

音声信号を用いた携帯端末に装着可能な 力覚提示装置 SPIDAR-S の提案

戸島 幹智^{†1} 赤羽 克仁^{†1} 佐藤 誠^{†1}

概要: 本稿では、携帯端末に装着可能な小型かつシンプルな構成である力覚提示装置 SPIDAR-S を提案する。SPIDAR-S は一本の糸、モータ、イヤホン端子で構成されている。力の提示には、糸の張力を用いる。一本糸であるために力の向きは1方向となる。モータは携帯端末から出力される音声信号により制御される。スマートフォンやタブレットといった携帯端末の多くにはイヤホンジャックが搭載されているため、イヤホンジャックを携帯端末とのインターフェースとして採用した。

A Proposal of Haptic Interface SPIDAR-S attached to the Smartphone and controlled by audio signal

MOTONORI TOSHIMA^{†1} KATSUHITO AKAHANE^{†1}
MAKOTO SATO^{†1}

Abstract: We propose a haptic device SPIDAR-S. SPIDAR-S is able to be attached to the mobile terminal. And it is a very small and simple device. SPIDAR-S is composed of one thread, one motor, and earphone jack. It provides a force feedback by thread's tension. And the direction of the force is one direction. The motor is controlled by the audio output from the mobile terminal. Earphone jack is adopted as an interface with the mobile terminal because earphone jack is mounted on almost mobile terminals such as smartphones and tablet-type devices.

1. はじめに

1.1 研究背景

近年、計算機の性能向上に伴い、VR (Virtual Reality) 世界の中の物体とインタラクションを行う力覚提示装置は、訓練用のシミュレータからエンターテイメントなどの幅広い分野での応用が期待され注目されはじめています。現在、力覚提示可能な装置として、PHANTOM[1]やFALCON[2]などの装置が市販されており、それらの装置を使用するアプリケーションも開発をされている。しかし、これらの装置が一般のユーザに普及しているとは言えない。普及しない理由として考えられるのは、装置自体が高価であること、PCとの接続が必要であること、装置自体が大掛かりなものであることなどさまざまなことが考えられる。

1.2 研究目的

前節で述べたように多くの人にとって、力覚提示装置は馴染みのないものである。もし一般のユーザに手軽に力覚提示の技術を体験してもらうことができる環境があれば、力覚提示装置の一般ユーザへの更なる普及に繋がるのではないかと考えられる。

そこで本研究では、近年 PC に劣らずの高い処理能力を

持つようになってきたスマートフォンやタブレットといった携帯端末で使用するのことができる力覚提示装置の提案を行う。そして、ユーザが場所を選ばずに手軽に使用することのできる環境の構築を行うことを目指す。近年では、触力覚情報を携帯端末上で手軽に使用するためのインターフェースとして疑似的な力覚を提示する Vib-Touch が開発された。[3] 携帯端末に注目した理由として他にも、多くの人が所持し外出時に携帯していることや、アプリケーションやコンテンツの作成を行う環境が整っていること、またそのアプリケーションを共有する環境も整っていることが挙げられる。そして、ユーザが力覚提示を体験したい時にのみ携帯端末に装着し、使用しないときは、外して持ち運ぶことができるように、着脱が容易である小型で軽量の力覚提示装置であることが望ましいと考えられる。例えば、動物園に訪れた際に檻の中の動物などは触ることができず、視覚情報と聴覚情報だけで楽しむだけであったが、力覚提示装置を用いることにより、疑似的に触ったかのような何らかの力をユーザに提示することができれば、これまではなかった新しい楽しみ方を生み出すこと可能であるのではないかと考えられる。

^{†1} 東京工業大学
Tokyo Institute of Technology

2. SPIDAR-S の概要

2.1 装置構成

本研究で提案する力覚提示装置 SPIDAR-S のプロトタイプ内部構造を図 1 に示す。力覚の提示にはワイヤとモータを用いた SPIDAR[4]の機構を採用した。装置に取り付けられたモータを駆動しワイヤを引き、ワイヤの一端に取り付けた半リング状のキャップを指に装着しているユーザに力を提示する。力覚の提示にワイヤとモータを採用した理由として、軽量でありシンプルな装置構成でユーザに力を提示することが挙げられる。また、操作領域を柔軟に変更できることも挙げられる。

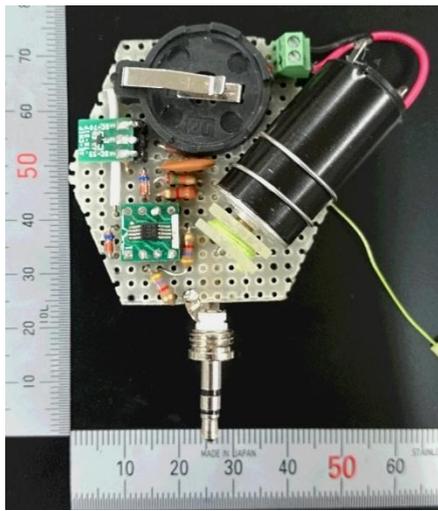


図 1 : 装置の内部構造

Figure 1 : Internal Structure of the Device

装置と携帯端末とのインターフェースとしてイヤホン端子を採用した。イヤホン端子を用いることのメリットとして、イヤホンジャックは携帯端末のほとんどに標準搭載されており、機種依存の低い、汎用性の高い装置となると考えられるということが挙げられる。また、携帯端末に限らずに音声を出力することができるデバイスならば、装置を使用することができ、応用できる可能性が高いと考えられるということも挙げられる。

2.2 システム構成

提案するシステムの概略を図 2 に示す。携帯端末のアプリケーション内でユーザの指の位置の計測を行う、力をユーザに提示したい時に、携帯端末から音声信号を出力する。出力された音声信号はイヤホン端子を介して装置の入力として用いる。装置に入力された音声信号に応じてモータを駆動し、ユーザにワイヤの張力により力を提示する。



図 2 : システム構成

Figure 2 : System configuration

3. 音声信号によるモータ制御

携帯端末からの音声信号によってモータを制御する電子回路の概略を図 3 に示す。携帯端末からの音声信号は 1V 以下となっており、モータを駆動するのに十分な電圧を得ることができない。そこで、モータ駆動用に外部電源を用いて、MOSFET によるスイッチングを用いることにより、携帯端末からの音声信号に応じてモータ駆動を行う。電子回路では、携帯端末からの小さな音声信号を MOSFET のスイッチングに使用できる電圧まで増幅を行い、平滑化を行うことで、音声信号を出力している時に大きな電流がモータに流れ、逆に音声信号を出力していない時には糸がたるまないように必要な最低の張力を提示することができる程度の電流が流れるように設計をした。また、音声信号の増幅およびモータの駆動用の外部電源には小型であるという点からボタン電池を用いることにした。

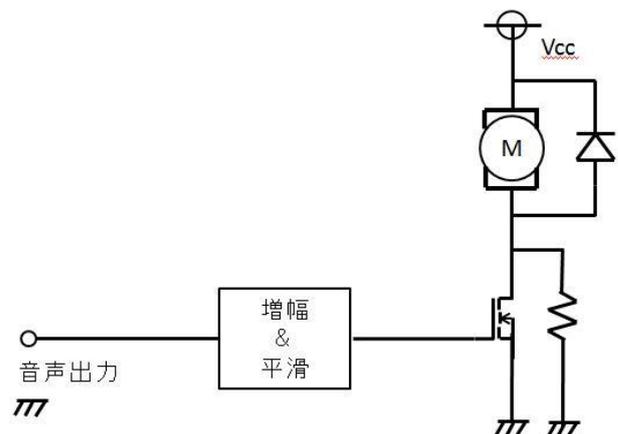


図 3 : 電子回路

Figure 3 : Electronic Circuit

次にこの回路のシミュレーションの結果を図 4 に示す。緑色の波形は携帯端末からの音声信号の出力を表している。SONY 社製 XperiaZ1 (OS は Android4.3 を搭載) で端末の音量を最大にし、音声出力を計測したところ $-425\text{mV} \sim 425\text{mV}$ の範囲で波形が計測された。この端末では、周波数は 20Hz \sim 20kHz まで出力が可能となっており、今回は 1kHz でシミュレーションを行った。青色の波形は増幅・平滑後の電圧で MOSFET のゲート電圧にあたる。このシミュレーションでは、時刻 $t=1\text{ms}$ で携帯端末からの音声出力を ON にし、時刻 $t=3\text{ms}$ で OFF にした。図 4 において、携帯端末からの音声出力を OFF にした時刻 $t=3\text{ms}$ のあとも MOSFET のゲート電圧はすぐには下がらず、その結果モータに流れる電流を表している赤色の波形からわかるように、わずかであるが音声出力 OFF からモータの停止までに約 1ms ほどの時間がかか

ってしまう。本研究の目的は、高い忠実性のある力覚を提示する装置ではなく、あくまでシンプルで小型な装置の開発であり、最低限の電子回路で設計を行うことが望ましいと考え、この遅延は十分に許容できる範囲であると考えた。

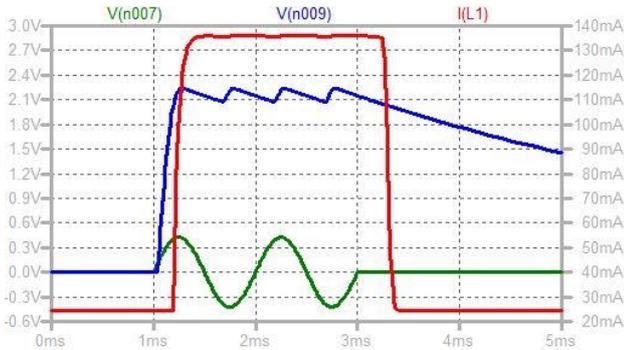


図 4：回路シミュレーション結果

緑：携帯端末からの音声信号

青：増幅&平滑後の信号

赤：モータに流れる電流

Figure4: Result of Circuit Simulation

4. 指の位置計測

ユーザの指の位置情報の取得には、携帯端末に標準搭載されているカメラを用いた。ユーザが指に装着する部分に色をついたマーカーとなるものをつけておき、リアルタイムでの画像処理を用いることで、携帯端末から指の2次元における位置情報の取得を行う。

また、ユーザの指の位置情報の取得にカメラを用いることにより、図5のようにユーザは携帯端末のディスプレイを見ながら、携帯端末の裏側で操作を行うことを想定している。



図 5：操作時

Figure5: How to use

続いてユーザからみたディスプレイ画面の説明をする。図6のようにユーザの指がカメラにより映し出される。画

像処理により指に装着されたマーカー検出を行う。色のついたマーカー検出の方法としてカメラから取得されるRGB画像をHSV画像に変換を行い、各チャンネル毎に閾値処理によりマスク画像を生成し、マスク画像の重心をマーカーの検出位置とした。図9(右)は実際に検出されたマーカーのマスク画像となっている。JavaとC++言語で作成されたOpenCVのライブラリを用いて実装を行ったところSONY社製Xperia Z1で約20fps程度の処理速度が計測された。そして、検出されたマーカーのマスク画像の重心ポイントに対して、数pixel真上の点に青色のポインタの生成を行う。

背景中にマーカーの色と似た色が存在すると誤検出をしてしまうが、現状として背景にはマーカーの色と似た色は存在しないと仮定し、マーカー検出の精度向上は今後の課題とする。また、現状では携帯端末からの指の2次元における位置情報しか取得を行っていないが、マーカーのサイズを現状より大きくし、マーカーの検出領域の大きさに応じて携帯端末からの指のおおまかな距離を推定することができれば、携帯端末から指の3次元における位置情報の取得を行うことができるのではないかと検証を行いたいと考えている。

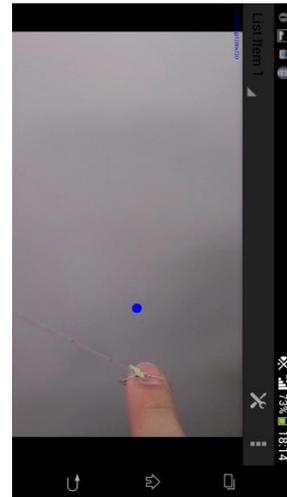


図 6：カメラ画像

Figure6: Camera Image

5. アプリケーション

提案した力覚提示装置を使用するアプリケーションとして、図7のような携帯端末のカメラで写し出されたものを触るといったものを考えた。



図 7：装置の使用例

Figure7：Example of Using

ポインタの位置における画像情報より力覚情報を計算する。力覚情報の計算には、画像のエッジ情報を用いた。ポインタの点におけるエッジ情報に応じて音声の出力の ON, OFF を切り替えることにより、力の提示を行った。ユーザの指にかかるワイヤの張力を変えることにより、ユーザがカメラで写し出されたもののエッジを感じることができ、対象物を触るといった疑似体験ができるものを作成した。現状として、力のパターンが2種類しかないこともあり、何に触っているのかがわかりにくいものとなっているため、今後改良を行う必要がある。また、画像可触化に関しては[4]において研究されている。こちらの手法を参考に今後本研究で作成したアプリケーションにおける力覚情報の計算手法を改良することを検討している。

6. おわりに

本研究では、ユーザが場所を選ばず力覚提示の技術を手軽に体験することができることを目的に、スマートフォンやタブレットといった携帯端末で使用するこのできる小型かつ軽量の力覚提示装置の提案を行った。現在、作成したプロトタイプを元に装置の小型化を試みている。図8のプロトタイプ2では、モータを小さいものに変更をし、外部電源も4.5Vに変更して作成した。また、ボタン電池では、使用時間が15分前後となっており、図9のようなプロトタイプ3では、単4電池で使用できるものを作成し、使用可能時間を長くすることを試みた。今後プリント基板を設計し小型化を行い、装置の完成を目指したいと考えている。その後、持ち運べる小型な力覚提示装置として十分な力を提示することができるかなどの装置の有効性等の評価実験を行う予定である。

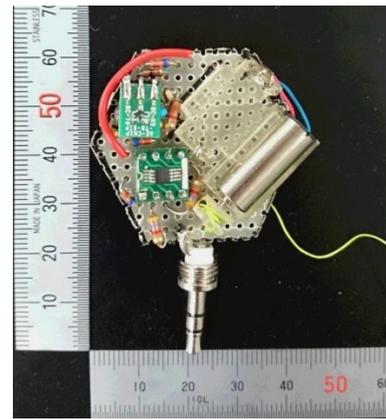


図 8：プロトタイプ 2

Figure：Prototype2

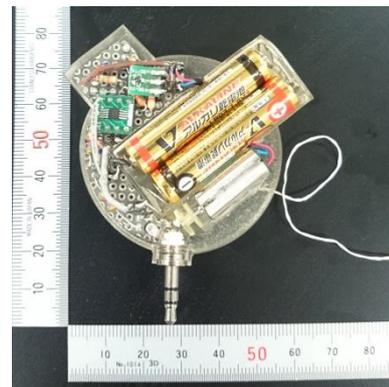


図 9：プロトタイプ 3

Figure：Prototype3

また現状の課題として、音声の ON, OFF による2種類の力をユーザに提示しているが、出力する音声の信号を PWM 制御のように複数の波形のパターンを用いることにより異なる感覚をユーザに提示することができないか検証を行う予定である。

謝辞 本研究を進める上で討論頂いた東京理科大学の原田哲也先生、山口武彦先生に感謝いたします。

参考文献

- [1] SensAble:<http://www.sensable.com>
- [2] Novint:<http://home.novint.com>
- [3] 土屋翔, 昆陽雅司, 岡本正吾, 田所論: Vib-Touch: 指先による仮想能動触を利用した触力覚インタラクション, インタラクション 2010,, 2010
- [4] 佐藤誠, 平田幸広, 河原田弘: 空間インターフェース装置 SPIDAR の提案, 信学論(D), Vol.J74-D2, No.7, pp.887-894, (1991)
- [5] 高濱敦, 赤羽克仁, 佐藤誠: 色とエッジ情報に基づいた画像可触化手法の提案, 画像電子学会誌, 40(4), 695-701, 2011-07-25