

すれ違い通信を利用した情報共有のための 超音波通信精度向上に関する検討

中村一輝^{†1} 中村嘉隆^{†2} 稲村浩^{†2} 高橋修^{†2}

概要：近年，スマートフォンの普及等により，端末間での情報共有の需要が増加してきている。また，スマートフォンで用いられる近距離通信技術として，マイクとスピーカのみで通信可能な超音波通信が考案されており，クーポン配布サービスなどに応用されている。しかし，超音波通信は信号長が長くなるほどエラー率が高くなるという問題がある。そこで，本研究では端末のすれ違い通信に超音波通信を用いる場合を想定し，通信のエラー率を抑えた伝送手法の検討及び一般的な超音波の定義である 20kHz の周波数を用いた基礎実験を行った。その結果，高い周波数になるほど信号のエラー率が高くなる結果が得られた。そのため，成人には聞こえにくい周波数である 18kHz 以上を用いた超音波通信の実験を行い，信号のエラー率を評価する。

キーワード：近距離通信，端末間通信，スマートフォン，超音波通信

1. はじめに

近年，スマートフォンの普及および高性能化に伴い，スマートフォンを用いた情報のセンシング技術の需要が高まっている[1][2]。スマートフォンは，多様なセンサを内蔵しているため，自転車などの小型の走行体に取り付けた状態や服のポケットの中に入れた状態で様々なセンサデータを収集することができる。また，センサデータを，複数の端末によって収集することで周りの環境を認識する参加型センシングに関する研究が進められている[3][4]。複数の移動端末がそれぞれの場所の環境の情報を収集して移動端末間が通信を行うことによって効率の良い情報収集を行っている。一方，センサデータをサーバに蓄積し，センサデータを利用する端末が定期的にサーバから情報を取得する従来の手法は，バッテリー容量に限りがある移動端末では，電力消費が大きくなるため現実的ではない。そのため，センシングに参加している端末同士がすれ違った時にのみ情報を収集することで端末の省電力化をする方法が考えられる。すれ違いを検知する方法としては，端末に内蔵されている Bluetooth 通信機能を用いて周囲の端末を探す方法が，スマートフォンや携帯ゲーム機といった端末で一般的に用いられている。しかし，Bluetooth 通信には指向性がないため，同じ方向を進行する端末など，正面からすれ違う端末以外であっても信号を受け取ってしまう。正面からすれ違う端末以外が所持する情報には，進行方向先の情報をほとんど持っていないため，周囲に多数の端末が存在するような環境では，目的のすれ違い通信以外の通信が多く発生し，収集効率に比べ，電力消費が大きくなるという問題がある。また，移動端末が少ないエリアでは，Bluetooth 通信が可能な範囲に存在する移動端末も少ない。そのため，近くに他

の端末が存在しない場合，定期的に他の端末を探すために通信機能を起動してビーコンを送ってしまい，無駄な電力を消費してしまう問題がある[5]。

そこで，本研究では，指向性があり，移動端末に内蔵されているスピーカとマイクのみで通信が可能な超音波通信を用いたすれ違い通信手法を想定し，超音波通信の通信精度を向上させる手法について検討する。

以降，2 章では本研究に関連する研究について述べ，3 章で提案する超音波通信を用いたすれ違い通信手法について述べる。4 章で予備実験と提案した超音波通信の評価実験について示し，5 章で実験結果及び考察を述べる。最後に 6 章でまとめを行う。

2. 関連研究

本章では，近距離無線などの手段を用いたスマートフォンなどのデバイス間における情報共有の手法に関する研究について述べる。

2.1 Bluetooth を用いた情報収集手法

高松ら[6]は，動画情報のような大容量の情報を複数の端末が協調ダウンロードを行うことで携帯電話網の負担軽減と近距離通信にかかる端末の消費電力を抑える手法を提案している。この手法では，各端末が情報を携帯電話網による通信を用いて部分的に取得し，近距離通信によるすれ違い通信によって取得した情報を共有することで，大容量データのダウンロード時における携帯電話網の利用を最小限に抑えることができる。また，各端末が，自身の要求しているデータを持っている端末とどの地点ですれ違うかを計算するために，交差点を通過するごとに，サーバに登録した自身の ID，出発した交差点，出発した時刻，次に向かう交差点，所有情報，要求情報等の情報を更新するための通信を行う必要がある。一方，Bluetooth は指向性がないため，すれ違った端末とのみ通信を行いたい場合，周囲の端末か

^{†1} 公立はこだて未来大学大学院 システム情報科学研究科
Graduate School of Systems Information Science, Future University Hakodate

^{†2} 公立はこだて未来大学 システム情報科学部
School of Systems Information Science, Future University Hakodate

らすれ違う端末を探すための通信が必要になる。

2.2 GPS を用いた情報収集手法

林ら[7]は、すれ違い通信を行うためのすれ違い検知技術に着目し、Bluetooth によるすれ違い判断だけでなく、各端末が自身の GPS 情報をサーバに送信することによって各端末のすれ違いの判断を行うすれ違い検知手法を提案している。この手法では、定期的に更新する必要のない情報を端末間で共有する際には、GPS 情報を送信する際の定期的なサーバ通信が無駄な通信となってしまう問題がある。

2.3 超音波センサを用いた省電力情報収集手法

Nakano ら[5]は、密度が疎であるような、センサ端末間でのアドホック通信が困難な環境を対象とした省電力のすれ違い通信手法を提案している。この手法では、データを収集するための移動中継端末が近くに存在しない場合に、センサ端末の通信機能による無駄な消費電力を抑えるため、移動中継端末の接近を超音波センサの距離情報によって検知している。しかし、近くに複数の移動中継端末がいる中ですれ違った移動中継端末とのみ通信を行う場合では、取得した超音波が自身の端末で出力した超音波の反射波なのか他の端末からの超音波であるのかが判別できないため、対象の移動中継端末を特定することができない問題がある。

2.4 本研究の位置付け

Bluetooth や GPS 情報を用いた情報収集手法では、すれ違った端末だけでなく、周囲の端末をすれ違い端末として検知してしまう。この問題に対し、Bluetooth を用いた周囲の端末検知は行わず、2.3 節で用いている超音波センサを用いてすれ違う端末の認識を行う手法を検討する。また、超音波センサを用いた情報収集手法では、それぞれの端末が移動端末である場合、取得した超音波が自身の端末で出力した超音波の反射波なのか他の端末からの超音波であるのかが判別できない。この問題に対し、2.1 節で用いられている Bluetooth による端末認識手法を超音波に適用することによって、取得した超音波が自身の端末から出力された超音波なのか他の端末から出力された超音波なのかを識別する。しかし、既存の超音波信号による通信技術では、すれ違う期間内に互いの端末を認識できるまでの通信精度には達していない。

3. 提案手法

本章では、すれ違い通信に用いる超音波通信処理の流れについて述べ、端末の ID 認識に用いる超音波通信の信号数短縮手法とノイズ低減手法について述べる。

3.1 超音波通信処理

本手法で使用する超音波通信処理の流れを図 1 に示す。まず、出力側の処理方法について説明する。出力側の処理では、自身の移動端末に割り当てられている ID を周波数に変換し、その周波数の音波をスピーカから超音波信号として出力する。受信側の処理では、マイクから周囲の音を取得する。その後、マイクが取得した音に対して高速フーリエ変換 (FFT : Fast Fourier Transform) を行うことで、取得した音の周波数解析を行う。太田ら[8]の研究では、スピーカから同じ音量の音声を出力しても、マイクによって異なる音量として取得されてしまうことが述べられている。そのため、振幅偏移変調 (ASK : Amplitude Shift Keying) 方式などの音量のしきい値を用いる方法は、端末ごとに最適な値を調べる必要がある。そこで、提案する超音波通信手法では、FFT によって得られた周波数によって、超音波信号を認識する周波数偏移変調 (FSK : Frequency Shift Keying) を用いる。

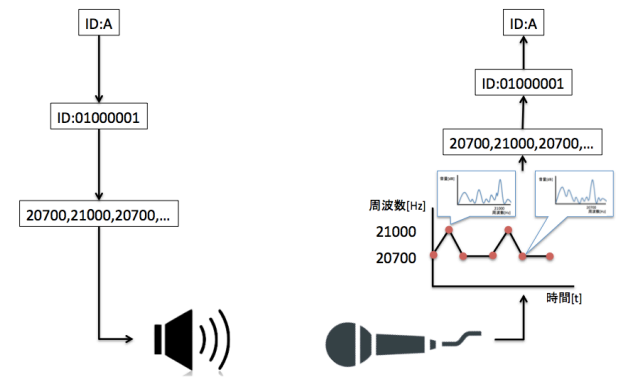


図 1 超音波通信処理の流れ

3.2 超音波信号数短縮手法

Sahil [9]らは、21kHz と 20.7kHz を 1 と 0 の信号として認識する FSK 変調方式を用いた超音波通信の精度実験で、パケット数が大きくなるほど通信成功回数が低下するという結果を得ている。そこで、提案手法では、超音波通信に用いる信号を短縮し、通信成功率の向上を試みる。信号数の短縮手法を図 2 に示す。0 と 1 の信号の組み合わせによる文字の変調方式では、1 つの文字を表現するために、ASCII コードでは 7 個、拡張 ASCII や JIS コードでは 8 個の信号が必要となるため、端末の ID を認識するための文字列が 1 文字増加すると、必要な信号が 7 個または 8 個増加し、結果的に通信成功率が低下する。そこで、それぞれの文字ごとに異なる周波数帯を割り当てることで、1 つの文字を 1 つの信号で表現し、信号長を短縮する。

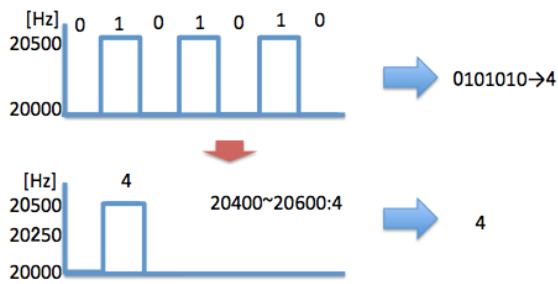


図 2 信号数の短縮手法

3.3 送信波の残響音によるノイズ低減手法

ノイズの低減手法を図 3 に示す。ASK 変調方式を用いた超音波通信では、残響音のノイズの影響を受けやすく、10% から 25% のエラーレートが確認されている[10]。そのため、超音波通信時には、前に送信した信号が残響音として次に送信した信号に対してノイズとなってしまうことが考えられる。また、3.2 節で述べた短縮手法では、信号が 2 値だけでないため、信号の誤りの訂正が難しい。そこで、このノイズによる影響を受信時に低減させるために、文字の信号の間に文字を割り当てていない周波数帯を用いたセパレータの信号を挿入する。これによって、残響期間に有用の信号が送信されないようにする。

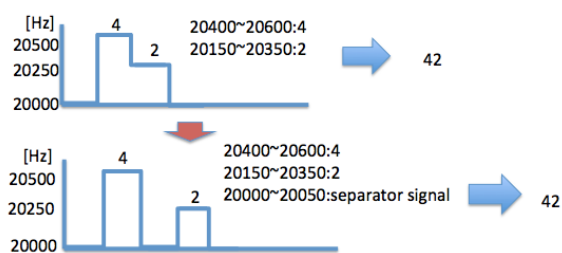


図 3 送信波によるノイズ低減手法

4. 評価実験

本章では、まず超音波通信に用いるFFTを用いた精度評価の基礎実験について述べる。次に、精度評価実験の結果に基づいた超音波通信のパラメータ設定について述べる。最後に、提案方式の有用性に関する評価実験について述べる。

4.1 FFT を用いた基礎精度評価実験

スマートフォンのマイクから入力されAD変換された音波信号に対し、FFTを用いて周波数解析を行うことで、通信に用いた音波の周波数が送信元と送信先を比べてどのくらい変化するか、精度を検証した。FFTを用いた精度実験では、20kHz から22.05kHz までの周波数の中から6つの周波数を選択して周波数の測定を行った。FFTに用いたサン

プリング数は4096であり、サンプリングレートは44100である。

結果を図 4 に示す。グラフの縦軸が周波数、横軸が取得したデータ番号を表している。これらの結果から、周波数が高くなるほど送信波を取得することが難しくなる傾向が見られた。また、各周波数のFFT誤差範囲を表 1 に示す。この結果から、FFTによる周波数解析により、最大6.9Hzから-6.4Hzの誤差が生じていることがわかった。そのため、13.3Hz以上の周波数帯域幅を確保すれば、それぞれの信号を識別することができると思われる。

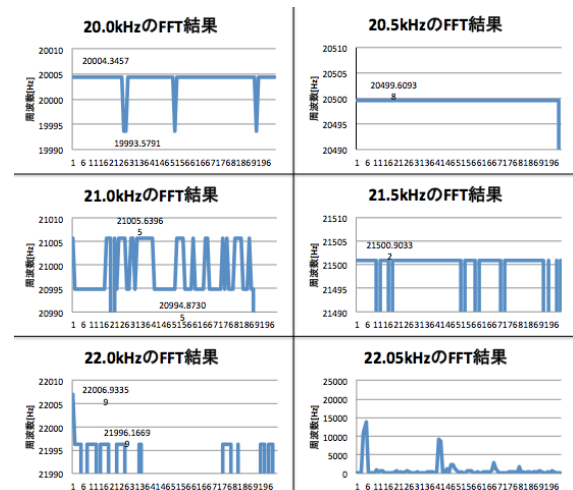


図 4 FFT の精度結果

表 1 各周波数での FFT 誤差

周波数	FFT の誤差範囲
20kHz	4.3Hz ~ -6.4Hz
20.5kHz	0Hz ~ -0.3Hz
21kHz	5.6Hz ~ -5.1Hz
21.5kHz	0.9Hz ~ 0Hz
22kHz	6.9Hz ~ -3.8Hz
22.05kHz	-

4.2 超音波通信のパラメータ設定

提案した超音波通信手法を実装し、精度の評価を行った。超音波信号の送信端末として MacBook Air (型番: MD711J/A, CPU: 1.4 GHz Intel Core i5, メモリ: 8GB) を用いた。また、スピーカは、ELECOM 社の MS-105UBK を用いた。超音波信号の受信端末には、Nexus 7 (2013) を用いた。4.1 節の実験結果より、6.9Hz から-6.4Hz の誤差が生じることがわかっているため、超音波通信の一つの信号に割り当てる帯域を、基準値から 10Hz から-10Hz までの 20Hz とした。また、0.1 秒毎に一つの信号を送信した。割り当てる周波数を表 2 に示す。小さい周波数からセパレータ信号、エンド文字、スタート文字、小文字のアルファベ

ット, 大文字のアルファベット, 数字, URL で用いられる特殊文字の順番で計 87 種類の文字・信号を設定した.

表 2 文字符号に割り当てた周波数

文字・信号の種類	割り当てる周波数(Hz)
セパレータ信号	18000~18020
エンド文字	18020~18040
スタート文字	18040~18060
a	18060~18080
⋮	⋮
z	18560~18580
A	18580~18600
⋮	⋮
Z	19080~19100
0	19100~19120
⋮	⋮
9	19280~19300
特殊文字	19300~19740

4.3 実験環境

提案手法の有効性を検証するため, 超音波通信の精度実験を行う. 本実験の環境パラメータを表 3 に示す. 本実験では, 会話などの環境音がある環境(平均 35dB の雑音環境)と環境音がない環境(平均 20dB の雑音環境)の 2 種類の環境下で実験を行った. 送信するデータとして, 5,8,12 文字のアルファベットの文字列と 20,50,100 文字程度の URL の計 6 種類の文字列を用いた. 実験回数は, 100 回行い, 超音波を出力するスピーカの音圧レベルを 50dB に設定した. また, 超音波信号を送信するスピーカと受信するマイクまでの距離を 1.5m と設定して実験を行った.

表 3 実験環境のパラメータ

文字数	5,8,12,20,50,100 文字
試行回数	100 回
実験環境	20, 35dB
スピーカの出力	50dB
受信距離	1.5m

4.3.1 評価実験

本実験では, 3.1 節で述べた FSK 変調方式と提案手法, セパレータなしの手法の 3 つの手法で比較し, 評価を行う. 1 文字あたりの信号数は, FSK 変調方式で 8, 提案手法で 2, セパレータなしの手法で 1 となる. 本実験の評価項目として, 提案手法の通信精度を知るために, 文字の未取得率を算出する. また, 提案手法で述べたセパレータ信号の有効性を知るために文字の誤り率を算出する. 文字の未取得率

は, 文字が正確に取得できなかった割合であり, 式(1)の計算式で算出する.

$$\text{文字の未取得率} = \frac{\text{文字の欠損数} + \text{文字の誤り数}}{\text{文字の総数}} \quad (1)$$

また, 文字の誤り率は, 間違った文字の信号を取得した割合であり, 式(2)の計算式で算出する.

$$\text{文字の誤り率} = \frac{\text{文字の誤り数}}{\text{文字の総数}} \quad (2)$$

そして, 文字の取得率は, 文字が正確に取得できた割合であり, 式(3)で算出する.

$$\text{文字の取得率} = \frac{\text{正しく取得した文字数}}{\text{文字の総数}} \quad (3)$$

5. 実験結果・考察

本章では, 実験結果および考察について述べる.

5.1 各試行での文字の未取得率

20dB の環境での実験結果を図 5, 35dB の環境での実験結果を図 6 に示す. グラフの縦軸が文字の未取得率, 横軸が送信文字数を表している. また, それぞれの送信文字に対する未取得率の値は 100 回行った平均値となっている. これらの結果から, 文字数が多くなるほど文字の未取得率が上がる傾向がみられた. 20dB の環境での従来手法の文字の未取得率の平均は, 59.3%となり, 提案手法の文字の未取得率の平均は, 26.6%となった. このことから, 提案手法の文字の未取得率は, 従来手法より 32.7 ポイント改善できていることがわかった. また, 35dB の環境での従来手法の文字の未取得率の平均は 69.8%となり, 提案手法の文字の未取得率の平均は, 38.7%となった. このことから, 提案手法の未取得率は, 従来手法より 31.1 ポイント改善できていることがわかった.

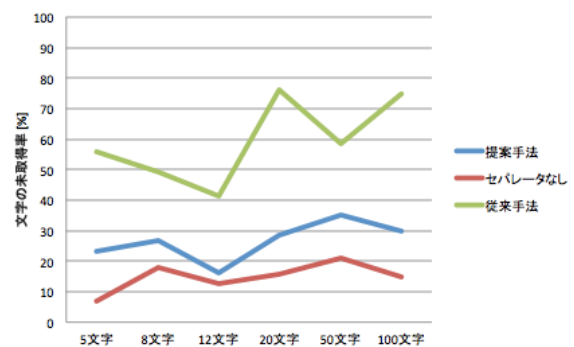


図 5 20dB の環境での文字の未取得率

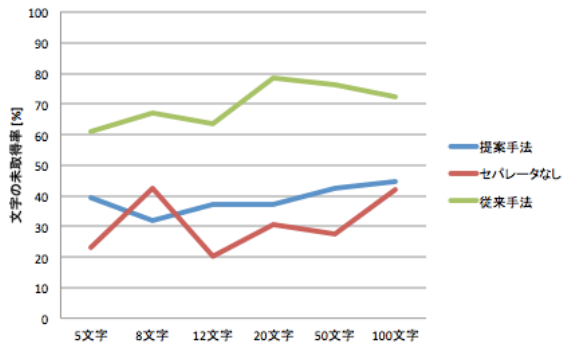


図 6 35dB の環境での文字の未取得率

5.2 文字の誤り率

20dBの環境での文字の誤り率を図 7, 35dBの環境での文字の誤り率を図 8に示す. 20dBの環境でのセパレータを入れない手法の文字の誤り率の平均は, 11.2%となり, 提案手法の文字の未取得率の平均は, 0.1%となった. このことから, 提案手法の文字の誤り率は, セパレータを入れない手法より11.1ポイント改善できていることがわかった. また, 35dBの環境でのセパレータを入れない手法の文字の誤り率の平均は, 9.6%となり, 提案手法の文字の未取得率の平均は, 0.4%となった. このことから, 提案手法の文字の誤り率は, セパレータを入れない手法より9.2ポイント改善できていることがわかった.

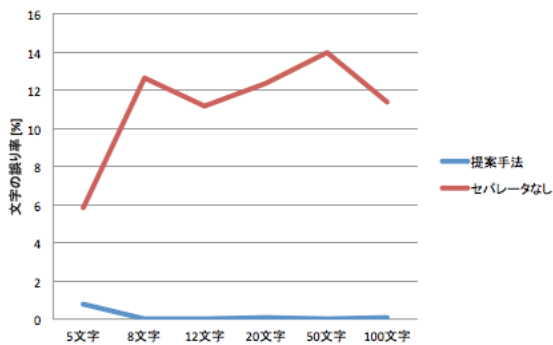


図 7 20dB の環境での文字の誤り率

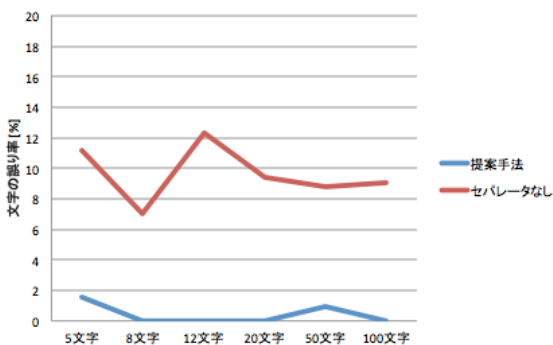


図 8 35dB の環境での文字の誤り率

5.3 文字毎の取得率

文字毎の取得率を図 9に示す. グラフの縦軸が文字の取得率, 横軸が割り当てている文字の種類を表している. 割り当てている周波数が高い文字ほど取得率が減少する傾向の結果が得られた. また, 文字の取得率は綺麗な直線ではなく, 増加と減少を繰り返しながら徐々に減少していくという結果が得られた.

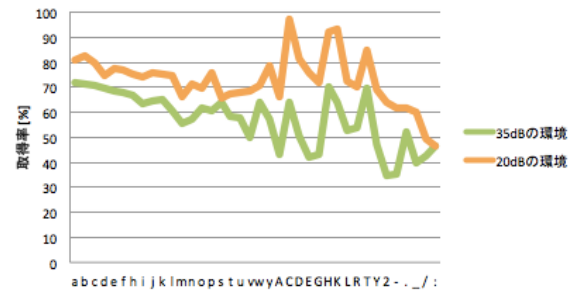


図 9 文字の取得率

5.4 考察

文字の未取得率の結果から, 文字数が少ないほど雑音に対する影響が小さくなり未取得率が減少したと考えられる. また, セパレータ信号なしの手法は送信波の残響音を取得してしまい, 信号として処理をしてしまうことによる文字の誤りによって, 提案手法よりも文字の誤り率が増加したと考えられる. 一方で, 提案手法では, 送信した文字 (送信側の文字:i)に対して受信側では送信した文字の1つ前, または1つ後の文字 (送信側:hまたはj)を取得していたため, 文字の周波数帯域の不足による誤りであると考えられる. 文字毎の取得率については, 割り当てている周波数が高いほど取得率が低下する傾向が得られた. これは, 周波数が高くなるほど指向性が鋭くなるという特性によって, 取得できる範囲が狭くなったことが関係していると考えられる. また, この結果では, 線形に減少せずに増加と減少を繰り返しながら徐々に減少している. これは, マイクの周波数特性によって, 取得しやすい周波数と取得しにくい周波数があることが関係していると考えられる.

6. まとめ

本稿では, 超音波通信を用いたすれ違い通信手法の検討を目的に, 信号数が多くなるほど文字の未取得率が高くなり, 使用することが困難である課題に対して, 文字の未取得率を下げるための手法を検討した. 課題に対して, 符号化する信号数による誤りと送信波の残響音による誤りに対する2つの手法を提案し, 実験によって有効性を検討した. 実験結果から, 提案手法は, 文字の未取得率に関して従来手法を下回る結果が得られた. また, セパレータ信号を入

れることによって残響音の影響を減少させることができるという結果が得られた。

しかし、文字の未取得率が高く、実用化できるまでの値には至っていない。そのため、今後は文字の未取得率をより下げするために、セパレータ信号を用いずに残響音による影響を抑える方法や信号の誤り検知および訂正方法を検討する必要がある。また、周波数の帯域が不足したことによる文字の誤りが発生したため、今後は周波数利用効率の良い手法を考え、周波数の帯域を広げる必要がある。文字ごとの取得率の結果では、割り当てた周波数が高いほど取得率が減少する傾向が見られた。そのため、周波数の小さい帯域のみで信号の割り当てができるような手法を検討していく必要がある。

参考文献

- [1] 柏木幸俊, 荒川豊, 安本慶一, YAMATO: 超音波センサガジェット付スマートフォンを活用した屋内フロアマップ作成支援システムの実装と評価. マルチメディア、分散協調とモバイルシンポジウム 2014 論文集, Vol.2014, pp.1359-1367 (2014).
- [2] 青木俊介, 劉広大, 清水和人, 岩井将行, 瀬崎薫, ユーザ参加型環境センシングにおける効率的なシステム運用モデルの構築とユーザ分析. マルチメディア、分散協調とモバイルシンポジウム 2013 論文集, Vol.2013, pp.2008-2013 (2013).
- [3] 斉藤祐樹, 菅生啓示, 間博人, テーブウィロージャナボンニワット, 戸辺義人, sBike: 参加型センシングを志向したモバイルセンシングによる自転車走行状態収集・共有機構. 情報処理学会論文誌, Vol.53, No.2, pp.770-782 (2012).
- [4] 田端佑介, 河内雄太, 浅田翔平, 山本光, 金田重郎, 自転車ユーザーに向けた路上障害度情報のリアルタイム提供システム. 情報処理学会研究報告, Vol.2013-MBL-67, No.14, pp.1-9 (2013).
- [5] Nakano, T., Arakawa, Y., Tagashira, S., Fukuda, A. and Dhaou, R., Proposal and Implementation of Encounter Data Transmission with Ultrasonic Sensor-Based Active Wakeup Mechanism for Energy Efficient Sparse Wireless Sensor Network. Proc. of the 27th International Conference on Advanced Information Networking and Applications Workshops (WAINA), pp.393-400 (2013).
- [6] 高松悠, 孫為華, 山内由紀子, 安本慶一, 伊藤実, Bluetooth によるすれ違い通信を活用した複数携帯電話端末による省電力協調動画ダウンロード手法. マルチメディア通信と分散処理ワークショップ 2010 論文集, Vol.2010, No.11, pp.123-128 (2010).
- [7] 林有梨沙, 徳永清輝, 裕本真佑, 佐伯幸郎, 中村匡秀, すれちがいシステムのためのアプリケーションフレームワークの一案. 電子情報通信学会技術報告, Vol.114, No.439, pp.257-263 (2015).
- [8] 太田正哉, 鳥越董平, 川崎耀, 山下勝己, 基地局定時のスマートフォンを用いた近距離システムに関する基礎的検討. 電気学会論文誌 C, Vol.135, No.11, pp.1345-1346 (2015).
- [9] Shall, L., Nishant, P. and Nikhil, K., High Frequency Sound Based Device Communication. International Journal of Advanced Research in Computer and Communication Engineering, Vol.4, No.3, pp.367-370 (2015).
- [10] 鈴木真之介, 小川拓也, 生体を伝送路とした超音波通信の通信方式に関する研究. 小山工業高等専門学校研究紀要, Vol.46, pp. 97-102 (2013).