Vol.2016-MBL-78 No.21
Vol.2016-UBI-49 No.21
2016/3/1

すれ違い通信を利用した情報共有のための超音波通信手法の基礎検討

中村一輝[†1]　中村嘉隆[†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を検討する．

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している．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一般的である．しかし，Bluetooth通信には指向性がないため，通信可能な範囲に端末を発見するたびに，通信対象であるすれ違う移動端末であるかどうかを確認するための通信を行う必要がある．そのため，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，電力消費が激し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が少ない．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].

†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

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，情報収集手法について検討してい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通信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通信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通信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

尾崎ら[7]は, サーバが各端末から GPS 情報を取得することによって各端末の位置を把握し，周囲の端末数によってデータ通信頻度を変更させる参加型センシング手法を提案

ⓒ2016 Information Processing Society of Japan

Vol.2016-MBL-78 No.21
Vol.2016-UBI-49 No.21
2016/3/1

している．この手法では，サーバによって各端末が取得した情報を収集するための通信頻度を動的に変化させることで，端末の消費する電力を少なくしている．しかし，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，更新されていないにもかかわらずサーバと通信してしまい，無駄な通信が発生してしまう問題がある．

2.3 超音波センサを用いた省電力の情報収集手法

Nakano ら[5]は，密度が疎であるようなセンサ端末間でアドホック通信が困難である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．この研究では，移動端末が近くに存在しない時に，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，近くに複数の移動端末がいる中ですれ違った移動端末とのみ通信を行う場合では，対象の移動端末を特定することができない．そのため，それぞれの端末が移動端末であり，超音波センサによって他の端末の接近を検知する場合，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問題がある．

2.4 本研究の位置付け

Bluetooth を用いた情報収集手法では，すれ違った端末だけでなく，周囲の端末を同時に検知してしまう．この問題に対し，Bluetooth を用いた周囲の端末検知は行わず，指向性のある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． GPS を用いた情報収集手法では，更新する情報がない場合，サーバとの通信が行われ，無駄な電力を消費する問題がある．この問題に対し，サーバとの通信は，新しい検知情報を取得した時だけ行う手法を検討する．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，超音波に信号を付加することによって，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できる手法を検討する．

3. 提案手法

本章では,すれ違い通信手法の想定環境について述べる．次に，超音波通信処理の流れについて述べる．そして，端末の ID 認識に用いる超音波通信方式とノイズ低減手法について述べる．

3.1 想定環境

想定するすれ違い通信手法を図 1 に示す．移動端末同士がすれ違う際に，それぞれ発している超音波信号を取得することで，互いに移動端末を認識する．超音波信号を用いたすれ違い通信では，通信が可能である時間に限りがあるため，一定数の信号数しか送ることができないという問題がある．そのため，超音波信号で移動端末が持つ情報を送る際には，サーバを用いることで，各端末がすれ違いによる通信が可能な時間に関係なく情報を通信することができる方法が必要だと考えられる．このことから，それぞれの移動端末は，超音波信号によって移動端末の情報を取得するのではなく，端末 ID を取得する．その後，取得した端末 ID を用いて，サーバにすれ違った移動端末が所持している情報を要求する．サーバは，移動端末が要求した移動端末の ID を元に，格納している情報を取り出し，要求元の移動端末に送信する．

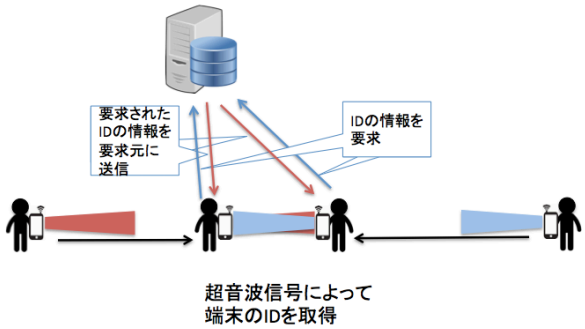

図 1 想定するすれ違い通信手法

3.2 超音波通信処理

本研究で使用する超音波通信処理の流れを図 2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，スピーカから変換した周波数の音波を超音波信号として出力する．次に，受信側の処理方法について説明する．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，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，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，本研究の超音波通信手法では，FFTによって求められた周波数と音量の中から一番音量の大きい周波数を確認し，もし割り当てられている超音波信号帯であれば，超音波信号として取得する．

ⓒ2016 Information Processing Society of Japan

Vol.2016-MBL-78 No.21
Vol.2016-UBI-49 No.21
2016/3/1

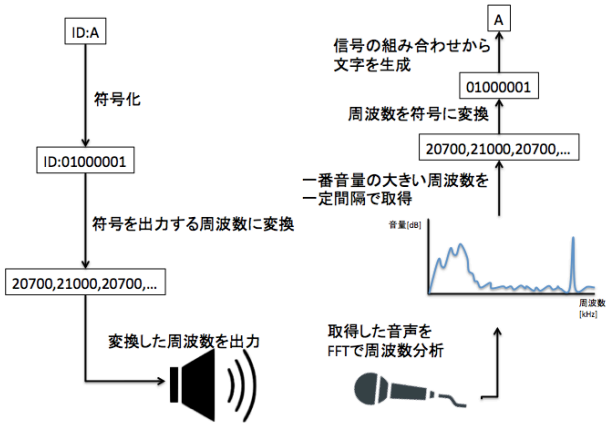

図 2　超音波通信処理の流れ

3.3 符号化する信号長の短縮手法

Sahil [9]らの研究では，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下がっている結果を述べている．そこで，本研究では，超音波通信の信号を短縮し，通信成功率の向上を試みる．信号長の短縮手法を図 3 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，通信文字列を短縮する．

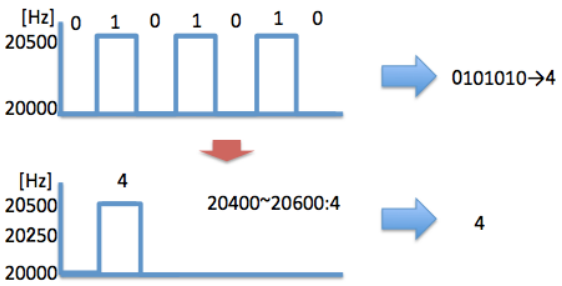

図 3　信号長の短縮手法

3.4 送信波のマルチパスによるノイズ低減手法

ノイズの低減手法を図 4 に示す．超音波通信時では，送信波が残響音として再びマイクに取得されてしまい信号として処理されてしまうことが考えられる．そこで，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．そうすることによって，残響音の信号を通信の信号として取得することを防止し，残響音による文字の誤りを低減させる．

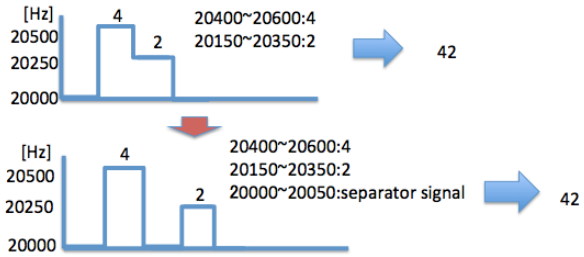

図 4　送信波によるノイズ低減手法

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 を用いた精度評価実験

取得した音波に対し，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どのように変化するか，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 5 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．20kHz は，4.3Hz から-6.4Hz の誤差が発生した．また，20.5kHz では，0Hz から-0.3Hz の誤差が発生した．21kH では，5.6Hz から-5.1Hz の誤差が発生し，21.5kHz は，0.9Hz から 0Hz の誤差が発生した．22kHz は，音波を取得することができ， 6.9Hz から-3.8Hz の誤差が生じた．しかし， 22.05kHz では，音波を取得することができなかった．これらの結果から，FFT による周波数解析により，最大 6.9Hz から-6.4Hz の誤差が生じることがわかった．そのため，13.3Hz 以上の周波数帯域幅であれば，それぞれの信号を識別することができると考えられる．また，周波数が大き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．

ⓒ2016 Information Processing Society of Japan

Vol.2016-MBL-78 No.21
Vol.2016-UBI-49 No.21
2016/3/1

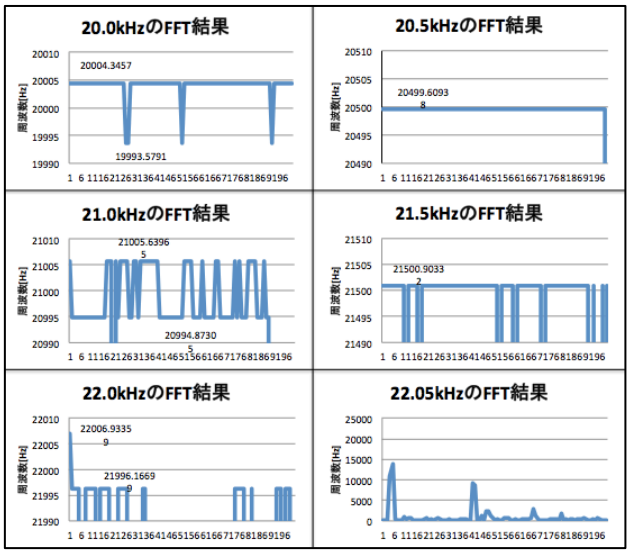

図 5　FFT の精度結果

4.2 超音波通信のパラメータ設定

超音波通信を実装する際に，超音波信号の送信端末として MacBook Air 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たため，実装する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，一つの信号に対して通信を行う期間を 0.1 秒毎とした．割り当てる周波数を表 1 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 1　超音波通信で割り当てた周波数

文字・信号の種類	割り当てる周波数(Hz)
セパレータ信号	20000～20020
エンド文字	20020～20040
スタート文字	20040～20060
a	20060～20080
⋮	⋮
z	20560～20580
A	20580～20600
⋮	⋮
Z	21080～21100
0	21100～21120
⋮	⋮
9	21280～21300
特殊文字	21300～21740

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 2 に示す．本実験では，会話などの環境音がある環境(35dB の雑音環境)と環境音がない環境(20dB の雑音環境)の 2 種類の環境下で実験を行った．文字数は，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，10 回行い，超音波を出力するマイクの音圧レベルを 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 2　実験環境のパラメータ

文字長	5,8,12,20,50,100 文字
試行回数	10 回
実験環境	20, 35dB
スピーカの出力	50dB
受信距離	1.5m

4.4 評価実験

本実験では，関連研究で述べた FSK 変調方式と提案手法，セパレータなしの提案手法の 3 つの手法で比較し，評価を行う．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．4.1 節で述べた周波数が高くなるほど取得数が減少する問題の影響を知るために文字ごとに文字の取得率を算出する．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．

$$\text{文字の取得率} = \frac{\text{文字の取得数}}{\text{文字の総数}} \quad (3)$$

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．

ⓒ2016 Information Processing Society of Japan

Vol.2016-MBL-78 No.21
Vol.2016-UBI-49 No.21
2016/3/1

5.1 各試行での文字の未取得率

環境音がない場合での実験結果を図 6，環境音がある場合での実験結果を図 7 に示す．これらの結果から，3.3 節で述べた関連研究の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．環境音がない場合では，大きな文字の未取得率の違いが出ることはなかった．また，この場合での従来手法の文字の未取得率の平均は，50.3%となり，提案手法の文字の未取得率の平均は，38.8%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 11.5 ポイント改善できていることがわかった．また，環境音がある場合では，従来手法の文字の未取得率は 86.0%となり，提案手法の文字の未取得率は，39.1%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 46.9 ポイント改善できていることがわかった．

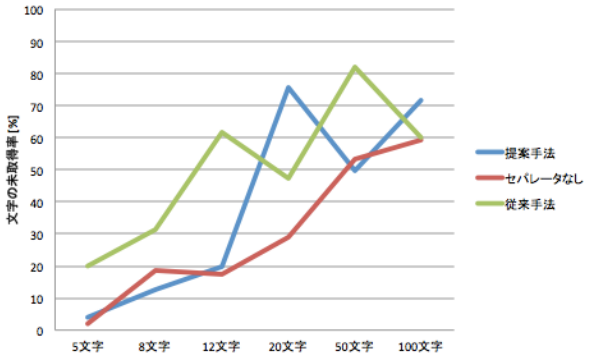

図 6　環境音がない場合での文字の未取得率

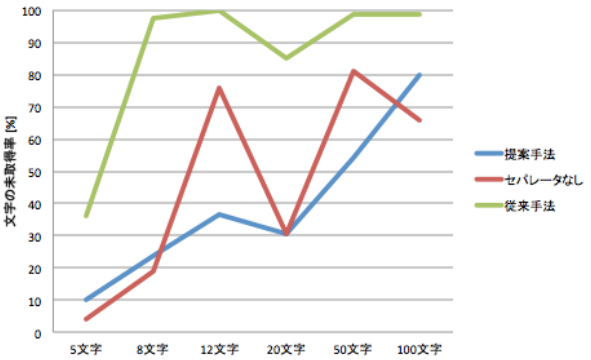

図 7　環境音がある場合での文字の未取得率

5.2 文字の誤り率

環境音がない場合での文字の誤り率を図 8，環境音がある場合での文字の誤り率を図 9 に示す．セパレータを入れない手法では，5 文字での文字の誤り率は 0%に近いが，8 文字以降では，5 文字での文字の誤り率を維持することができないという結果が得られた．提案手法では，文字が増加しても文字の誤り率は 0%を維持する結果が得られた．

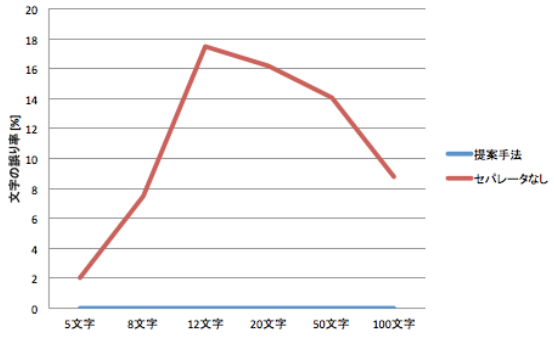

図 8　環境音がない場合での文字の誤り率

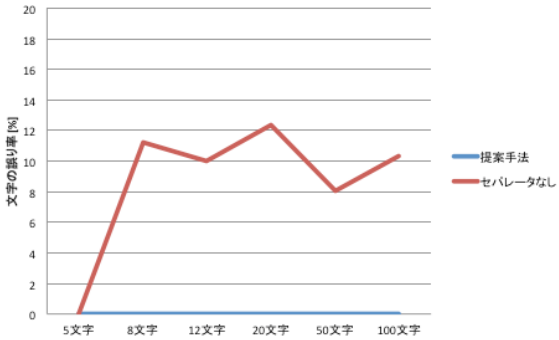

図 9　環境音がある場合での文字の誤り率

5.3 文字毎の取得率

文字毎の取得率を図 10 に示す．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．

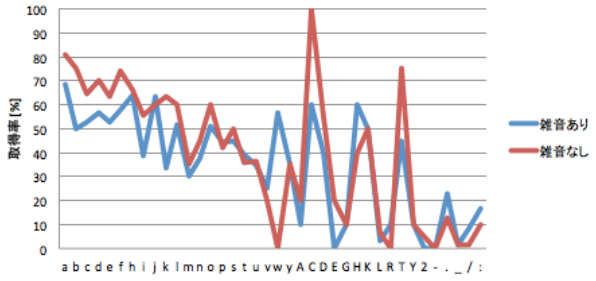

図 10　文字の取得率

5.4 考察

環境音がある場合には通信中に周りの環境音を拾ってしまうため，従来手法ではそのあとの復号ができなくなる．そのため，環境音がある場合の文字の未取得率が増加してしたと考えられる．一方，提案手法では，環境音を拾って復号ができない信号があっても，文字を 1 つの信号で表しているため，そのあとの文字の復号に影響を及ぼさない．そのため，環境音がある場合の文字の未取得率にも大きな変化が現れなかったと考えられる．また，セパレータなしの手法は送信波の残響音を取得することによって，その音

ⓒ2016 Information Processing Society of Japan

を信号として処理してしまう．そのため，文字の誤り率が増加したと考えられる． 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

本論文では，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，符号化する信号長によるエラーと送信波の残響音によるエラーに対する 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信号数が増えても残響音の影響を受けないといった結果が得られた．

しかし，文字の未取得率が 39%前後であり，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るために再送方法などを検討する必要があると考えている．また，今回の実験結果では，割り当てている周波数が高くなるほど取得率が低下するということがわかったため，高周波数帯をなるべく割り当てない，あるいは高周波数帯の帯域幅を広くするなど，周波数を割り当てる方法を検討する必要がある．今回行った FFT を用いた精度実験は，静止した端末で実験した．そのため，移動端末での精度はドップラーシフトによって今回の実験よりも精度が悪くなることが考えられる．そこで，今後は文字の未取得率を抑えつつ，より周波数効率の良い伝送方式を考える必要がある．また，今回は双方通信時の反射波による影響を考慮していない．そのため，今後は自身の反射による超音波通信の影響に対する対策手法を検討する必要がある．

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, テープウィロージャナポンニワット, 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] 尾崎凌介, 小川亮二 , NiwatThepvilojanapong, TeemuLeppanen, 狐崎直文, 戸辺義人. 参加型センシングにおける協調制御機構の設計. 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.257-263 (2013).
[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).

ⓒ2016 Information Processing Society of Japan