「加速度」成分に対し神経活動を生じる。例えば、針で皮膚を押し離すというプロセスの中で、押す時も離す時も皮膚の変位が発生し、Meissner 小体及び Pacinian 小体が敏感に活動することが知られている。

ところで我々は、押すことと離すことを感じるが、これらを区別せずに、一つの触覚刺激として解釈する。このことから、次の仮説が成立する：

「電気刺激パルスによって感覚を提示すると、2回のパルスが1回の押し-離しと解釈される」

すなわち、電気刺激の場合、人間の知覚する回数は電気刺激パルス数の半分になると考えられる。

電気刺激には、陽極刺激と陰極刺激の2つの提示方法が存在し(図1)、この提示方法によって生じる触覚も異なると報告されている[6][7]。陰極刺激では主に Merkel 細胞の刺激に起因すると思われる圧覚が特徴的に生じ、陽極刺激では主に Meissner 小体の刺激に起因すると思われる振動覚が特徴的に生じる。我々の従来研究においても[8]、電気刺激と機械刺激による振動触覚を比較した結果、陰極には振動と圧覚、陽極には主に振動が生じることを明らかにしている。本研究では、陽極刺激と陰極刺激を利用し、各刺激において上記の仮説を検証する。

### 3. 予備実験

#### 3.1 実験の目的

本実験では、上記した仮説を検証するために、陽極刺激と陰極刺激で提示された回数に対して、被験者が知覚した回数を調査する。被験者の知覚した回数が、提

示したパルスの半分となれば、仮説が正しいと考えられる。

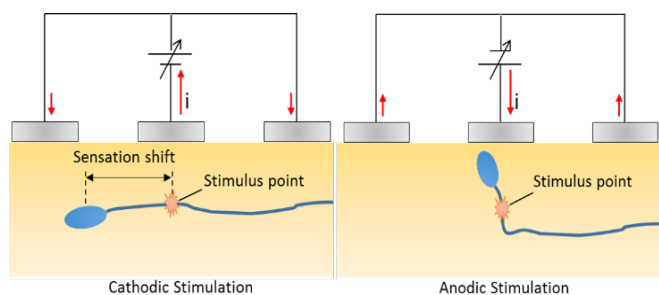


Fig.1 陰極刺激（左）と陽極刺激（右）

### 3.2 実験装置

本実験では、電気刺激を提示するために、我々の先行研究[9]で用いた装置と同様の電気刺激キット（図2）を利用した。このキットにはマイクロコントローラ（NXP Semiconductors, mbed NXP LPC1768）、高速 D/A 変換及び電圧-電流変換回路が利用され、刺激電流の波形を制御することができる。電極は直径 1.75 mm、中心間距離 2.5 mm の電極を 3×3 配置し、中央の電極を刺激電極として、周囲の 8 つの電極を不関電極として用いた。マイクロコントローラと PC の間で Serial 通信を行うことで、電気刺激の強度（電流パルスの高さ）を PC のキーボードで操作できるようにした。

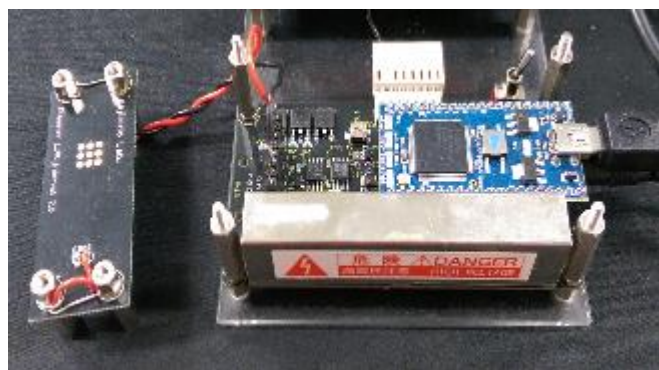


Fig.2 電気刺激キット

### 3.3 被験者・手順

被験者は 22~32 歳の 3 名（全員男性、うち 2 名右利き、1 名左利き）であった。実験の手順は以下の通りであった。

電気刺激触覚提示では、刺激電流をパルス波形とすることが一般的である。本実験では、このパルスの幅を 200 μs とした。また、図 3 に示すように、リフレッシュ周期を  $T = \{50, 100, 150, 200\}$  ms の 4 条件、パルス数を  $N = \{2, 5, 8, 11\}$  回の 4 条件、電気刺激の極性を陽極、陰

極の 2 条件、計 32 条件とした。各条件を一回のみ行ったため、被験者ごとの試行数は 32 あった。リフレッシュ周期、パルス数と電気刺激の極性の提示をランダムとした。

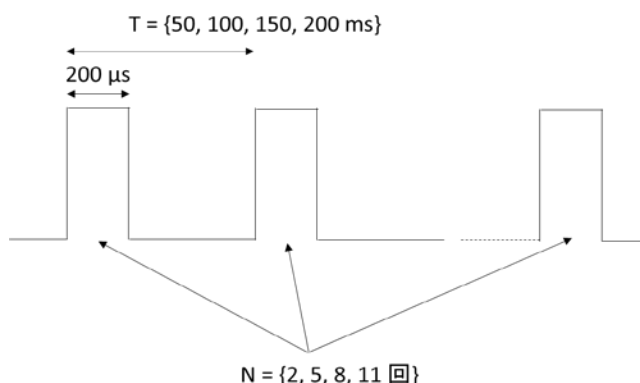


Fig.3 実験条件におけるパルス波形の概念図

実験の様子を図 4 に示す。実験の手順は以下のとおりである。

- ① 図 4 に示すように、被験者に実験装置の前に椅子の上に座らせ、姿勢を安定させるために腕をサポート台に置くように伝えた。
- ② 各試行の冒頭において、パルス電流を連続的に与え、電気刺激をはっきり知覚できるまでキーボードを操作して電流を調整させた。
- ③ 被験者に刺激をしている際、刺激回数をカウントし、その後カウントした回数を回答させた。



Fig.4 実験の様子

### 3.4 実験結果と考察

各リフレッシュ周期及び各パルス数において、被験者が知覚した刺激回数の平均の比較を図 5 に示す。今回は予備的な結果のため統計的な処理は行っていない。

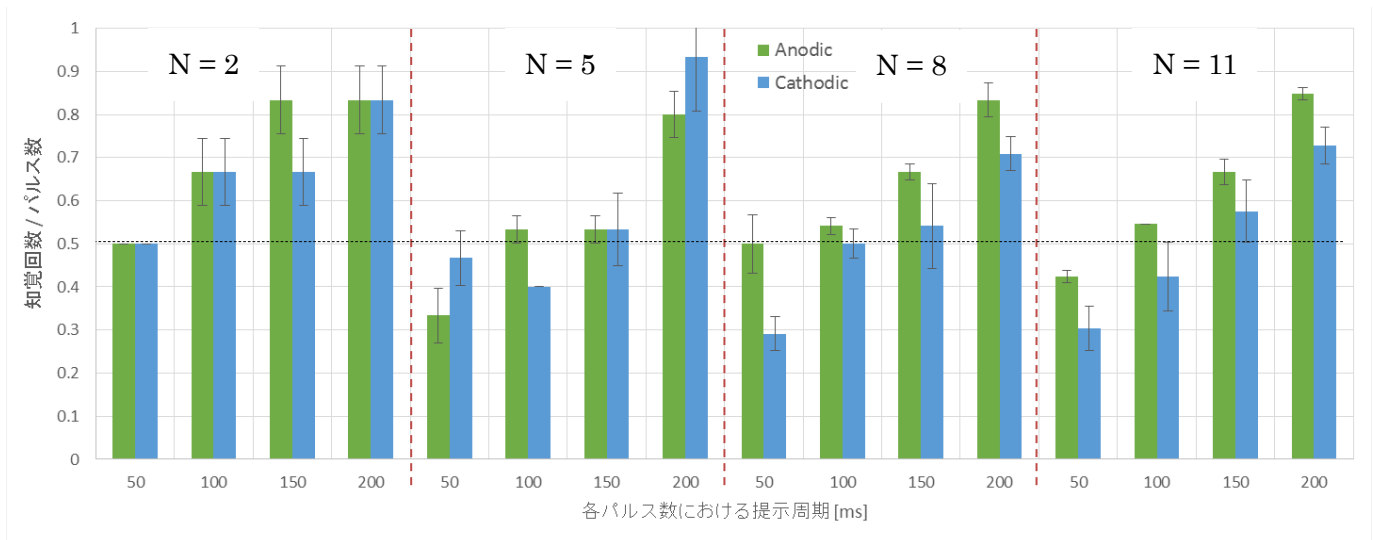


Fig.5 実験の結果

まずリフレッシュ周期が短くなるほど、知覚する刺激回数が減少することが分かった。周期  $T = 50$  ms (周波数 = 20 Hz) 及びパルス数  $N = 2$  の時、電気刺激の極性に関わらず、被験者の全員が知覚した刺激回数は1回で提示回数の半分となった。これは先述の Iida らの研究では見られなかったものである。 $N=5$ ,  $N=8$  の場合も、提示周期が 100ms および 150ms の場合には提示回数の半分を回答する傾向が強かった。これは、我々の仮説がある程度妥当であったことを示していると思われるが、単純に刺激回数が提示周期に伴って減少しているだけなのか、明示的に2回の刺激を1回と感じているか、を切り分けるためにはさらなる実験が必要である。

また、電気刺激の極性の影響があるように見えられる。 $N=8$  と 11 において、陰極刺激提示の場合、知覚した刺激回数は陽極刺激提示よりも少なかった。これは、すでに述べたように陰極刺激が主に圧覚を生起するために、知覚刺激回数が減少しやすかったためと考えられる。

#### 4. おわりに

本研究は、電流パルスで触覚神経を直接活動し、その刺激回数と人間が知覚した回数との関係を予備的に調査した。 $T = 50$  ms 及びパルス数  $N = 2$  の時、知覚した刺激回数は1回で提示回数の半分となった。これは、針で皮膚を押し離すというプロセスに相当し、1回の押し離しと解釈されるのではないかと考えられる。

今後は、この触覚的な数覚特性をより深く検討する予定である。

#### 謝辞

本研究は JST-ACCEL「身体性メディア」プロジェクトの一環として行われた。

#### 参考文献

- [1] S.A. Wall and S. Brewster, "Sensory substitution using tactile pin arrays: Hu-man factors, technology and applications," J. Signal Processing, vol. 86, pp. 3674-3695, 2006.
- [2] C.C. Collins, "Tactile Television: Mechanical Electrical Image Projection," IEEE Trans. Man-Machine Systems, vol. 11, no. 1, pp. 65-71, 1970.
- [3] S. Yoshimoto, Y. Kuroda, M. Imura, O. Oshiro, "Material Rough-ness Modulation via Electrotactile Augmentation," IEEE Trans. on Haptic, vol. 8, no.2, p. 199-208, 2015.
- [4] N. Iida, S. Kuroki and J. Watanabe, "Comparison of Tactile Temporal Numerosity Judgments Between Unimanual and Bimanual Presentations." Trans. Perception, Vol. 45, No. I-2, pp. 99-113, 2016.
- [5] L.A Jones and S.J Lederman, "Human Hand Function." 1st ed. USA: Oxford Uniercity Press, 2006.
- [6] K. A. Kaczmarek, M. E. Tyler, and P. Bach y Rita: Electrotactile haptic display on the fingertips, Preliminary results. In Proc. 16th Annu. Int. Conf. IEEE

Eng. Med. Biol. Soc, pp. 940-941, 1994.

- [7] H. Kajimoto, N. Kawakami, T. Maeda, S. Tachi, "Tactile Feeling Display using Functional Electrical Stimulation", 9th International Conference on Artificial Reality and Telexistence(ICAT99), 1999.
- [8] V. Yem, H. Kajimoto, "Comparative Evaluation of Tactile Sensation by Electrical and Mechanical Stimulation." IEEE Trans. on Haptics (Accepted)
- [9] H. Kajimoto, M. Suzuki and Y. Kanno, "HamsaTouch: tactile vision substitution with smartphone and electro-tactile display," Proc. ACM on Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems (CHI EA), pp. 1273-1278, 2014.