

伝搬耐性を備えた音波情報伝送技術の提案

岡野 裕^{†1} 寺本 幸生^{†1} 野田 潤^{†1}

本研究では、多くのモバイル端末が備えるマイクとスピーカを用いた音波情報伝送技術を提案する。従来の音波情報伝送技術は可視光通信などと比較して、端末の向きを合わせるユーザビリティ上の制約が小さい一方で、騒音などにより認識率が低下するロバスト性の課題があった。本研究では一般的に外乱に影響されにくい非可聴周波数帯に信号を重畳し、さらに限られた周波数帯で送受信データに情報理論的冗長性を持たせる通信方式を確立することで、ロバスト性の確保を目指した。実験によって送受信端末間の距離・角度を変化させた時の認識率が従来より向上することを確認した。また、複数回送受信を行う条件で騒音環境下と静寂環境下で認識率を比較し、共に99%を超える認識率となったことを確認し、提案方式は伝搬耐性を備えることを実験的に示した。

Ad-hoc aerial acoustic communication for long-range propagation

YU OKANO^{†1} SACHIO TERAMOTO^{†1} JUN NODA^{†1}

We propose an aerial acoustic communication technique. Aerial acoustic communication techniques can apply various mobile devices because most of mobile devices have acoustic function. However, these techniques have some problems that acoustic signals do not have enough noise tolerance, though these techniques can communicate without adjust the direction of devices. In this paper we design a communication protocol that has high noise tolerance without significant decline of bit rates by using inaudible band which is not normally noisy. This protocol can guarantee high recognition rate by transmitting same signals multiply. We confirmed that the recognition rate is greatly improved than previous studies, via some experiments which distance and angle between the transmitting and receiving terminals were varied. We confirmed that this protocol have over 99% recognition rate under both silent environment and noisy environment.

1. はじめに

携帯電話やスマートフォンの普及に伴い、赤外線通信などを用いてアドホックにユーザ端末間で情報共有する機会も増えている。情報共有の際にIDが既知であれば回線を通じた通信が可能であるが、初対面の人同士、初めて見た広告と端末などの間ではその場でアドホックにアドレスなどのIDを通信できることがユーザビリティ上望ましいと考えられる。例えば、初対面の複数の人が何らかのイベントで出会い、場所・時間を共有した人同士をその場で一つのグループとして定義することを考える。この時、グループを形成したい付近の人物の端末を自動的に検出することができれば、高いユーザビリティを備えるサービスとなり得る。

代表的な既存のアドホック通信手法として、Bluetooth, Wi-Fi Direct, 赤外線通信, 可視光通信, 音波情報伝送[1][2]が挙げられる。各々のアドホック通信手法を比較する際に、ユーザビリティの観点が必要な側面を有する。ユーザビリティの観点では、ユーザへの使用上の制約の大小が指標となる。

この観点において、端末間でアドホック通信する既存の方式では幾つかの課題があった。例えば赤外線通信は、端末同士を近接させ向き合わせる操作が必要であった。また人間に知覚出来ない光の点滅で通信を行う可視光通信が研

究されているが、一般に可視光通信も光源とカメラを向き合わせ、通信路に遮蔽が無いようにユーザが留意する必要がある。加えて、可視光通信を行うためには一般的に発光モジュールを追加する必要がある。ディスプレイを光源として用いることもあり得るが、モバイル端末のディスプレイでは現実的ではない。BluetoothやWi-Fi Directは、伝送距離・伝送レート共に優れるが、一方で機器認証や機器選択は、操作に慣れていないユーザには煩わしいという懸念がある。以上のように、従来のアドホック通信手法には主にユーザビリティの観点で課題があった。

以上の観点から従来のアドホック通信手法をまとめたものを表1に示す。

表1 アドホック通信方式

	ユーザビリティ		
	操作量	設備コスト	複数同時配信
Bluetooth	△	△	○
Wi-Fi Direct	△	△	○
赤外線通信	△	△	×
可視光通信	△	×~△	×~○
音波情報伝送	○	○	○

表1では、以上で述べた要素の善し悪しを比較し、相対的な評価として記載した。操作量は、認証手順が必要であるか、送受信端末間での向きを合わせる必要があれば△とし、どちらの手段も必要としないものを○とした。設備コストは、携帯端末の機種に依存する技術は△、専用装置が必要な技術は×とした。複数同時配信は、不可能であ

^{†1} 日本電気株式会社 クラウドシステム研究所
Cloud System Research Laboratories, NEC Corp.

る技術を×、可能である技術を○とした。

表1を参照すると、アドホック通信手法の中で音波情報伝送技術がユーザビリティに優れることが分かる。音は拡散しやすく端末同士の向きを厳密には合わせる必要がなく、音声端末であれば全ての機種がマイクとスピーカを備え、拡散する音によって付近の端末に同時に送信することが出来る。そこで本研究では、アドホックにグループを生成するようなシーンを想定し、グループIDをその場の携帯端末間で共有可能とする音波情報伝達技術を提案する。

2. 従来の音波情報伝送技術とその課題

本節では、情報伝送技術として音波を使用する従来手法を示し、それらのロバスト性に関する課題を記述する。

2.1 従来の音波情報伝送技術の概要

空中伝搬する音を用いた通信手法に関して述べる。本研究では周波数を偏移させる方式の一つである Dual Tone Multi-Frequency (DTMF) を基にした。DTMFは電話番号の送出方式として用いられており、0から9までの数字と、*, #, A, B, C, Dの記号の計16種類の符号を、低群・高群2つの音声周波数帯域の合成信号音で送信する方法である。周波数と符号の対応を表2に示す。

表2 DTMFで使用する周波数と符号

	1209Hz	1336Hz	1477Hz	1633Hz
697Hz	1	2	3	A
770Hz	4	5	6	B
852Hz	7	8	9	C
941Hz	*	0	#	D

DTMFを用いてモバイル端末同士で情報通信を行う従来事例としては[3][4]が挙げられる。DTMFでは2つのピーク周波数からなる信号音を発音する“信号送信時間”と、各信号送信時間の間の無音部分である“信号ポーズ時間”があり、これらを時間的に交互に組合せて送信音が構成される。これを数100msごとに繰り返し、伝送レートは一般的に数bpsになる。

2.2 従来技術の課題

音波情報伝送技術を他のアドホック通信手法と比較した際には3点の課題が挙げられる。1点目は、周囲のノイズ強度(S/N比の低下)や端末間の距離・角度に応じてS/N比が低下し、これに起因して認識率が低下することである。2点目は、音以外の通信手法と比べて伝送レートが低いことである。3点目は、電波を用いた方式と異なり信号音を人間が可聴できると、図書館や電車内など公共の場での使用に懸念があることである。

本研究はその場に存在する少数の端末間でグループID

を共有することを想定している。課題の2点目に関して、その場に存在する少数の人・端末を区別するという用途においては、必ずしも高い伝送レートを必要としない。また3点目に関して、人間が可聴しにくい音(一般に17kHz以上の音波)を使用することで、解決することができる。また、これはシステムの適用範囲を確保できる利点として考えることができる。しかし、1点目の課題は、S/N比の低下によって認識率が保てない実用を考慮するとシステムの適用範囲を大いに狭めてしまう。

グループIDを共有するという目的においては、その場にいる数人を識別するために、ノイズ、端末間距離、端末間角度に影響されず数m程度の距離を通信できるロバスト性を備えることが望ましい。DTMFはロバスト性の課題が特に顕著であり、例えば従来研究[4]では30cm程度の伝搬距離を確保するに留まった。実際、簡易な評価実験により、従来のDTMF方式のロバスト性の課題を有することを確認している。具体的には、実験条件として送信用と受信用の2台のスマートフォンを1m離してマイクとスピーカを正対するよう配置し、スピーカから65dBの音量で符号“1”から符号“9”までと符号“*”の10符号を静寂環境下で送信したところ、全ての符号が認識できたのは45%に留まった。特に誤認識の内容として、下記が確認された。

課題① S/N比の悪い状況においてノイズのピーク周波数を符号として認識する

課題② 1つの送信符号を受信側で複数回検出する(例: 1つの符号“1”を“111”と検出する)

3. 提案手法

3.1 提案する音波情報伝送技術の要件

2.2節を鑑みて、本研究では距離・角度・雑音などに起因してS/N比が低下する際でもロバストに認識率を保つことを目的に、課題①②を解決する方式を提案する。2.2節の課題が生じる原因についての考察を述べる。

課題①が発生する原因は、信号音そのものが環境のノイズに影響され、ピーク周波数がずれることや、送信するスピーカ、受信するマイクが移動することによって発生するドップラーシフトが主要な原因と考えられる。ノイズの影響を受ける場合、受信側が信号音の周波数をピーク周波数として認識せずに、ノイズをピーク周波数として認識してしまうことがある。また、ドップラーシフトは、スピーカ・マイクを備える端末を持つユーザが歩行や走行をすることで数十Hzの範囲でシフトする。送信側・受信側の移動を考慮しなければドップラーシフトは発生し得ないが、実環境においてノイズは定常的に存在する。ノイズに影響されることで、信号音の強度が比較的小さくなる長距離やスピーカの正面から外れた位置では認識率が保てない。

課題②が発生する原因は、送信側と受信側で同期が取れていないことにあると考える。受信側と送信側は信号送信時間と、その間の無発音部分である信号ポーズ時間の長さしか共有しておらず、例えばノイズの発生する環境で信号送信時間や信号ポーズ時間の検出が時間的にずれ、結果として符号の認識に過不足が発生することがある。

以上の原因を解決するために、端末間の距離や角度に伴って S/N 比が低下する問題への対策と、送信側と受信側での同期によって 1 つ 1 つの信号音の到着タイミングや到着順序を把握できることが必要である。

3.2 方式概要

本節では DTMF を基にロバスト性を向上しうる方式を提案する。DTMF と同様に信号周波数を低群・高群に分け、2 つの信号周波数の合成音を送信側の端末から発音する。使用周波数帯は通常の DTMF とは異なり、信号音の認識を妨げるほどのノイズが比較的乗りにくいと予想され、かつ一般のマイクとスピーカで扱うことが出来る周波数帯として 17k~20kHz を選んだ。この周波数帯の音は成人にはほぼ聴こえず、ユーザビリティの観点からも望ましい。各々の周波数と符号の対応の定義を表 3 に示す。

表 3 提案方式での周波数と符号の対応

	19048Hz	19560Hz	20072Hz
17000Hz	1	2	3
17512Hz	4	5	6
18024Hz	7	8	9
18536Hz	A	B	C

また、信号周波数同士の間隔は 512Hz とした。これは、ノイズによる影響や、Fast Fourier Transform (FFT) の性能による影響、歩行などによって端末のマイクとスピーカが移動することに起因するドップラーシフトを加味しても十分に判別しうる間隔として設定した。提案方式による送信から受信の手順概要を図 1 に示す。

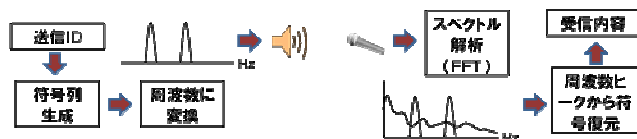


図 1 信号音の送受信手順

送信の際には、送信 ID を符号に変換し、変換した符号を表 3 を参照して該当周波数からなる信号音に変換する。受信の際には録音した音を FFT によってスペクトル情報に変換し、表 3 を参照してピーク周波数から符号に戻し、符号の列から受信 ID を得る。符号と送受信 ID の変換は本研究で提案する送受信プロトコルに定義される送信順序・内

容を参照することで実現する。3.3 節で詳細に説明する。

3.3 送受信プロトコル

ロバストに通信するために、送受信データに情報理論的冗長性を持たせる通信方式を提案する。具体的には、送信する信号音を複製し、連続して送信する。受信側は、送信データのいくつかを正しく受信できない場合でも正しい送受信データを推測できるように設計する。この手法により課題①を軽減し、要件を満足することもできると考える。具体的な方式は 3.4 節で示す。

また、課題②に対しても次のような誤認識を起こしにくい工夫を加えた。データ送受信者間において、送受信の同期をとるために開始符号を定義し、受信側もデータの受信タイミングを把握できるように設計する。開始符号によって符号の送信順序を定義し、到着順序を保証する。これにより、受信側は、一連の信号音に含まれる各データ符号や誤り検出符号を切り出すことが出来る。さらに、データの送信順序が定義されたことで、一連の送信データ内に複数のデータ符号を持つデータ部を設定し、より多くの情報量を表現することが可能になる。表 4 に上記を考慮して設計した送受信プロトコルを示す。

表 4 送受信プロトコル

Index	1	2	3	4	5	6	7
送信内容	開始符号		データ部		チェックサム	終端符号	
	開始符号1	開始符号2	データ符号1	データ符号2		終端符号1	終端符号2

一連の送信データ列として区別するための開始符号と終端符号を設け、その間にデータ部と誤り検出のためのチェックサムを設けている。受信側は、一定の録音時間の中で開始符号を発見すると、開始符号のある時間から順番に、終端符号を発見するまでデータをデコードし続ける。データ部は、開始符号から終端符号までの 1 連の符号列の中で表すことができるデータ量を拡張できるように、複数格納できる。今回は 2 つのデータ符号を用意した。よってデータ部は符号"11"から"CC"まで 144 通り取りうるが、"11"~"BC"まで 132 通りをデータ符号として、"C1"~"CC"までを開始符号や終端符号に割り当てることとした。132 通りの送信 ID はデータ符号 1 を上位ビット、データ符号 2 を下位ビットとしてデータ部に展開する。チェックサムは下記の式に示す式で算出する。式では符号"1"~"C"を数値 1~12 に読み替えて計算する。式の中で定数 5 を加算しているが、これは提案手法の送受信プロトコルに起因する。データ部のデータ符号 2 が"C"の場合に後続のチェックサムが、開始符号 2 や終端符号 2 で使用される符号と同一であると、データ符号 2 とチェックサムが続いているのか、開始符号 2 つまたは終端符号 2 つが続いているのかの判別が付かない。これを避けるため、データ符号 2 が"C"の時は

チェックサムが開始符号や終端符号として未使用の値である”6”になるような定数 5 を加算している。

$$\text{checksum} = ((\text{data1} * \text{data2} + 5) \bmod 12) + 1$$

以上の手法に従ってデータ符号と送信 ID をデータ符号 1,2 に変換し、そしてデータ符号 1, 2 のチェックサムを算出し、得られた符号を表 4 に示す送信順序の通りに発音する。個々の送信内容は信号送信時間の間だけ発音され、信号音と信号音の間には信号ポーズ時間が設定され、信号音同士を分けるように設計する。

3.4 情報理論的冗長性に基づくロバスト性の確保

ロバスト性を向上させるため、送受信データに情報理論的冗長性を持たせる。具体的には、送信する信号（開始符号から終端符号までの一連の符号）を複製し、これらが続けて送信する。受信側は 1 個の信号を複数受信すると、チェックサムと整合する復号結果のうち、最も多く復号できた受信 ID を、最終的な受信 ID として得る。いわゆる多数決の原理に基づく復号手法に関して表 5 を用いて具体的に説明する。

表 5 受信側での受信 ID の復号手法の具体例

送信ID	複合結果の符号列	受信ID	認識結果
5	5, 5, 5, 5	5	○
5	5, -, -, -	5	○
5	5, 5, 2, -	5	○
5	2, 2, 5, 5	-	× (誤認識)
5	5, 2, 2, -	2	× (誤認識)
5	-, -, -, -	-	× (不検出)

この表の復号結果の列に記載した一つ一つの数値は受信側での復号処理の結果検出した符号である。チェックサムが不整合の場合や開始符号を検出できなかったときは不検出”-”とする。この例では、送信側は ID”5”を送信する信号を計 4 回送っている。受信側で”5,5,5,5”を復号結果の列として検出し、”5”を受信 ID として得る。”5,-,-,-”のように不検出がある状況でも、復号した符号のうち最も多く検出した符号、すなわち”5”を得る。また”5,5,2,-”のように、送信側が送っていない”2”を誤検出した場合でも同様に”5”を最も多く検出しているので、受信 ID として”5”を得る。

この方式で送信側の意図通りに受信 ID を認識できない場合は、つまり”2,2,5,5”など異なる符号を同数検出した場合や、”5,2,2,-”など送信した ID と異なる符号を最も多く検出した場合である。これらを誤認識として扱う。また、”-, -, -, -”の場合、つまり一度も符号を検出できない場合も誤認識として扱うが、特に不検出と呼ぶ。

3.5 ノイズ耐性を備えた復号手法

ロバスト性の向上には、上記に加え、個々の符号を復号する際の認識率の向上が不可欠である。そこで、本研究では以下のような復号方法を採用する。受信側の端末は、図 1 右に示す手順で受信処理を行う。まず受信側は、録音結果を FFT によってスペクトラム情報に変換する。周波数帯域の低群（17000～18536Hz）と高群（19048Hz～20072Hz）の幅の中でピーク周波数を発見し、表 3 の対応表から符号を得る。FFT の窓時間ごとに符号を得ると、ノイズが存在しなければ信号送信時間分の符号の列と、信号ポーズ時間分の不検出”-”の列が得られるはずである。実際には課題①の影響により、各符号および”-”の列に誤検出が発生する。そこで本研究では単位時間あたりに復号できた符号の出現回数を用いて、復号した符号の確からしさを推定し、確からしい符号を採用する手法をとる。具体的には、FFT の時間窓ごとに得られた符号列を基に、信号送信時間における符号の最頻値と最頻値の出現回数を求める。この計算を繰り返して受信時間全体の平均出現回数を求め、出現回数が平均よりも高いものを符号として得る。

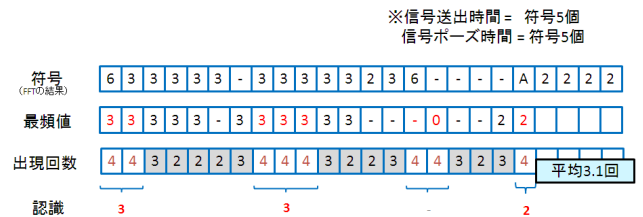


図 2 受信した符号のデコードアルゴリズム

例として図 2 に、FFT した結果得られた符号列から元の符号を取り出す手順を示した。この例では、符号”3,3,2”を送っている。信号送信時間とする符号 5 個分の時間に符号列”6,3,3,3,3”が得られたとする。するとその時間幅の最頻値は”3”となり、最頻値の出現回数は 4 となる。出現回数が出現回数全体の平均値 3.1 よりも大きいため符号”3”を検出する。平均値を下回る最頻値と、最頻値が”-”である箇所を除外し、”3,3,2”を受信した符号として得る。この手順を繰り返すことで、開始符号から終端符号までを取得する。この手順によって表 4 に示したデータ符号 1 とデータ符号 2 が得られ、最後に両方の符号を各々上位ビット、下位ビットとして受信 ID を算出する。

4. 評価実験

4.1 実験概要と目的

騒音環境や端末間の距離、向きに起因して S/N 比が低下する条件下で提案手法の認識率を評価した。実験に用いる端末として、市販の Android スマートフォンを送信側、受信側 1 台ずつ用意し、送信側の音量を端末の最大音量（約

52dB)とした。信号送信時間と信号ポーズ時間は、認識率が大きく変化しない範囲で極力短い時間が望ましく、予備実験を踏まえて 50ms とした。送信内容は、構成する符号の周波数が互いに近く、比較的誤認識が起これと考える符号“AB”をデータ部として持つ符号列を送信した。

4.2 実験 1 : 騒音環境下での認識率

カフェテラスなど話し声が多く観測される環境下にて、提案手法の認識率を評価した。

本実験では、送信側での信号の複製数を 4 と定めた。また、図 3 に示すように、信号送信時間を 50ms、信号ポーズ時間を 50ms とした。このとき開始符号から終端符号までを発音するのに 700ms かかる。送信側は 700ms の符号列を 4 回繰り返し送信するため、受信側は 2800ms 以上の受信時間を設けた。

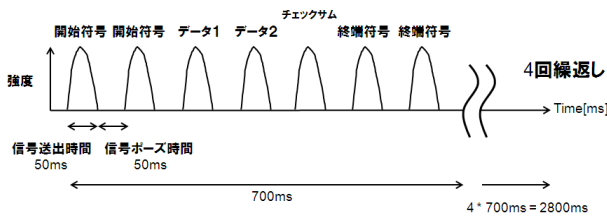


図 3 各符号の送信時間

実験では端末間距離は 1m、音量は端末の最大音量約 52dB とした。静寂環境下での実験結果を表 6、騒音環境下での実験結果を表 7 に示す。

表 6 静寂環境下の認識率と誤答傾向

	正答	誤認識あり	不検出	誤認識・不検出複合
4回中4回	○: 正正正正 22.1%	—	—	—
4回中3回	—	○: 正正正誤 0.0%	○: 正正正不 77.4%	—
4回中2回	—	×: 正正誤誤 0.0%	○: 正正不不 0.2%	○: 正正誤不 0.0%
4回中1回	—	×: 正誤誤誤 0.0%	○: 正不不不 0.2%	×: 正誤誤不、 正誤不不 0.0%
4回中0回	—	×: 誤誤誤誤 0.0%	×: 不不不不 0.1%	×: 誤誤誤不、 誤誤不不、 誤不不不 0.0%

表 7 騒音環境下の誤答傾向

	正答	誤認識あり	不検出	誤認識・不検出複合
4回中4回	○: 正正正正 19.9%	—	—	—
4回中3回	—	○: 正正正誤 0.0%	○: 正正正不 71.3%	—
4回中2回	—	×: 正正誤誤 0.0%	○: 正正不不 7.5%	○: 正正誤不 0.0%
4回中1回	—	×: 正誤誤誤 0.0%	○: 正不不不 1.0%	×: 正誤誤不、 正誤不不 0.0%
4回中0回	—	×: 誤誤誤誤 0.0%	×: 不不不不 0.3%	×: 誤誤誤不、 誤誤不不、 誤不不不 0.0%

表 6、表 7 では、4 回繰り返し送信した ID の受信傾向を表にした。受信側が正しく受信できた回数別に行を分けて集計している。また、列方向では、第一列に 4 回とも送信 ID と同じ ID を復号した「正答」、第二列に送信 ID とは異なる ID を認識した誤認識が含まれる「誤認識あり」、第三列に送信 ID を検出できなかった不検出が含まれる「不検出」、第四列に誤認識・不検出を両方含む「誤認識・不検出複合」を配置し、それぞれのセルに分けて集計した。各セルには、正答“正”、誤認識“誤”、不検出“不”の組合せのパターンを表記し、合わせて各パターンの正誤を併記した。組合せに順序は関係なく、4 回の受信の結果正答 3 回、誤答 1 回であれば“正正正誤”のセルに集計される。

受信側での復号処理の結果、静寂環境下、騒音環境下共通して一度も誤認識は観測しなかった。4 回中 1 回以上正答した割合を合計すると、静寂環境下で 99.9%、騒音環境下で 99.7% の認識率となった。誤検出が観測されなかったことから、課題①は複数回送受信とは関係なしに、3.5 節に示した符号の復号手法で改善できていると推察できる。参考までに、1 回のみ送受信する従来の DTMF を実装し評価したところ静寂環境下 31.3% の認識率となり、従来の DTMF よりも認識率が向上していることを確認できた。

4.3 実験 2 : 伝搬距離

次に端末間距離を変化させた場合の認識率を評価した。端末間距離は 5m から 10m まで変化させた。距離を除く実験条件は実験 1 の静寂環境下の条件と同様である。各々 3000 試行を行った結果を図 4 に示す。なお、比較対象として端末間距離が 5m の時の DTMF (使用周波数帯は可聴音であり、本研究の提案プロトコルなし) による認識率を付記した。

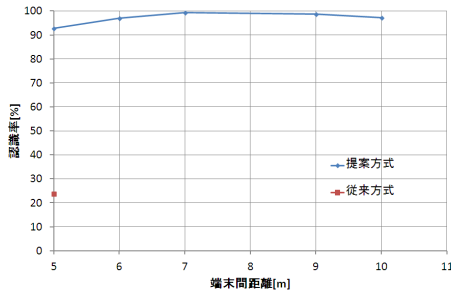


図 4 端末間の距離と認識率

本結果を参照すると、5m を超える端末間距離においても認識率が9割を超えた。従来のDTMFと比べて、長距離においても認識率が保たれる状況を確認した。

4.4 実験3：伝搬角度

距離に続いて、角度の変化と認識率の関係を評価する実験を行った。本研究で通信に用いる音は高周波であり、伝搬方向がある程度限られることが予想される。そこで端末のスピーカ、マイクの角度を0度から45度、90度、180度と変化させ、認識率を評価した。端末間距離は2mとした。実験は静かな会議室で行った。図5に6000試行の結果を示す。比較対象として、実験2と同じく従来のDTMFを用いて端末間距離2mで評価した認識率を付記した。

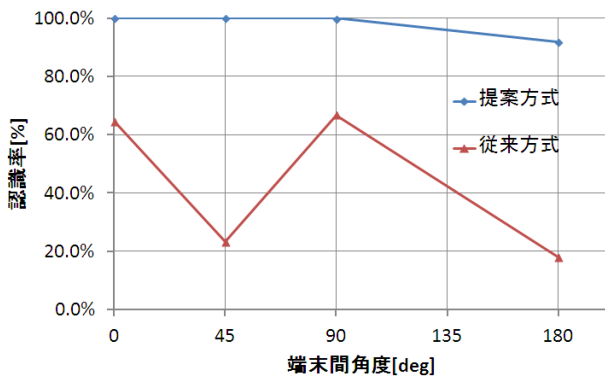


図 5 距離 2m における端末間の角度と認識率

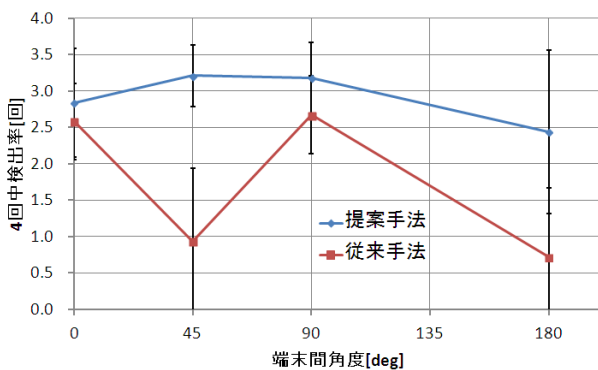


図 6 4 回中の平均検出回数

実験の結果、45度、90度、180度の条件それぞれで90%を超える認識率を確認でき、角度変化による認識率の影響が比較的小さいことを確認した。この時の4回中の平均検出回数を示した図が図6である。エラーバーは標準偏差である。端末が正反対を向く180度の条件でも2回以上の検出が行えていることから、本実験条件において、端末をどの向きに向けていても正答が保たれることが確認できた。

4.5 考察

実験1の静寂環境下および騒音環境下での実験は、4回の送受信をすることによって従来のDTMFと比べて認識率が高まったことが確認できた。また正解しなかったデータの内訳は、全て不検出で誤認識は今回の実験では観測されなかったことから、複数回送受信の回数を4回よりも減らしても認識率が保てると思われる。仮に4回送受信を2回に減らしたとした時、4回中2回以上正答している結果を合算すると静寂環境下で99.7%、騒音環境下で98.7%の認識率になる。次に実験2の伝搬距離では、従来のDTMFよりも長距離に情報伝送しうることを示した。端末間の角度ごとに実験した実験3においては、角度が増すごとにある程度の認識率の減衰は認められるものの、概ね信号音を認識できており、ユーザは端末の向きを気にせずに通信が行えると言える。従来方式では、45度と90度の角度で認識率が逆転している。実験を行った部屋での壁までの距離は90度の方が短く、壁による音の反射という要素の検討の余地を残した。平均検出回数はどの角度の条件においても2回を超えており、実験1の考察と同様、複数回送受信による冗長性を設計する際の、ロバスト性と伝送レート双方を観点においた検討の指標となった。

5. 結論

本研究では、広く普及している装置を用いたアドホック通信手法として、音波情報伝送技術を実装・提案した。端末同士でロバストに通信可能で、信号自体が可聴されないものとして送受信プロトコルを設計した。結果、端末間距離1mの騒音環境下でも99.7%の認識率を実現した。従来のDTMFの認識率と比べると飛躍的な向上であり、かつ、DTMF相当の識別ができる伝送レートは保っている。さらに、10mまでの長距離における通信可能性を計測し、従来のアドホック通信のように通信を行う人物が数m離れていても、端末同士を向き合わせなくても通信できることを示した。本結果を高いロバスト性を保ちうる指標として用いることが出来る。

今後の課題としては、伝送レート向上とロバスト性の両立や、そのための誤り訂正手法の導入などが考えられる。また、音波情報伝送技術の他の手法、スペクトル拡散方式などと比較評価し、提案手法の優位性を確認する。

参考文献

- 1) 西村明, 坂本真一: 音響透かしを用いたカラオケ歌詞表示システムの性能評価, 電子情報通信学会技術研究報告. EA, 応用音響 108(179), 83-88, 2008-07-28
- 2) 森勢 将雅, 山下 洋一: モスキート音に基づく電子透かしを用いた歌詞連動型音楽試聴システムの提案, 情報処理学会研究報告, 2012-MUS-96(4), 1-6, 2012
- 3) ToneConnect <http://www.toneconnect.com>
- 4) 三津橋晃丈, 中尾敏康, 早川敬介, 柏谷篤: ユビキタス環境における機器接続制御手法の検討 (2) -音声信号を用いた接続情報の送受信, 電子情報通信学会総合大会, pp.140, 2003