

# Vinteraction：スマート端末のための振動を利用した 情報送信インタラクション

米澤 拓郎<sup>1,a)</sup> 中澤 仁<sup>1,b)</sup> 永田 智大<sup>2,c)</sup> 徳田 英幸<sup>1,d)</sup>

受付日 2012年6月27日, 採録日 2013年1月11日

**概要：**スマートフォンやタブレット端末の普及にともない、それら間での情報通信の機会は今後さらに増加すると考えられる。現状では WiFi や Bluetooth を用いて端末間での情報のやりとりが行われているが、機器指定の煩わしさや情報送信完了までのステップの多さはユーザにとって必ずしも簡便とはいえない。本稿では、スマート端末間の新たな情報送信の手法として、振動モータと加速度を利用した情報送信インタラクション Vinteraction を提案する。Vinteraction では Near Field Communication のように情報送信元端末を送信先端末の上へ置く、というインタラクションによって情報送信を実現する。本稿では Vinteraction を実現するための振動検知手法を提案・実装し、さらに Vinteraction を用いたアプリケーションを構築する。また、その性能について評価を行い、本手法の特徴と課題について議論を行う。

**キーワード：**スマート端末, 振動通信, 近接通信, ユーザインタフェース

## Vinteraction: Vibration-based Interaction for Smart Devices

TAKURO YONEZAWA<sup>1,a)</sup> JIN NAKAZAWA<sup>1,b)</sup> TOMOHIRO NAGATA<sup>2,c)</sup>  
HIDEYUKI TOKUDA<sup>1,d)</sup>

Received: June 27, 2012, Accepted: January 11, 2013

**Abstract:** According to the spread of smart devices such as smartphones and tablet computers, opportunities to communicate between them are increasing. Though we usually use WiFi or Bluetooth in such a case, it is still burden task for end-users. This paper proposes a new interaction called Vinteraction, which leverages combination of vibrator and accelerometer to send information from a smart device to the other smart device. Vinteraction enables users to use touch interaction like Near Field Communication, which provides easy and intuitive way. We present an algorithm and implementation of vibration-based communication, and also evaluate our system with actual products. We also present several applications which leverages Vinteraction effectively.

**Keywords:** smart devices, vibration-based communication, Near Field Communication, user interface

### 1. はじめに

近年、スマートフォンやタブレット端末の普及にともな

い、それらデバイス間で細かな情報のやりとりを行う機会が増加している。たとえば、外出時にスマートフォンで閲覧していた WEB コンテンツを、帰宅後より大きな画面のタブレット端末で継続して閲覧したい際には、その URL を転送する必要がある。本研究では、スマートフォンやタブレット端末など、マルチタッチや加速度センサなどのインタラクション機能を有し、これまでの携帯端末より高度な処理能力を有するデバイスをスマート端末と呼ぶ。現在、スマート端末間での情報通信の手法としては、ネットワーク経由でのメッセージ転送が一般的であるが、(1) 無

<sup>1</sup> 慶應義塾大学大学院政策・メディア研究科  
Graduate School of Media and Governance, Fujisawa,  
Kanagawa 252-8520, Japan

<sup>2</sup> 株式会社 NTT ドコモ先進技術研究所  
NTT DOCOMO R&D Center, Yokosuka, Kanagawa 239-  
0847, Japan

a) takuro@ht.sfc.keio.ac.jp

b) jin@ht.sfc.keio.ac.jp

c) nagatat@nttdocomo.co.jp

d) hxt@ht.sfc.keio.ac.jp

線ネットワークへの接続, (2) 通信相手の特定, (3) 通信内容の確定, (4) 通信と 4 ステップが必要となるため, エンドユーザにとっては必ずしも簡便とはいえない. 一方, 端末間で直接情報のやりとりを行える NFC 機能を用いれば, “端末を情報送信先の端末の上へ置く” 操作だけで情報転送が可能となるが, いまだ多くの端末には NFC が搭載されていない.

本研究では, 現状のスマート端末間で直接的な情報転送を可能とするため, 振動モータと加速度センサを用いた情報送信手法 Vinteraction を提案し, その実装と評価を行う. 本手法では, 携帯端末内の転送したい情報を振動としてエンコードし, 携帯スマート端末のバイブ機能で振動させ, その振動をタブレットなど別スマート端末の加速度センサで検知することによって情報転送を行う. 本稿では, 提案した手法を実現するためのアルゴリズムを述べ, 実装を行った. さらに, その手法を用いたアプリケーション (URL 転送アプリケーション, パスワード管理アプリケーション) を構築する. 評価として, 実装システムを用いた実験を行い, その可用性・ロバストネスについて検証した. 結果, 複数のスマート端末において提案手法が動作可能であることが分かった.

本研究の貢献は, 大きく以下の 3 点である.

- 振動モータと加速度センサを組み合わせた情報送信手法 Vinteraction を提案・実現したこと
- Vinteraction を利用したアプリケーション例を構築したこと
- 複数の市販スマート端末を用い, Vinteraction の性能を評価したこと

本稿は以下のように構成される. まず, 次章で本研究が想定する利用例を述べ, スマート端末間における情報通信の必要性について述べる. また, 本研究の関連研究についても述べる. 3 章で本研究が提案する加速度センサと振動モータを利用した情報通信手法の概要および, 本手法を実現するためのアルゴリズムについて述べる. 4 章でアプリケーションも含め, 実装したシステムについて説明する. 5 章で評価について述べ, 6 章で応用可能性と今後の課題を議論する. 最後に, 本稿の結論を述べる.

## 2. スマート端末間の情報通信

本章では, まず, 本研究が想定する利用シナリオを述べる. その後, 関連研究について説明する.

### 2.1 利用シナリオ

スマート端末の普及にともない, 自宅, 外出先などあらゆる場所でインターネットコンテンツへのアクセスが可能となった. スマート端末はその形状の大きさから, 携帯電話型のスマートフォン (iPhone, Android Phone や Windows Phone), 広い画面を備えるタブレット端末 (iPad, Android

Tablet, Windows Tablet) に大別できる. 将来, ユーザはこれら複数の種類のスマート端末を状況にあわせて使い分けることが想定される. たとえば, 電車の中や徒歩など移動中は片手で操作できるスマートフォンを, 自宅やカフェなど落ち着いて端末を操作できる環境ではタブレット端末を利用するであろう. スマートフォン, タブレット端末両方とも個人所有のデバイスであるが, 携帯に適するスマートフォンの方がよりプライベートな所有物であると考ええる. 近年, レストランやカフェでは, 顧客の満足度を向上させるためにパブリックなタブレット端末を設置するケースが拡大している. それらタブレット端末では飲食メニューのインタラクティブな表示に加え, 顧客が WEB コンテンツにアクセスすることを許可している場合もある. このように, 今後我々の身の回りでは, 様々なスマート端末が遍在する可能性が高い. それにともない, スマート端末間での情報のやりとりの機会はさらに増加していくと考えられる. 想定される利用例を以下に示す.

- URL 転送: スマート端末のアプリケーションのうち最も頻繁に利用されるのは, ブラウザを利用した WEB コンテンツのアクセスであろう. 外出時にスマートフォンで閲覧していた WEB コンテンツを, 自宅やカフェなどに設置されたより広い解像度を持つタブレット端末で継続して閲覧したい場合は多い. この際, それまで閲覧していた WEB コンテンツの URL をスマートフォンからタブレット端末へ転送する必要がある.
- パスワード転送: プライベートな端末であるスマートフォンには, 今後様々なプライベートな情報が集約されると考えられる. その 1 つとして各 WEB サービスへのアクセス手段としてのパスワードの管理が想定される. 現在オンラインメールサービス, Twitter や Facebook など, ユーザは多数のパスワードを管理せざるをえない状況となっている. これらのパスワードをプライベート端末であるスマートフォンに保持し, 必要に応じてタブレット端末へ転送することができれば, ユーザの利便性は向上すると考えられる. また, タブレット端末はラップトップコンピュータと異なり, 何をタイピングしているか周囲に見られやすいという問題があり, この点でも有用であると考えられる.

このように, スマート端末の普及にともないそれらの間での情報通信の必要性は高まっている. かつ, 利用者は専門家ではなく一般の人々であるため, 情報通信は, 容易かつ直感的であるべきである. たとえば, URL を転送するためにメールを用いることは一般的な方法であると考えられるが, 宛先を指定する手間を煩わしいと感じるユーザや, カフェなどに設置された公共的な端末ではメールの利用に抵抗があるユーザも存在すると考えられる. 本研究では, スマート端末間でも, 特にスマートフォンからタブレット端末への情報送信の機会の多さに着目する. 次節では, 端

末間の情報通信手法として、関連研究を述べる。

## 2.2 関連研究

端末間の容易な情報通信は非常に重要であるため、これまでに多くの手法が提案・実現されている。

最も一般的な手法は、WiFi や Bluetooth など無線通信を用いた情報通信である。ほぼすべてのスマート端末はこれらの通信手段を備えているため、最も有効かつ現実的な方法である。無線通信を行うためには基本的に(1)無線ネットワークへの接続、(2)通信相手の特定、(3)通信内容の確定、(4)通信、の4つのステップを踏む必要がある(Bluetooth では(1)と(2)のステップは同時に行う)。しかし、このステップ数を毎回踏まなければならないのは煩わしい行為であるため、(1)、(2)の各ステップを容易にするため様々な研究がなされてきた[4]、[5]、[6]、[7]。

Swindells ら[7]は赤外線を用い、機器間のアドホックな接続制御を実現している。スマートフォンは赤外線を備えることが多いが、タブレットはそうでない場合も多い。よって、スマート端末に元々備わる機能を用いた手法が望ましい。SyncTap[5]は、接続したい機器どうしに元々備わっているボタンをタップすることにより、それらの接続関係を明示する手法である。同様に、Synchronous Gestures[4]では接続したい機器どうしをくっつけることによって機器に搭載された加速度センサの値を同期させ、接続相手特定する。またBump[3]は、機器の位置情報(GPS)とくっつけるというアクションを同期させ、機器どうしを紐づけるというアプローチを採用している。ProxNet[6]はWiFiの信号強度を用いて機器間の近接状態を取得し、機器特定とセキュアな通信を実現している。一方で、ProxNetではWiFiを利用するためハードウェア上の変更は必要ないが、パケットごとの信号強度を判定するためデバイスドライバの変更を必要とする。なお前提として、これらの手法の多くは同一ネットワークへすでに接続していることが求められる。よってカフェなどのパブリック端末を対象とした際、その前提を満たすステップが必要となる。

より直接的な情報のやりとりとしては、RFIDに代表されるNear Field Communication (NFC)[1]があげられる。公共交通のチケットシステムとしても幅広く利用されているNFCは、WiFiなどのインフラを必要とすることなく、機器どうしをタッチさせることで情報の送受信を可能としているため、直感的かつ容易である。一方でNFCが搭載されたスマート端末はまだまだ少く、現状のスマート端末を対象として、同様の直感的な情報送信の実現が望ましい。

## 2.3 目的

本研究では、プライベートな環境およびレストランやカフェなどのパブリックな環境に設置されたスマート端末を対象とし、(1)WiFiなどネットワーク基盤への接続を想定

することなく、(2)特別なハードウェアの追加や変更を必要とすることがなく、(3)操作完了のためのステップ数が少なく直感的で容易、な情報通信手段の提供を目的とする。前述の関連研究では、特定の状況では望ましい手法であるが、本研究の対象とする環境すべてにおいては必ずしも適していない。現状の市販製品にも適応可能で、かつネットワークへの接続などのステップが不必要な手法を実現する。

## 3. Vinteraction：加速度センサと振動モータを利用した情報送信インタラクション

本章では本研究が提案するVinteractionについて説明する。まず手法の概要を説明し、その手法を実現するための技術的事項について述べる。

### 3.1 概要

Vinteractionは、NFCと同様のインタラクション「情報送信元端末(スマートフォン)を送信先端末(タブレット端末)の上へ置く」という操作で情報転送を可能とさせることを目的とする。本研究では、現状のスマート端末でこのインタラクションを実現するため、情報送信元の振動モータ(バイブレータ)と、情報送信先の加速度センサを組み合わせた手法を提案する。すなわち、スマート端末内の送信したい情報を振動としてエンコードし、スマート端末のバイブ機能で振動させ、その振動を受信側スマート端末の加速度センサで検知することによってデコードする。我々の調査では、現在市販されているスマートフォン端末35機種すべてに振動モータが搭載され、タブレット端末15機種のすべてに加速度センサが搭載されていることを確認した(機種一覧を表1に示す)。よって、この組合せは現状の製品に対して有用である。

振動を利用した情報通信方式は既存研究が存在するが、物体どうしの接触関係を検知する[9]という限定的な目的であったり、加速度センサではなく反射型フォトセンサ[8]を用いた手法である。本研究は、振動モータと加速度センサの組合せを用い、任意の情報転送を現在市販されている端末において実現、評価するという点でこれらの研究とは異なる。なお、スマート端末のための情報通信の手法としては、マイクとスピーカを組み合わせた近傍通信の研究例も報告されている[2]。あらゆるスマートフォンがマイクとスピーカを有しているため、この組合せも現実的であるといえる。一方で音声は周囲の環境のノイズが問題となったり、マイクとスピーカの場所を正確に把握する必要があるという問題が存在するため、あらゆる状況において最善の手法ではない。前述の関連研究、またQRコードなどを利用した情報転送など一般的な手法も存在するが、ユーザは状況に応じて最善の手法を選び、使用している。Vinteractionにおいても、振動モータによる加速度センサの変化を用いるため、揺れる車内などでは利用できないと

表 1 調査対象端末一覧  
Table 1 List of devices for survey.

SmartPhone	Tablet
GalaxyS2 SC-02C Samsung/iPhone4s/P-04D/dynapocket X02T	GALAXY Note SC-05D
IS05/SHARP IS03/Xperia PLAY SO-01D/Optimus X IS11 LG	Sony Tablet S/iPad
AQUOS PHONE 009SH/BlackBerry Bold 9900/REGZA Phone IS11T	MEDIAS TAB N-06D
AQUOS PHONE SH-06D/HTC J ISW13HT/Optimus LTE L-01D	Toshiba Excite 13 AT335
AQUOS PHONE 104SH/URBANO PROGRESSO	Dell Streak 10 Pro/GALAXYTab 7.0 SC-02D
INFOBAR A01/ARROWS Z ISW11F/MEDIAS CH 101N	BlackBerry PlayBook WiMax
LYNX 3D SH-03C/GALAXY SII ISW11SC/AQUOS PHONE SH-12C	Acer Iconia Tab A500
AQUOS PHONE SH-13C/Xperia acro HD IS12S/MEDIAS PP N-01D	Toshiba Thrive 7/ARROWS Tab LTE F-01D
MOTOROLA RAZR IS12M/STAR 7 009Z/DIGNO ISW11K	Samsung Galaxy P7320T
GALAPAGOS 003SH/Softbank 008Z/Yahoo! Phone 009SH Y/	MOTOROLA XOOM
Softbank 102P/DELL Streak Pro 101DL/Libero 003Z/AQUOS PHONE 104SH	Toshiba Thrive/HTC Jetstream

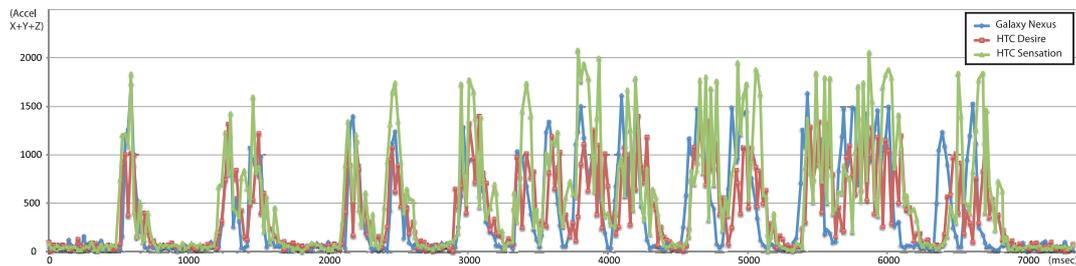


図 1 端末の種類によって、その振動が与える加速度の変化の違い  
Fig. 1 Differences of accelerometer values affected by vibrator of various smartphones.

いう問題が存在する。本研究では、様々な状況に対応するため、ユーザに幅広い選択肢を与えることが重要であると考える。スマート端末間の情報のやりとりの1つの手段として Vinteraction を位置づけ、その実現を目指す。

### 3.2 アルゴリズム

振動モータ、加速度センサの種類はスマート端末ごとに異なる。同様にスマート端末の筐体の材質も異なるため、振動モータによる振動が加速度センサのセンサ値にどの程度影響を与えるかは、事前に予測は難しい。具体的な例として、図 1 に異なる3つのスマートフォン (HTC Sensation, Galaxy Nexus, HTC Desire) の振動モータを用いて、タブレット端末 (Sony Tablet S) へ振動を与えた際に得られる加速度センサ値の違いを示す。この例では、「000100010100000010010000110010101101100011011000110111100010100000」という振動 (0は振動なし、1は振動あり。各振動なし・ありは100ミリ秒持続) を各スマートフォンから与えた。横軸は時間を、縦軸は重力加速度を除いた3軸方向の加速度センサ値の合計を示す。この図からも、端末ごとに振動の強さが異なり、それが加速度に与える影響も異なることが分かる。また、振動が伝わる強さは端末を置く場所によっても異なる。このようにあらかじめ決まった閾値などを設定して加速度センサ値を解析する手法は適していない。任意のスマート端末で動作可能とさせるためには、これらのセンサ、端末の差異を吸収する必要

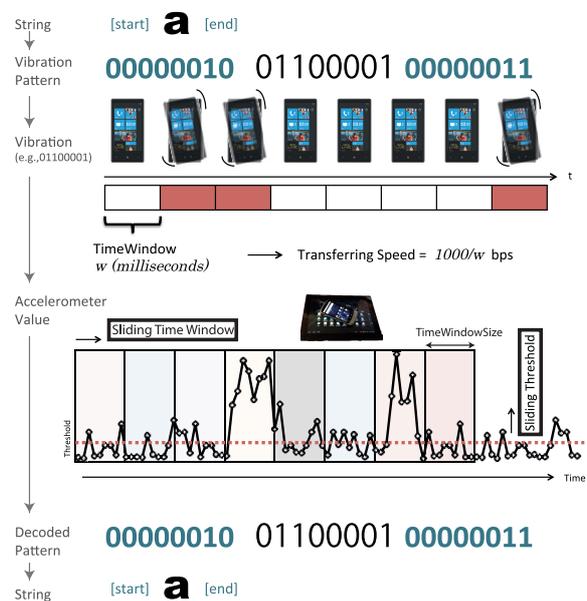


図 2 振動モータと加速度センサによる情報通信手法  
Fig. 2 Information transferring method by vibrator and accelerometer.

がある。

この問題のアプローチとして、提案手法の概要を図 2 に示す。本手法では、送信する情報は二進数に変換され、あらかじめ決められた持続時間のもと各ビットの0を振動なし、1を振動ありとして振動を発生させる。すなわち、この持続時間に従って情報送信の速度が決定される。任意の機器

の組合せに対応可能とさせるため、本手法ではタイムウィンドウと閾値をスライドさせ、あらかじめ定められた情報の始点 (0x02) と終点 (0x03) を表すビット列を認識する適したそれぞれの値を動的に発見し、送信された情報を復号可能とする。始点と終点のビット列は、それぞれ ASCII コードにおけるテキスト開始および終了のビット列であるという点と、異なるビット列を用いることで復号の際のエラーを軽減させる観点から決定した。得られた加速度のスカラ値の集合を  $S = \{a_0, a_1, \dots, a_n\}$  としたとき、ある時区間  $t_p$  における  $S$  の部分集合  $s_p = \{a_x, a_{x+1}, \dots, a_y\}$  の加速度値の合計  $\sum_{m=x}^y a_m$  が閾値  $T \times |s_p|$  を超えた際に振動していると判断し、この解析処理を時区間  $t_p$  および閾値  $T$  を変化 (スライド) させながら行う。閾値  $T$  の範囲および変化率  $\Delta T$  の範囲は、得られた加速度センサの最大センサ値に従い、動的に決定する。振動モータと加速度センサを用いた振動の伝達では、振動モータの固有振動数 (および素材を通じたその伝播)、加速度センサの読み取り回数・タイミングに大きく左右される。本手法ではタイムウィンドウのスライドにより加速度センサの読み取り回数・タイミングの差異に対応するとともに、閾値のスライドにより振動モータから受ける影響の差異に対応している。

本手法の疑似コードを表 2 に示す。表中、slidingTimeWindowStepCount はタイムウィンドウ内に含まれる加速度センサの読み取り回数により決定され、slidingThresholdStepCount は閾値のスライディング回数により決定

表 2 振動検知アルゴリズムの疑似コード

Table 2 Pseudo code for vibration detecting algorithm.

```

for  $i$  to slidingTimeWindowStepCount do
  dataNum  $\leftarrow$  0
  sum  $\leftarrow$  0
  baseTime  $\leftarrow$  accelValueList.get( $i$ ).getTime()
  if maxVal < accelValueList.get( $i$ ).getValue() then
    maxVal  $\leftarrow$  accelValueList.get( $i$ ).getValue()
    baseThreshold  $\leftarrow$  maxVal/slidingThresholdStepCount
  end if
  for  $j = i$  to accelValueList.size() do
    sum  $\leftarrow$  sum + accelValueList.get( $j$ ).getValue()
    dataNum ++
    if accelValueList.get( $j$ ).getTime() - baseTime >
      timeWindowSize then
      for  $k = 1$  to slidingThresholdStepCount do
        threshold  $\leftarrow$  baseThreshold *  $k$ 
        if sum > threshold * dataNum then
          bitPattern[ $k$ ]  $\leftarrow$  bitPattern[ $k$ ] + "1"
        else
          bitPattern[ $k$ ]  $\leftarrow$  bitPattern[ $k$ ] + "0"
        end if
        decodeString(bitPattern[ $k$ ])
      end for
      baseTime  $\leftarrow$  baseTime + timeWindowSize
    end if
  end for
end for

```

される。なお、場合によっては複数の情報が復号されることがある。その際は最も多く得られたビット列を採用し、複数のビット列が同じ数だけ登場した場合は最終的な選択はユーザに委ねる。もちろんこの点は、チェックサムを付与することで正しい情報がどうかの確認は可能である。本稿ではできるだけ短い情報のまま、上述した手法でどの程度の精度が達成できるか、実験を行い報告する。

## 4. 実装

本章ではまず、上述したアルゴリズムに基づき実装した Vinteraction 基盤ライブラリについて述べ、その後 Vinteraction を利用したアプリケーションについて述べる。

### 4.1 Vinteraction 基盤ライブラリ

Vinteraction を実現するための基盤ソフトウェアの実装を行った。本研究では多数の製品に搭載された Android プラットフォームを対象とし、Java で実装を行った。Vinteraction を用いた多くのアプリケーションを実現可能とするため、情報送信機能、情報受信機能ともライブラリとして再利用できるよう設計されている。文字列は ASCII コードとしてビット列で表され、そのビット列を振動パターンとして用いる。文字列の始点と終点には転送対象の始まりと終わりを示すためのフラグ用ビット列が追加される。加速度値の解析は振動の伝達時にリアルタイムに行われ、始点と終点のビット列をマッチングし、送信された文字情報を復元する。

なお、現状はアプリケーション用ライブラリとして実装しており、ユーザは Vinteraction 機能があらかじめ組み込まれたアプリケーションであれば送信側端末を受信側端末の上へ置き、振動開始ボタンを押すことで情報送信を行う。すなわち、(1) 置いて、(2) 振動を発生させる、というインタラクションとなっており、従来の NFC のインタラクションに比べるとステップが 1 つ増えている。一方でネットワークの接続 (SSID の指定、パスフレーズの入力) や通信相手の指定などを含む従来のステップ数に比べると簡便であることは確かであり、ユーザへの負担は軽減されると考えられる。任意のアプリケーションへ情報送信を行うためにはまず Vinteraction 機能が組み込まれた情報受信アプリケーションを起動し、受信した情報をコピーし、任意のアプリケーションへ貼り付ける、といった操作が必要であるが、今後バックグラウンドでの動作を可能とすることで、この問題は解決可能であると考えられる。また、オペレーティング・システムレベルでの実装を行うことで、バックグラウンドアプリケーションの起動すら必要がない、より容易な操作方法が実現されると考えられる\*1。

\*1 一方、加速度センサを常時アクティブにすることは電池消費にもつながり、実装形式に関してはさらなる議論・評価が必要である。

## 4.2 アプリケーション

2章で述べた利用シナリオに基づき、Vinteraction を利用したアプリケーションを実装した。以下にそれぞれについて説明する。

- URL 転送アプリケーション：スマートフォンで閲覧した WEB コンテンツを、より大きなディスプレイを持つタブレット端末で閲覧したい際、URL をタブレット端末へ転送することでシームレスな WEB 閲覧を可能とする。本アプリケーションでは URL の情報を圧縮するために、URL 圧縮サービス (例：bit.ly) を用いて数バイトの文字列へと変換し、それを Vinteraction によって転送する (図 3 参照)。本アプリケーションの実装では、情報受け取り側端末としてタブレット端末のほか、加速度センサを搭載した PC (HDD が搭載された Macbook シリーズ) でも動作可能とさせた。
- パスワード転送アプリケーション：タブレット端末で文字入力を行う際、タッチパネル式のキーボードに不慣れたユーザは何の文字を入力したかが、周囲に容易に推測されてしまう。本アプリケーションは、個人端末としてのスマートフォンをパスワード管理端末として利用することで、任意のタブレット端末に対して直



図 3 URL 転送によるシームレス WEB コンテンツ閲覧  
Fig. 3 Seamless WEB reading by URL transferring.



図 4 パスワード管理・転送アプリケーション (スマートフォン側)  
Fig. 4 Password management and transferring application (smartphone-side).

接パスワードを入力するよりセキュアにパスワード入力を行える。スマートフォン側における本アプリケーションの実行時スクリーンショットを図 4 に示す。パスワードはセキュリティ上重要な文字列であるため、本アプリケーションは AES によって暗号化したうえで情報を転送可能とする機能を有する。

## 5. 評価

本章では評価について述べる。まず評価手法について述べ、結果を示し考察を行う。

### 5.1 評価手法

提案手法の有用性を評価するため、実験を行った。実験の目的として、(1) Vinteraction が様々な端末で利用可能であるか、(2) どの程度高速かつ高精度に Vinteraction が行えるか、の 2 点を評価する。(1) の目的を達成するため、市販された複数のスマートフォンとタブレット端末を組み合わせ、Vinteraction を実行させる。(2) の目的を達成するため、(1) のデバイスを利用し、情報送信ビットレート (振動の持続時間) の変化による情報送信の精度を検証する。本評価では、前章で述べたアプリケーションのユースケースを考慮し、スマートフォンからスマートタブレットへの情報送信の精度に関する実験を行った。

平らな机の上にタブレット端末を設置し (図 5 参照)、タブレット側の振動認識プログラムを起動した状態でスマートフォンをタブレットの上に置き、振動発生プログラムを実行した。実験に用いた端末の一覧を表 3 に示す。各端末には端末保護カバーなどはつけず、そのまま使用した。各スマートフォンとタブレット端末の組合せ、計 9 通りの実験を行った。また、各組合せにおいて、情報送信ビットレートを、20 bit/sec (振動持続時間 50 ミリ秒)、10 bit/sec (振動持続時間 100 ミリ秒)、6.6 bit/sec (振動持続時間 150 ミリ秒)、5 bit/sec (振動持続時間 200 ミリ秒) に設定し、精度について検証を行った。以上の組合せにおいて、Vinteraction により「Hello,world!」(96 bit) の文字列を送信する試行を 5 回ずつ行った。前章で述べたアプリケーションでは、パスワード (8 文字以上が通常推奨されている) や URL (URL 圧縮サービスを用いると 6 文字の



図 5 実験環境と端末 (机の上に設置)  
Fig. 5 Experiment setup and target products.

表 3 実験に用いた製品

Table 3 List of products for evaluation.

製品名	種類	メーカ	バージョン	CPU クロック周波数	メモリ	サイズ [HxWxD (mm)]
HTC Desire	Smartphone	HTC	Android2.3.4	1 GHz	576 MB	119x60x11.9
HTC Sensation	Smartphone	HTC	Android2.3.4	1.2 GHz	768 MB	126.1x65.4x11.3
Galaxy Nexus	Smartphone	Samsung	Android4.0.2	1.2 GHz	1 GB	136x68x8.9-11.5
REGZA Tablet AT1S0	Tablet	TOSHIBA	Android3.2.1	1.0 GHz	1 GB	188x129x12.7
ICONIA TAB A500	Tablet	ACER	Android3.1	1.0 GHz	1 GB	260x177x13.3
Sony Tablet S	Tablet	Sony	Android3.2	1.0 GHz	1 GB	241.2x174.3x10.1-20.6

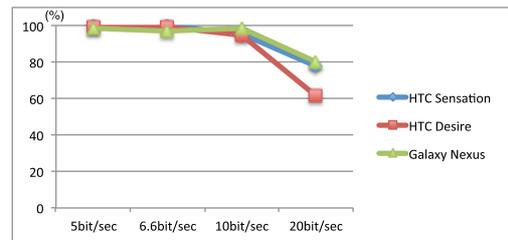


図 7 スマートフォンごとの平均精度

Fig. 7 Average accuracy for each smartphone.

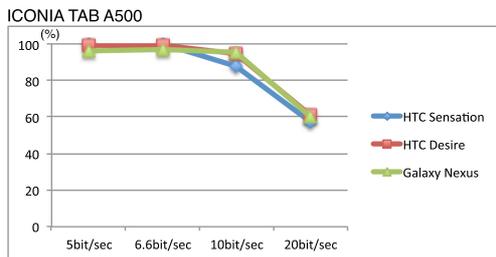
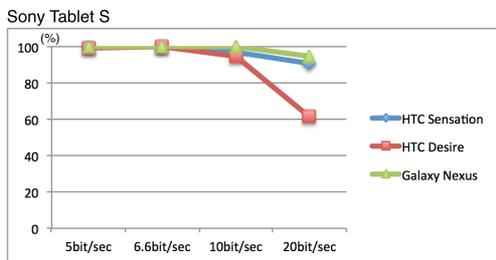


図 6 各タブレット端末ごとの実験結果

Fig. 6 Result of experiments.

ハッシュ、ドメインを含め 12 文字) を例としているため、12 文字であり幅広く用いられる同文字列を利用した。

### 5.2 評価結果

各組合せにおいて「Hello,world!」を 5 回ずつ送信し、96 bit の各 bit の適合率の平均を測定した。各タブレット端末に対して送信速度を変化させながら Vinteraction を実行した際の精度を図 6 に示す。また、3 つのタブレット端末に対する各スマートフォンの精度の平均を図 7 に示す。

HTC Sensation, HTC Desire, Galaxy Nexus のいずれのスマートフォンにおいても、REGZA Tablet AT1S0, Sony Tablet S, ICONIA TAB A500 それぞれに対して送信速度が 5 bit/sec (振動持続時間 200 ミリ秒), 6.6 bit/sec (振動持続時間 150 ミリ秒) ではほぼ 100% 近い精度が得られた。また、送信速度 10 bit/sec (振動持続時間 100 ミリ秒) にお

いても、おおむね 95% 以上の精度で情報伝送が行っていた。しかし、ICONIA TAB A500 と HTC Sensation の組合せにおいては、10 bit/sec の送信速度の際に 85% 程度の精度となっていた。また、20 bit/sec の送信速度ではすべての組合せにおいて精度が低下した。REGZA Tablet AT1S0 および Sony Tablet S に対して、HTC Sensation と Galaxy Nexus を 20 bit/sec の送信速度で用いた際は、85~95% 程度の精度となっている。さらに、Regza Tablet AT1S0 および Sony Tablet S に対して HTC Desire を 20 bit/sec の送信速度で用いた際は、60% 近くまで精度が低下している。ICONIA TAB A500 に対しては、20 bit/sec の送信速度で情報伝送を行った際は、すべてのスマートフォンで精度が 60% 近くまで低下している。各スマートフォンごとの平均精度を見ると、HTC Sensation と Galaxy Nexus が 20 bit/sec の送信速度での精度低下も含め、同様な精度結果が見受けられたのに対し、HTC Desire は 20 bit/sec の送信速度で他機種に比べて大きく精度が低下している。

これらの結果より、提案手法による現在の実装では、10 bit/sec 程度の送信速度までであれば複数の機種の組合せで Vinteraction が高い精度で利用可能であることが分かった。一方で、より高速で情報伝送を行う際や、一部機種組合せによっては精度が大きく低下することが分かった。次節ではこの原因について考察を行う。

### 5.3 考察

実験より、(1) 送信速度を高めると全体的に精度が低下する、(2) ICONIA TAB A500 ではすべての機種の精度が大きく低下する、(3) HTC Desire は他機種に比べて精度低下が発生する、という 3 つの結果が得られた。以下、そ

の原因について考察を行う。

### 5.3.1 送信速度を高めると精度が低下する原因

送信速度を高める（振動持続時間を短くする）と、すべての組合せにおいて精度が低下する傾向がみられた。これは、タブレット端末側の加速度センサのリードサイクルに影響を受けていると考えられる。実験のログを調査したところ、すべてのタブレット端末が100ミリ秒に10回程度加速度センサ値を取得していた。振動持続時間を短くした際は、振動が加速度の変化として現れる割合が減少し、正確に振動を検知できなかった（振動と認識できるほど有意な加速度の変化を与えられなかった）ことが考えられる。また振動持続時間が短ければ短いほど振動モータの固有振動数の違いによる影響を受けやすく、この点も精度が低下する一因となりうると考えられる。この問題解決のためのアプローチとしては、加速度センサの単位時間あたりの読み取り回数を増やす必要があり、ハードウェア（加速度センサおよびCPU）もしくはOSレベル（加速度センサへのアクセス頻度）の改善が必要である可能性がある。一方、高速に振動のオンオフを切り替えることは、精度が高くリアルタイム性を備えた振動モータの制御が求められるため、この点でもOSがどの程度リアルタイム性を保証できるかという点も重要であると考えられる。

### 5.3.2 ICONIA TAB A500 で精度が低下する原因

他タブレット端末に比べ、ICONIA TAB A500では大幅な精度の低下が見受けられた。これは、ICONIA TAB A500の筐体が原因として考えられる。実験ログを調査したところ、ICONIA TAB A500の加速度センサ値は、振動による変化量が他タブレット端末より小さかった。これはICONIA TAB A500の筐体の大きさとも関係しているであろう。よって、特に送信速度を高めた際（20bit/sec）には、加速度センサに対して振動が十分な影響を与えられず、精度が低下したことが考えられる。この問題を解決するためには、ICONIA TAB A500内に設置された加速度センサの近くで振動を発生させるようにし、より強い影響を加速度センサへ与える必要があると考えられる。そのためには、あらかじめ振動検知プログラムのインタフェースにスマートフォンを置く場所のガイダンスを設けるなど、タブレット端末ごとにインタフェースを改善させる必要がある。

### 5.3.3 HTC Desireの精度が低下する原因

HTC SensationおよびGalaxy Nexusに比べ、HTC DesireはREGZA Tablet AT1S0、Sony Tablet Sとの組合せにおいて、20bit/secの送信速度で精度がより低下した。この理由としては、HTC Desireの振動がタブレット端末の加速度センサに与える影響が、他のスマートフォンに比べ小さいということが考えられる。図1においても、HTC Desireの振動は他機種より加速度に与える変化が小さいことが見て取れる。実験の際に気づいた点として、HTC Desireは他スマートフォンに比べ、端末をタブレット端末

上に置いた際に物理的な接点が少ないという特徴もあった。よって、送信速度が高速になるにつれ、振動の弱さが精度の低下として顕著に現れたということが考えられる。この問題に対しては、上述したようにタブレット端末の加速度センサの位置を考慮してスマートフォンを置くなど、運用面でカバーを行うことで改善の余地がある。

## 6. 応用と今後の課題

### 6.1 インタラクションのさらなる簡素化

現在の実装では、送信端末側で送信する情報を選択した後、端末を受信端末の上へ置き、振動発生ボタンを押す、というインタラクションとなっている。「置くだけ」で情報送信を実現するために、情報選択後、「置いた」という状況を送信端末側の加速度計の変化から検知することでよりNFCと同様の簡易なインタラクションが実現可能である。

### 6.2 精度と送信速度向上

今後の課題として、精度および送信速度の向上があげられる。本稿ではシンプルなアルゴリズムによりどの程度の精度と送信速度が達成可能か報告したが、誤り符号検出・訂正技術などを適用することでロバストネスのさらなる向上が期待できる。送信速度に関しては、現状では10bit/sec程度であるため、たとえば6文字の圧縮URLを送信するために5秒、8文字のパスワードを送信するために6–7秒など、メールやQRコードを用いた作業に比べると効率は良いと考えられるが、従来のNFCに比べると低速であり、今後の改善が求められる。本稿の実装では文字列をASCIIコードのビット列とし、それを振動パターンとして用いたが、パターンの圧縮や文字コードを工夫することでより高速な情報伝達が可能となるであろう。さらに、本稿では3つのスマートフォン、3つのタブレット端末を組み合わせで実験を行ったが、より多くの製品で実験を行うことで、さらなる問題発見と解決のアプローチが期待される。

### 6.3 応用可能性

本稿ではスマート端末どうしの1対1のインタラクションに焦点を絞ってアプリケーションを構築し、実験を行った。一方、本手法は1対1に限らないインタラクションにも応用可能性がある。現在の市販タブレット端末の中には振動モータが搭載されているものもある（表1の調査では1/3のタブレット端末が振動モータを備える）。タブレット端末上に複数のスマートフォンを置き、タブレット端末を振動させることで複数のスマートフォンの加速度センサに変化を与えられる。すなわち、Vinteractionは1対多のインタラクションに関しても実現可能だと考えられる。本稿での評価で用いたタブレット端末には振動モータが備わっていなかったため、今後異なる製品を用いて実験を行っていく。また、3台以上の複数のスマート端末を垂直に重ね合わ

せ、加速度センサと振動モータを同時に利用することで振動の伝達を行える可能性もある。さらなるインタラクションの実現とともに、それを利用したアプリケーションの構築を目指す。本稿では主にテキストデータを送信するアプリケーションを構築したが、クーポン配布などパブリック環境で有用なサービスも期待できる。また、スマート端末に限らず、本手法はセンサノードなど非力な端末間での通信手段としての利用も可能であると考えられる。この観点からも、本手法のさらなる応用を検討していく必要がある。

## 7. 結論

スマートフォンやタブレット端末の普及にともない、これらの端末間での情報のやりとりの機会はより増加していく。本稿では、スマート端末間の情報送信手法として、振動モータと加速度センサの組合せを用いた情報送信インタラクション Vinteraction を提案し、その実装およびアプリケーションの構築、性能評価を行った。結果、複数の市販製品において、提案手法が 10 bit/sec 程度の速度で情報を送信可能であったことを示し、また高速化や機器の差異に関する問題点について実験を通じて議論した。現状の送信速度は必ずしも十分とはいえないが、URL やパスワードなど小さな情報を送信したい状況では有効であるといえる。本手法はスマート端末間の情報通信の新たな手段としてユーザの選択の幅と利便性の向上に寄与するであろう。

**謝辞** 本研究の一部は独立行政法人情報通信研究機構 (NICT) の委託研究として行われた。

## 参考文献

- [1] Nfc forum, available from (<http://www.nfc-forum.org/home/>).
- [2] Arentz, W.A. and Bandara, U.: Near ultrasonic directional data transfer for modern smartphones, *Proc. 13th International Conference on Ubiquitous Computing, UbiComp '11*, pp.481–482, ACM (2011).
- [3] Bump Technologies Inc.: The bump app for iPhone and Android, available from (<http://bu.mp/company/>).
- [4] Hinckley, K.: Synchronous gestures for multiple persons and computers, *Proc. 16th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology, UIST '03*, New York, NY, USA, pp.149–158, ACM (2003).
- [5] Rekimoto, J., Ayatsuka, Y. and Kohno, M.: Synctap: An interaction technique for mobile networking, *Proc. Mobile HCI 2003*, pp.104–115, Springer (2003).
- [6] Rekimoto, J., Miyaki, T. and Kohno, M.: Proxnet: Secure dynamic wireless connection by proximity sensing, *Pervasive, Ferscha, A. and Mattern, F. (Eds.), Vol.3001 of Lecture Notes in Computer Science*, pp.213–218, Springer (2004).
- [7] Swindells, C., Inkpen, K.M., Dill, J.C. and Tory, M.: That one there! pointing to establish device identity, *Symposium on User Interface Software and Technology (UIST '02)*, pp.151–160, ACM Press (2002).
- [8] Takemura, T. and Kamioka, E.: Vibration-based near field data communications, *IEICE Technical Report*, Vol.108, No.398, pp.7–12 (2009-01-15).
- [9] Yanagisawa, Y., Maekawa, T., Kishino, Y., Kamei K., Sakurai, Y. and Okadome, T.: Detection of contacting objects using low-frequency wave propagation, *IEICE Technical Report*, Vol.108, No.138, pp.81–86 (2008-07-10).



米澤 拓郎 (正会員)

2010年慶應義塾大学 Ph.D. (政策・メディア)。現在、慶應義塾大学大学院政策・メディア研究科特任助教。主に、ユビキタスコンピューティングシステム、分散処理システム、センサネットワーク等の研究に従事。ACM, 日本ソフトウェア科学会各会員。



中澤 仁 (正会員)

慶應義塾大学大学院政策・メディア研究科講師。博士 (政策・メディア)。ミドルウェア、システムソフトウェア、ユビキタスコンピューティング等の研究に従事。日本ソフトウェア科学会, ACM 各会員。



永田 智大 (正会員)

2004年慶應義塾大学大学院政策・メディア研究科博士課程修了。同年株式会社 NTT ドコモ入社, ユビキタスシステム・分散処理システムの研究に従事。博士 (政策・メディア)。電子情報通信学会会員。



徳田 英幸 (正会員)

1977年慶應義塾大学大学院工学研究科修士。1983年ウォータールー大学 Ph.D. (Computer Science)。同年カーネギーメロン大学計算機科学科勤務。1990年同学科研究准教授。現在、慶應義塾大学大学院政策・メディア研究科委員長。主に、ユビキタスコンピューティングシステム、オペレーティングシステム、分散システムに関する研究に従事。IEEE, ACM, 日本ソフトウェア科学会各会員。