

物理的なボタンへの触振動付与による多感触ボタンの設計

Multiple Texture Button by Adding Haptic Vibration to the Physical Button

○小川 大地 (電通大) 蜂須 拓 (電通大, 日本学術振興会)
梶本 裕之 (電通大, 科学技術振興機構さきがけ)

Daichi OGAWA, The University of Electro-Communications, ogawa@kaji-lab.jp
Taku HACHISU, The University of Electro-Communications/JSPS, hachisu@kaji-lab.jp
Hiroyuki KAJIMOTO, The University of Electro-Communications/JST PRESTO, kajimoto@kaji-lab.jp

This paper describes development of Multiple Texture Button, which presents a variety of click feelings by providing decaying sinusoidal vibration at the moment of press. The button consists of a spring to provide kinesthetic sensation and a vibrator to provide vibrotactile sensation. To estimate the potential of the button, we implemented a video game application (shooting game), where a gun fires a bullet with various speed when the button is pressed. Modulating decaying sinusoid vibration enabled the button to present various clicking feeling matched with the context of the game (i.e. bullets' speed).

Key Words: Multiple Texture Button, User Interface, Haptic I/O, Physical Button

1. はじめに

マウスやキーボード、カメラのシャッター等の物理ボタンを押下した際、「カチッ」といった感触、クリック感が生じる。クリック感によってボタンが押下されたこと、入力が行われたことが確認できる。物理ボタンでクリック感を提示するための機械的な仕組みは複数あるが、基本的には一つの物理ボタンで提示できるクリック感は1種類のみである。

一方で、タッチスクリーン上のバーチャルなボタンは機械的な仕組みをもたないことから物理ボタン押下時のようなクリック感が生じない。これに対し、バーチャルなボタンの押下に対して振動提示を行うことでクリック感を再現・提示する手法が多数提案されている。

本研究では実際に押下可能な物理ボタンと振動提示との組み合わせによって様々な感触を提示できる多感触ボタンの実現を試みる。これにより1つの物理ボタンから複数種類の感触を提示することが可能となる。本ボタンをビデオゲーム等に応用することで、コンテンツの文脈に合わせてボタンの感触をリアルタイムに変更・提示できる。

本稿では、ボタン押下時に減衰正弦波振動を提示することでクリック感を提示する物理ボタンの開発について述べる。減衰正弦波のパラメータを調整することで単一の物理ボタンから複数種類のクリック感を提示する。また、本ボタンを用いたアプリケーションの開発について述べ、その応用可能性について論じる。

2. ボタン押下時の感触

触覚は力覚と皮膚感覚の二つに分類できる。力覚は主に筋肉や腱、関節に力が加わることで生じる。皮膚感覚は通常皮膚の機械的な変形により皮膚内部の受容器が発火することで生じ、振動感覚も皮膚感覚の一つに含まれる。

物理ボタンの押下はこれら二つの感覚が関与しているといえる。ボタンを指で押し込んだ際、ボタン内部のバネによってボタンが元の位置に戻ろうとすることで指先に力覚が生じる。また、ボタンを押下した際に生じる振動から皮膚感覚が生じる。

例えば CHERRY 社のキーボードのキーは押しバネおよび板バネより構成されている[1]。前者に硬いものを採用することでキーが重くなり、後者に硬いものを使用することで高い周波数の振動が生じる。ラインナップの一つである MX switch brown では柔らかい板バネが採用されており、ボタンを押下した際に振幅の小さい振動が生じる。また別の例として、アミューズメントゲーム用に開発されている三和電子社製の押しボタンでは内部の押しバネを交換できる構造になっている[2]。押しバネを交換することによりユーザの好みにあわせた硬さの調整が可能である。

以上のように押しバネや板バネの硬さを動的に変えることで様々なクリック感が単一の物理ボタンから再現可能であると考えられる。しかし、例えば一つのアプリケーションを使用中にリアルタイムに感触を変えることは出来ない。これを実現するため、本稿では物理ボタンに振動子を搭載し、振動提示によって様々なクリック感提示を試みる。これによって既存のキーボードやマウスの感触をユーザの好みのものに変更することも可能となる。

振動提示によってタッチスクリーン上のバーチャルなボタンの押下に対してクリック感を再現する研究は数多く行われている。Fukumoto らは振動子を用いて[3]、Tashiro らは超音波振動子を用いて[4]タッチスクリーンを振動させバーチャルなボタン押下に対してクリック感を提示している。Kim らは物理ボタン押下時のボタンに加わる力とボタンの押し込み距離を分析し、タッチスクリーンに加わる力をもとに振動提示を行うことで物理ボタンに近いクリック感を再現した[5]。これらの研究は押し込みやバネの反発といった力覚が欠如しているバーチャルなボタンであっても、振動提示によってクリック感を再現できること、さらに振動提示手法によっては異なるクリック感を提示できることを示している。

3. 多感触ボタン

3.1 実装

図1, 図2に実装したボタンを示す。本ボタンは手指で押し込まれる操作部(赤色部)と操作部を支えるケース部(青色部)から構成される。本ボタンの外装は Acrylonitrile

Butadiene Styrene (ABS) 樹脂製で、操作部は振動子 (Acouve Laboratory 社製, Vp210) を内蔵しており、ケース部と押しバネ (バネ定数 $k = 0.36 \times 10^{-3} [\text{N/m}]$, 自然長 23mm) で接続されている。本ボタンの最大押下距離は 8mm である。したがって、理論上押しバネのみで最大 2.88N の反力を提示する。

操作部の底に再帰性反射材を、ケース部の底にフォトリフレクタ (GENIXTEK 社製, TPR-105F) を固定した。これにより操作部の押し込み距離を計測した。詳細は次節で述べる。

押し込み距離の計測および振動子の駆動はマイクロコントローラ (NXP 社製, mbed NXP LPC1768) より更新周期 20kHz で行った。マイクロコントローラから出力されるアナログ信号はオーディオアンプ (Muse audio 社製, M50) によって増幅され振動子を駆動する。

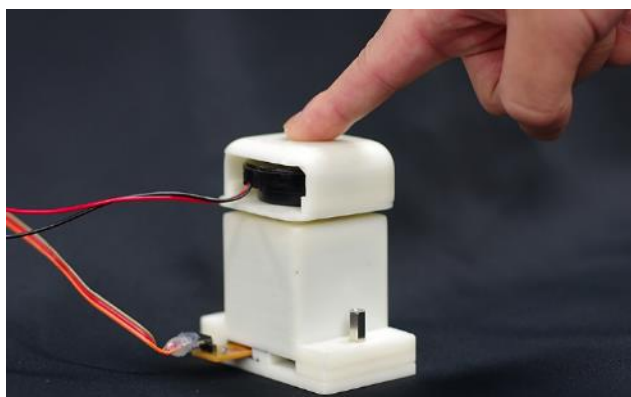


Fig. 1 Multiple Texture Button

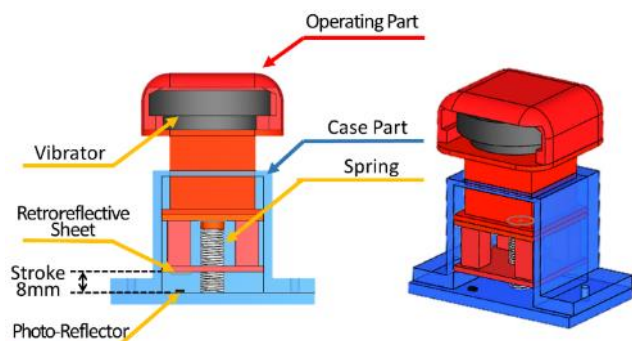


Fig. 2 The architecture of multiple texture button

3.2 操作部の押し込み距離計測

操作部の押し込み距離を計測するために、ケース部底に固定されたフォトリフレクタの赤外発光ダイオードから発せられる赤外光を再帰性反射材に反射させ、反射光の強度 (電圧) をフォトトランジスタより計測した。図 3 に距離と電圧値の関係を示す。電圧値から押し込み距離を推定するために次式を用いて最小二乗法よりフィッティングを行った。

$$V(x) = Ae^{Bx} + C \quad (1)$$

ここで、 V は電圧、 x は押し込み距離、 A は初期係数、 B は減衰係数、 C は初期値である。理論的には反射距離が無限大に

なれば電圧は 0 になるが、ケース部内で拡散反射した赤外光の影響を考慮し、初期値 C を採用した。フィッティングの結果を図 3 の青色の実線で示す ($A=915.525[\text{V}]$, $B=0.545[\text{m}^{-1}]$, $C=0.501[\text{V}]$; $\text{RSS}=0.0682$)。

本稿では押し込み距離 x を 0mm から 8mm まで 0.1mm 刻みで取得し、押し込み距離 x が 7.9mm 以上になったときにボタンが押下されたとし、その後、押し込み距離 x が 7.0mm 以下になったときボタンが開放されたとした。

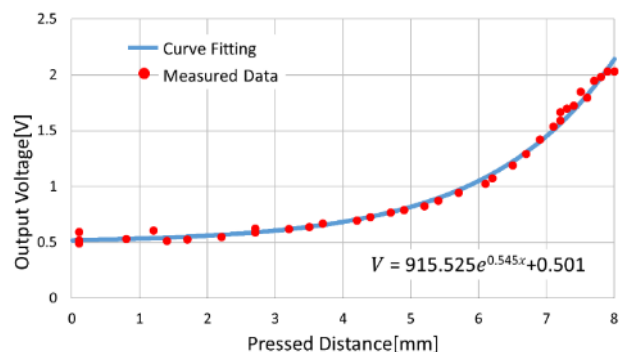


Fig. 3 The x- and y- axes denote pressed distance and output voltage, respectively. The data are fitted with exponential curve (solid line).

3.3 振動提示

本ボタンは押下時に次式の減衰正弦波振動[6]を提示することでクリック感を提示する。

$$Q(t) = Ae^{-Bt} \sin(2\pi ft) \quad (2)$$

ここで、 A は初期振幅係数、 B は減衰係数、 f は振動周波数、 t はボタン押下後の経過時間である。減衰正弦波振動は物体を叩いたときに生じる振動の再現に用いられ、触覚的材質感の再現[7]やクリック感提示[8]にも利用されている。先行研究[6]と同様に A , B , f 三つのパラメータを調節することで様々なクリック感を提示できることを予備的に確認した。

4. アプリケーション

本章では実装した多感触ボタンを用いたビデオゲーアプリケーション、射的ゲーム (図 3 参照) について述べる。本ゲームはゲームエンジン Unity (<http://unity3d.com>) で実装し、多感触ボタンをゲームの入力装置として用いた。ユーザはボタンの押下によって画面上の小銃 (銃口は的の方向に固定) を発砲する。銃弾の速度は「遅い」、「速い」の 2 種類を用意し、速度によってボタン押下に対して提示される減衰正弦波のパラメータを調整した。なお、各パラメータは複数ユーザからの感想を基に決定した。初期振幅 A はユーザの嗜好によってオーディオアンプのボリュームつまみによって調節された。

本ゲームを筆者らの所属する研究室メンバに体験してもらった。2 種類の銃弾を撃った際に速度に適した触覚提示であったか評価させたところ、2 種類の触覚の識別ができ、速度に適した提示ができていたという報告が得られた。今回の予備的調査によって、本稿の目的である単一の物理ボタンから複数種類のクリック感を提示することが達成できたと考えられる。一方で多感触ボタンがどの程度コンテ

ンツ自体の体験の向上に寄与しているかは調査していない。今後はコンテンツにあったボタンの感触の設計要件を調査し、没入感等の指標で評価する予定である。

Table 1 Shooting game of the parameters

設定	的までの 到達時間 $T(s)$	減衰係数 $B(s^{-1})$	周波数 $f(Hz)$
遅い	1.8	20	50
速い	0.3	150	200

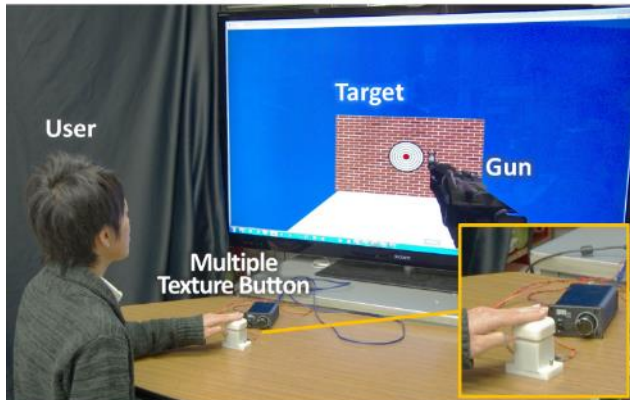


Fig. 4 Video game applications: Shooting Game

5. おわりに

本稿では物理ボタンの押下に対して減衰正弦波振動提示することによって多様なクリック感を提示する多感触ボタンの開発について述べた。本ボタンは押しバネおよび振動子よりクリック感を提示し、振動子に印可する減衰正弦波の波形を調節することで多様なクリック感を提示する。本ボタンを用いたビデオゲームアプリケーションとして射的

ゲームを実装し、応用可能性について論じた。

今後はコンテンツに適したクリック感の設計について行う予定である。これによりコンテンツへの没入感が高まることを期待する。また、本稿ではボタン押下時のみに振動提示を行っていたが、押し込み最中、または開放時等に振動提示を行うことで提示できる感触の拡張を行いたい。

文献

- [1] CHERRY Corporation. MX series keyswitches. <http://www.cherrycorp.com/english/switches/key/mx.htm>.
- [2] 三和電子株式会社. 押しボタンスイッチ <http://www.sanwa-d.co.jp/product/button.html>
- [3] Fukumoto, M., Sugimura, T. Active Click Tactile Feedback for Touch Panels, Proceedings of ACM Symposium on Human Factors in Computing Systems (CHI) 2001, pp.121-122, 2001
- [4] Tashiro, K., Shiokawa, Y., Aono and T., Maeno, T: Realization of Button Click Feeling by Use of Ultrasonic Vibration and Force Feedback. Proceedings of Third Joint EuroHaptics Conference and Symposium on Haptic Interfaces for Virtual Environment and Teleoperator System, pp.1-6, 2009.
- [5] Kim, S. and Lee, G.: Haptic Feedback Design for a Virtual Button Along Force-Displacement Curves. Proceedings of ACM Symposium on User Interface Software and Technology (UIST) 2013, pp. 91-96, 2013.
- [6] Okamura, A.M., Cutkosky, M.R., and Dennerlein, J.T.: Reality-Based Models for Vibration Feedback in Virtual Environments. IEEE/ASME Transaction on Mechatronics, 6(3), pp.245-252, 2001.
- [7] Hachisu, T, Sato, M., Fukushima, S. and Kajimoto, H.: HaCHIStick: Simulating Haptic Sensation on Tablet PC for Musical Instruments Application, Proceedings of ACM Symposium on User Interface Software and Technology (UIST) 2011, pp.73-74, 2011.
- [8] Kurihara, K., Hachisu, T., Sato, M, Fukushima, S., Kajimoto, H.: Periodic Tactile Feedback for Accelerator Pedal Control. Proceedings of IEEE World Haptics Conference 2013, pp.187-192, 2013.