

平成 30 年 5 月 27 日現在

機関番号：32619

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K06028

研究課題名(和文) 固体振動による耐慣性型近接通信ネットワーク

研究課題名(英文) Inertial-Tolerant Proximity Communication Networks using Solid Vibration

研究代表者

上岡 英史 (Eiji, Kamioka)

芝浦工業大学・工学部・教授

研究者番号：90311175

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では振動通信の高速化と安定化を実現するため、多段階振幅変調とパルス位置変調を組み合わせたハイブリッド振動通信方式を提案し、その性能を評価した。これにより、振動を発生させるモータや振動を検出する加速度センサの仕様に依存しない高性能な振動通信の実現が実証された。具体的には、多段階振幅変調を用いた場合は伝送速度6.3bpsかつ通信精度96.0%で、また、パルス変調を用いた場合は伝送速度3.2から5.5bpsかつ通信精度98.7%で振動通信が可能であることを明らかにした。

研究成果の概要(英文)：In this research, a hybrid vibration-based communication method, which combines a multi-step amplitude shift keying and a pulse position modulation, was proposed and evaluated, aiming at realizing the high-speed and stable communication. The evaluation results validated the high-performance vibration-based communication without dependence on specifications of motor for generating vibrations and acceleration sensor for detecting vibrations. More concretely, it was clarified that the data rate of 6.3bps and the communication accuracy of 96.0% with the multi-step amplitude shift keying, and the data rate of 3.2 to 5.5 bps and the communication accuracy of 98.7% with the pulse position modulation can be achieved.

研究分野：ひとに優しい情報通信システム

キーワード：振動通信 振幅変調 パルス位置変調

### 1. 研究開始当初の背景

本研究の着想に至った経緯として人体通信技術[1]が挙げられる。既存の人体通信方式は電流や電界などいわゆる「電氣的なもの」を利用し、人を媒体としたデータ通信を実現している。しかし、「電氣的なもの」を使用するがゆえ、ユーザは通信していることを認知できず、例えば、人体通信を用いて他人との握手で名刺情報を交換している間にそのデータが第三者に盗まれてしまうというような危険性がある。これに対して振動を用いた人体通信が実現すれば、ユーザは通信中であることをその振動から認知でき、また、人体に限らず人間が着用する衣服、眼鏡、アクセサリなどを伝送媒体とすることが可能となり、新たなアプリケーション創出の可能性が高い。さらに、振動を用いた通信は、机や壁など身の回りの固体を用いた通信にも発展可能である。

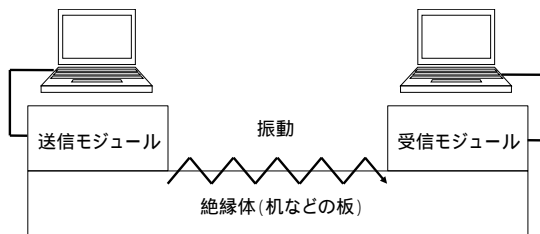


図1 振動を用いた近接通信方式

図1に示すように、振動を用いた通信では送信部にモータなどの振動子が、そして、受信部に加速度センサなどの振動検出センサが必要である。例えば、モータの ON/OFF をデジタルデータの「1」「0」に対応させる変調を行った場合、慣性によってモータは電源 OFF 時に瞬時に回転を停止できない(図2)。

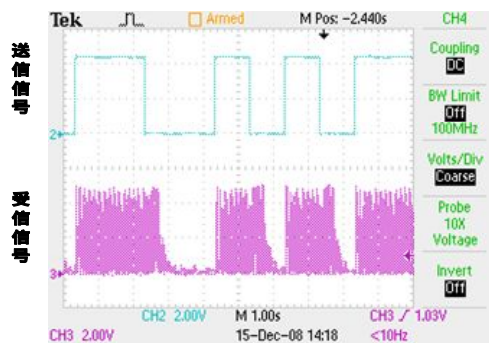


図2 モータの慣性による制動遅延

これにより、固体中の振動減衰の時定数が大きくなり、信号の高速伝搬が困難である[2]。さらに、受信部において検出された振動振幅に閾値を設定してデータを復調する場合、通信距離による減衰効果によってデータ誤り率が增大するため、高速化だけでなく長距離化の達成も難しい。このような背景から、振動通信の高速化と安定化を実現するには耐慣性を考慮し、振動の減衰に強い変復調方式の考案が必要である。

### 2. 研究の目的

本研究では、スマートフォンやタブレットコンピュータなどのスマートデバイスを用い、日常的に高速かつ安定した振動通信を実現することを目的とする。

### 3. 研究の方法

本研究では、振動通信の高速化と安定化の両方を実現するため、多段階振幅変調とパルス位置変調とを組み合わせたハイブリッド振動通信方式の提案を行う。具体的には、高速化を実現するために何段階まで振動による振幅変調が可能であるかを明らかにし、また、安定化を実現するためにパルス位置変調のパルス間隔をどの程度まで小さくできるかを確認する。

#### (1) 多段階振幅変調方式

これまで提案されてきた振動通信で用いられている変調方式は、振動が「ある」か「ない」かの2パターンをデジタル信号の ON/OFF に割り当てる、いわゆる1ビット振幅変調方式である。本研究では、振動通信の高速化を行うため、多段階の振幅変調方式を振動通信に適用する。しかしながら、振動通信においては送信信号に相当する振動とそれ以外の信号を区別するための機構が必要である。そこで本研究では、疑似クロックを用いた多段階振幅変調方式を提案する。

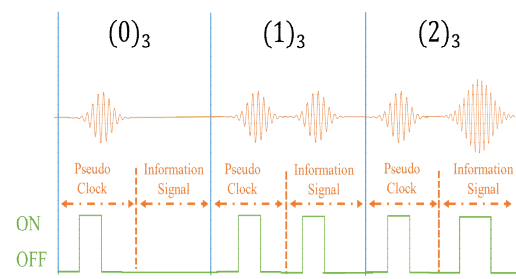


図3 疑似クロックを付加した振幅変調

図3は疑似クロックを用いた多段階振幅変調方式を表す。ここでは振動を振幅なし(0)<sub>3</sub>、小さい振幅(1)<sub>3</sub>、そして、大きい振幅(2)<sub>3</sub>の3段階に変調し、3進数として表現している。また、疑似クロックには小さい振幅と同じ振動信号を用いている。異なる振動振幅を生成するためには、振動モータの駆動時間を変化させればよい。すなわち、駆動時間が短ければ小さい振動振幅が、長ければ大きい振動振幅が生成される。ただし、駆動時間が短すぎると振幅が生成されず、また、ある程度長い場合はそれ以上大きな振幅が生成されない。したがって、限られた駆動時間の範囲でどれだけ識別可能な複数の振動振幅が生成できるかによって、高速化の上限が決定されることになる。

#### (2) パルス位置変調方式

多段階振幅変調方式を用いて安定した通

信を行うためには、十分大きな振動振幅が生成されなければならない。しかしながら、生成される振動振幅は使用するスマートデバイスによって異なり、必ずしもすべてのデバイスに多段階振幅変調を適用できるわけではない。すなわち、大きな振動振幅の生成が不可能なスマートデバイスを用いる場合は、通信速度を犠牲にしてでも安定した通信が行える手法が必要である。そこで、このようなスマートデバイスに対しては、パルス位置変調方式を振動通信に適用する。パルス位置変調とは、信号間隔に情報を載せる変調方式であり、信号と信号の間の時間を変化させることにより、異なる信号値を表現する。

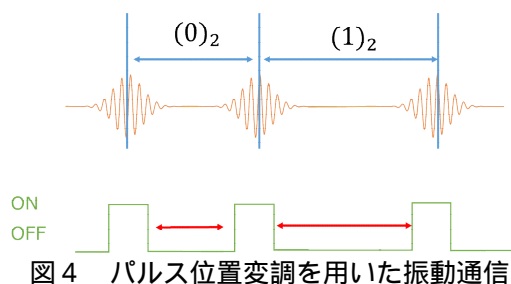


図4 パルス位置変調を用いた振動通信

図4はパルス位置変調を用いた振動通信方式を表す。ここでは振動信号の間隔が短い場合(1)<sub>2</sub>と長い場合(1)<sub>2</sub>の2パターンに変調し、2進数として表現している。振動信号の間隔をさらに長くすることにより、いくらかでも異なる信号を生成することができる。しかし、それでは高速化ができなくなるため、ここでは2パターンの変調のみを議論する。

#### 4. 研究成果

多段階振幅変調を実現するためには最適な振動モータの駆動時間と最適な信号間隔時間を明らかにする必要がある。そこで、これら2つのパラメータを変化させ、どの組み合わせが最適であるかを実験によって確認した。

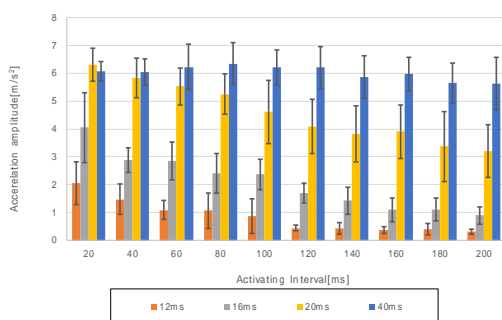


図5 モータ駆動時間と信号間隔時間を変化させた場合に生成される振動振幅

図5の横軸は信号間隔時間を、縦軸は生成された振動振幅を加速度値として示す。ヒストグラムの色は異なるモータの駆動時間を示す。この結果から、モータの駆動時間は

16msと40msを用い、3段階の振幅変調を行うのが適切であることがわかる。

生成される振動振幅はスマートデバイスの種類に依存することは先に述べた通りである。したがって、本提案の有効性を議論するためには複数のデバイスを用いた振動通信の性能評価が必要である。そこで、スマートフォンとして Nexus 6 (Motorola 製)と AQUOS ZETA (SHARP 製)を、タブレットコンピュータとして Nexus 9 (HTC 製)と Media Pad M3 (HUAWEI 製)を用意し、それぞれのデバイスによって生成される振動振幅を測定した。振動振幅の測定には、受信デバイスとして Nexus 6 を用い、その加速度センサで検出される加速度値 ( $m/s^2$ ) を指標とした。

表1 モータ駆動時間に対する振動振幅

	Nexus 6	AQUOS Zeta	Nexus 9	Media Pad M3
16ms	0.324	1.573	0.046	0.058
40ms	1.422	1.624	0.051	0.220

表1からわかるように、タブレットコンピュータ (Nexus9 と Media Pad M3) を用いた場合、モータによって生成される振動が小さく振動振幅がほとんど検出されなかった。また、スマートフォン AQUOS Zeta を用いた場合、モータの駆動時間が 16ms の場合と 40ms の場合とで生成された振動振幅に大きな差がなかった。したがって、多段階振幅変調方式を用いて振動通信を行う場合、用意した4種類のスマートデバイスのうち、スマートフォン Nexus 6 のみが送信デバイスとして使用可能であることがわかった。そこで、Nexus 6 を送信デバイスとし、AQUOS Zeta を受信デバイスとして振動通信を行ったところ、伝送速度 6.3bps で 95.7%の精度が得られた。しかしながら、Nexus 9 と Media Pad M3 を受信デバイスとして振動通信を行った場合は、それぞれ 87.4%および 80.0%以下という精度しか得られなかった。

一方、パルス位置変調方式は振動振幅が小さくても安定した振動通信が行えるので、どこまで振動信号の間隔を短くできるかが高速化の鍵となる。予備実験の結果より、隣り合う振動信号を識別するためには少なくとも振動信号の間隔は 150ms 以上でなければならないことがわかっていった。また、2パターンの信号を識別するためにはもう一方の振動信号の間隔を 270ms とすればよいことが、統計的に得られた。したがって、これらの振動信号の間隔を用いてパルス位置変調を用いた振動通信を行い、その精度を測定した。送信デバイスには、モータ駆動時間が 40ms の時に十分な振動振幅が得られる Nexus 6 と AQUOS Zeta を用い、受信デバイスには用意したそれぞれのスマートデバイスを用いた。ただし、AQUOS Zeta は2台用意することができなかったため、これを送受信デバイスとした測定は除外した。

表2はそれぞれのスマートデバイスを送受信端末として振動通信を行った時の精度をまとめたものである。モータ駆動時間はそれぞれ40msである。

表2 パルス位置変調方式の通信精度

		受信デバイス			
		Nexus 6	AQUOS Zeta	Nexus 9	Media Pad M3
送信デバイス	Nexus 6	100.0%	99.9%	96.5%	98.7%
	AQUOS Zeta	99.9%	/	92.6%	94.2%

評価検証実験により、多段階振幅変調においては伝送速度6.3bpsかつ95.7%の精度で、また、パルス位置変調においては伝送速度3.2~5.2bpsかつ平均98.7%の精度で振動通信が可能であった。パルス位置変調においては高精度な通信を達成できたが、伝送速度を著しく減少させることがなかったという点は大きな成果である。

結論として、大きな振動を生成することができるスマートデバイスでは多段階振幅変調を用い、若干通信の精度は劣化するが高速通信を実現し、大きな振動を生成することができないスマートデバイスではパルス位置変調を用い、若干通信速度は落ちるが高精度な通信が実現可能であることが明らかになった。

また、本研究の成果は、国際ジャーナル1件、国際会議3件、国内学会技術研究報告2件、国内学会大会発表1件として発表されている。

#### < 引用文献 >

- [1] Mitsuru Shinagawa, Masaaki Fukumoto, Katsuyuki Ochiai, and Hakaru Kyuragi, "A Near-Field-Sensing Transceiver for Intrabody Communication Based on the Electrooptic Effect," IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, Vol.53, No.6, 2004, pp.1533-1538.
- [2] Takuro Yonezawa, Jin Nakazawa and Hideyuki Tokuda, "Vinteraction: Vibration-based information transfer for smart devices," Proceedings of the 8th International Conference on Mobile Computing and Ubiquitous Networking (ICMU2015), 2015, pp.155-160.

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

#### [雑誌論文](計1件)

Keishi Usa and Eiji Kamioka, "Stable Vibration-Based Communication Scheme

using Multi-step ASK and PPM Techniques," Inter 1  
DOI: 10.4236/jcc.2018.61028

#### [学会発表](計6件)

宇佐啓史, 上岡英史, "安定した振動通信実現のための信号生成手法", 電子情報通信学会技術研究報告, Vol.117, No.390, MoNA2017-50, January 18, 2018, pp.51-56.

Keishi Usa and Eiji Kamioka, "Stable Multistep-Vibration based Communication with Pseudo Clock," Proceedings of the 11th South East Asia Technical University Consortium Symposium (SEATUC2017), Ho Chi Minh City University of Technology, Ho Chi Minh, Vietnam, March 14, 2017, pp.1-5.

宇佐啓史, 上岡英史, "低 BER 振動通信のための信号生成手法", 電子情報通信学会技術研究報告, Vol.116, No.305, MoNA2016-27, November 18, 2016, pp.25-30.

宇佐啓史, 上岡英史, "多段階デジタル振幅変調による振動通信の高速化", 電子情報通信学会ソサイエティ大会講演論文集, B-15-1, September 22, 2016, pp.391-391.

Keishi Usa and Eiji Kamioka, "VIBRATION-BASED DATA COMMUNICATION BETWEEN SMARTPHONES", Proceedings of the 10th South East Asia Technical University Consortium Symposium (SEATUC2016), Shibaura Institute of Technology, Tokyo, Japan, February 23, 2016, CD-ROM.

宇佐啓史, 上岡英史, "振動を用いたモバイル端末間通信の実現", 電子情報通信学会技術研究報告, Vol.115, No.436, MoNA2015-52, January 29, 2016, pp.67-72.

#### 6. 研究組織

##### (1)研究代表者

上岡 英史 (KAMIOKA, Eiji)  
芝浦工業大学・工学部・通信工学科  
研究者番号: 9 0 3 1 1 1 7 5

##### (2)研究協力者

宇佐 啓史 (USA, Keishi)  
芝浦工業大学・大学院理工学研究科