

A proposal for an ultrasonic-based Exposure Notification framework considering physical barriers

メタデータ	言語: jpn 出版者: 公開日: 2022-11-04 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 相場, 智也, 土屋, 純, 成田, 惇, 西垣, 正勝, 大木, 哲史 メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/10297/00029173

物理的障壁を考慮した超音波による接触通知フレームワークの提案

A proposal for an ultrasonic-based Exposure Notification framework considering physical barriers

相場 智也* 土屋 純† 成田 惇† 西垣 正勝† 大木 哲史†
Tomoya Aiba Jun Tsuchiya Jun Narita Masakatsu Nishigaki Tetsushi Ohki

あらまし 2019年に発生したCOVID-19は、感染力の高さから瞬く間に世界中に感染拡大した。感染拡大を防止する手段として、Exposure Notification (EN) フレームワークが開発された。Bluetooth Low Energy (BLE) を利用したENフレームワークは、BLEの特性から、距離だけでなく向きなどの影響を受け誤検知が発生するため、BLE以外のセンシングを利用した手法が研究されている。その中でも音を利用した接触検知手法はスマートフォン等スピーカを有した機器において幅広く利用できる機能であり、その応用に関して研究が進められている。しかし、これまで提案された音を用いた接触検知手法は1対1通信や各端末で事前学習を必要とするためENフレームワークを利用する大規模システムに適用可能なスケーラビリティを有しない。本研究では、一方向通信、事前学習が不要な接触検知を実現するために、超音波を用いて端末間の壁の有無を検知することで接触検知精度を向上させる手法を提案する。また、基礎的検討として超音波による壁検知精度を検証し、その有効性について報告する。本手法を用いることで、接触誤検知の少ないENフレームワークの実現を目指す。

キーワード COVID-19, Exposure Notification, 超音波, 壁

1 はじめに

2019年に発生したCOVID-19は、感染力の高さから瞬く間に世界中に感染拡大し、変異株の脅威などから現在も予断の許されない状況である。感染拡大を防止するためには、感染者を適切に特定し隔離することが重要であるが、感染者を漏れるなく特定することは困難であり、感染拡大は未だに世界各地で発生している。

感染拡大を防止する手段として、濃厚接触者を特定することで2次感染を防ぐことを目的としたExposure Notificationフレームワーク（以下、接触通知フレームワークと呼ぶ）がAppleとGoogleの共同で開発された[1]。接触通知フレームワークは1人につきほぼ1台以上の所有が想定されるスマートフォンの利用を前提とし、位置情報や端末固有情報などの情報を利用しないようプライバシーを考慮した設計がなされている。接触通知フレームワークはBluetooth Low Energy (BLE) のRSSI値（電波強度）を利用して距離計測を行うことで接触を検知するが、RSSI値は距離だけでなく端末の向き

や位置など様々な要因の影響を受け、大きく変動してしまう[2], [3]。そのため、壁などの物理的障壁で隔たれていて接触がない人に対しても接触と検知してしまう（以下、誤検知と呼ぶ）可能性が報告されている[4]。接触通知フレームワークはその性質上、可能な限り多くの利用者が同じ接触通知フレームワークを利用することが重要となる。誤検知が発生することは、接触通知そのものの信頼性の低下を招く。さらに信頼性の低いフレームワークは利用率も低下し、さらなる信頼性の低下を招く。このため、接触検知のためのセンシング手法として、BLE以外の情報を用いる手法を検討する必要がある。そこで本稿は、超音波を用いて端末間の物理的障壁の有無を検知することで接触検知精度を向上させる手法の実現を目的とする。誤検知を防ぐセンシング手法として、これまで、音を利用した接触検知手法が提案されてきた[5, 6]。音は壁で遮音されやすく、音を再生・録音する機能は接触通知フレームワークを利用する端末で利用可能な機能なため、接触検知手法に適したセンシング手法といえる。しかし、音を利用した既存の接触検知手法は、音速と時間から距離を計測する際に問題となる端末の処理の遅れを補正するために1対1通信を必要とし、また、各端末が録音した周波数スペクトルの類似度と実際の距離を

* 静岡大学情報学部, 静岡県浜松市中区城北3丁目5-1, Shizuoka University, 3-5-1 Johoku, Naka-ku, Hamamatsu, Shizuoka, Japan

† 静岡大学大学院総合科学技術研究科, 静岡県浜松市中区城北3丁目5-1, Shizuoka University, 3-5-1 Johoku, Naka-ku, Hamamatsu, Shizuoka, Japan

紐づけるために学習を必要とするため、大規模かつ不特定多数の端末との通信を行う接触通知フレームワークでの利用に適用することが困難である。既存の接触検知手法は音を利用して距離計測を行うが、本稿では壁の遮音性を利用して、送信元端末が超音波を出力し、受信端末が超音波を受信可能まで誤検知を防ぐ設計を行う。BLEを用いて識別子をアドバタイズ（周囲の端末にブロードキャスト通信）すると同時に超音波をブロードキャストし、超音波を受信できた場合のみ同時に受信したアドバタイズデータを有効とする接触検知手法を提案する。

本稿では、提案手法のスケラビリティを検証する前の基礎的検討として、超音波による壁越しの誤検知防止精度を検証し、その有効性について報告する。本手法を用いることで、接触誤検知の少ない接触通知フレームワークの実現を目指す。

本稿の貢献として以下の3点が挙げられる。

- 超音波を使用することで壁越しの誤検知を防止する手法を提案した。
- 接触通知フレームワークが利用される大規模システムに適用可能なスケラビリティを検証する前の基礎的検討として、超音波による壁越しの誤検知防止精度を検証した。
- 実機を用いた検証により、壁越しでの誤検知が防止できること、また複数の把持方法においても安定した超音波を受信可能であることを確認した。

2 関連研究

2019年に発生したCOVID-19は、感染力の高さから世界中に感染拡大した。COVID-19の感染を防ぐため人々は社会的距離をとるようになり、また、2次感染を防ぐため、スマートフォンなどの端末を用いて濃厚接触を特定する接触通知フレームワークをはじめとしたContact Tracingの仕組みが開発された[1]。COVID-19の感染拡大を防止するため、センサを設置し、社会的距離を計測する手法[7,8]やContact Tracingの仕組みを改善する手法[5,6,9,10]が提案されている。

2.1 センサを用いた社会的距離の計測手法

主に施設や会社などにセンサを設置して、社会的距離を計測する手法が提案されている。Sathyamoorthyらは、カメラとレーザー光により人までの距離や方向を計測するLiDAR (Light Detection And Ranging)を用いて社会的距離を計測する手法を提案している[7]。Naserらは、サーマルセンサーを用いて人の顔などのプライバシー情報を利用しないで社会的距離を計測する手法を提案している[8]。

2.2 Contact Tracingの改善手法

Contact TracingはBLEを利用しているが、BLEの性質上、距離だけでなく端末の向きや位置などの影響を受けRSSI値は大きく変動するため、接触検知精度が低いという問題を抱えている[2,3]。そのため、BLE以外のセンシングを利用した接触検知手法が提案されている。

Yiらは、WiFiCSIを利用することで接触確認を行う手法を提案している[9]。この手法はWiFiを利用可能な場所でのみ使用できる。

Zhaoらは、加速度センサーとジャイロセンサーを用い、歩数や進んだ方向を推定するPedestrian Dead Reckoning (PDR)を利用することで、端末の位置を推定し接触確認を行う手法を提案している[10]。この手法は、開始位置を決める必要がある。YiらやZhaoらの手法は、限られた場所でのみ利用可能であり、Contact Tracingはどんな場所でも利用できることを想定しているため、YiらやZhaoらの手法は適していないと言える。

この問題を解決するために、音を利用した接触検知手法が提案されている[5,6]。

Meklenburgらは端末間で超音波を送受信し、超音波の伝達時間と音の速さ(約340m/s)から距離を計測することで接触確認を行う手法を提案している[5]。この手法はプログラムが記録する時間と超音波が実際に端末から出力された時間の時間差を補正することで実現される、1対1の通信が必要となる。

Bahleらは、環境音は様々な音源と端末の相対位置によって決定され、近くにある端末は似た環境音を録音することを利用する手法を提案している[6]。この手法は、周波数ごとの振幅値を表した周波数スペクトルを用いて、自身の端末と周囲の端末が録音した音の周波数スペクトルの類似度から距離を計測することで接触確認を行うが、周波数スペクトルの類似度と距離を紐づけるために、各端末による事前学習が必要となる。

Contact Tracingを利用する端末としてスマートフォンを想定すれば、音の再生・録音は容易に利用可能な機能である。一方、Contact Tracingは利用する端末や利用シーンが多岐に渡り、多数端末が多地点で同時に利用を行う可能性がある。このため、1対1通信や各端末が事前学習を必要とするシステムは、大規模システムに適用可能なスケラビリティを有しないと見える。そこで本稿では、音を利用して距離計測を行わず、壁越しの端末を誤検知しないことを目的とすることで設計を行い、1対1通信と事前学習を不要とする、超音波を用いた接触検知手法を提案する。本稿の位置付けは、Contact Tracingの改善であり、Contact Tracingとして、接触通知フレームワークを対象としている。

3 提案手法

3.1 使用周波数の選択

本手法で壁越しの端末の誤検知防止に用いる音響情報は、壁を透過せず、また複数端末での利用を想定すれば、音を発生させた場合にそれらが端末利用者にとって不快な音でないことが望ましい。

透過損失の質量則によれば、透過損失 TL_0 [dB] は周波数 f [Hz] と面密度 m [kg/m²] を用いて式 (1) で示される [11]。透過損失は値が大きいくほど遮音性が高いことから、式 (1) より、周波数が高いほど壁による遮音性が高くなることがわかる。

$$TL_0 = 20 \times \log_{10}(f \times m) - 43 \quad (1)$$

また、20kHz 以上の周波数は超音波と呼ばれ、一般的に人には聞こえず不快感を与えずらいとも考えられる。これらから、本稿では使用する音響情報として、20kHz 以上の周波数の超音波を用いることとする。

3.2 接触検知手法

超音波通信は誤り検出および誤り訂正が困難である。そこで本稿では、超音波と BLE を組み合わせた接触検知手法を提案する。壁越しの端末の誤検知を防止するために超音波を用い、接触通知フレームワークや Meklenburgらの手法 [5] などと同様に、端末識別子の送受信などに BLE を用いる。

図 1 に本稿で提案する接触検知手法のシーケンス図を示す。提案する接触検知手法は以下の手順で行われる。ここで、端末 A は送信端末、端末 B は受信端末である。

図 1 の① 端末 B は、BLE スキャン (BLE アドバタイズの監視) を行う。BLE スキャンは受信時だけでなく常に行っている。

図 1 の② 端末 A は BLE のアドバタイズデータに自身の識別子を格納し、BLE アドバタイズを行い、同時に超音波を出力する。本稿では、超音波として 20kHz, 21kHz, 22kHz を用いる。それぞれの周波数の sin 波を作成し出力する。(par は並列処理を表す)

図 1 の③ 端末 B は端末 A のアドバタイズを受信後、録音を開始する。端末が録音した音に対して高速フーリエ変換 (Fast Fourier Transform, FFT) を用いて周波数解析を行い、超音波受信検知を行う。FFT に用いたサンプル数は 4096 であり、サンプリング周波数は 48kHz である。超音波を受信検知する手法として本稿ではピークに基づく検知手法 (以下、ピーク検知手法と呼ぶ) を用いる。ピーク検知手法とは、検知したい周波数とその周囲の周波数の

振幅値を比較し、検知したい周波数の振幅値が最大と判定された場合にその周波数を受信したと判定する手法である。ただし、超音波を受信していなくても、検知したい周波数の振幅値が最大となる場合があるため、振幅値にしきい値を設定し、しきい値以上となった場合に検知とする。

図 1 の④ 端末 B は超音波を受信した場合のみ端末 A のアドバタイズデータから端末 A の識別子を取り出し、記録する。(opt は条件を満たした場合のみ実行される処理を表す)

本手法において超音波は、既存手法と異なり壁で隔られているかの検知のみに用いられる。送信元端末が出力した超音波が周囲に存在する受信端末により受信可能かどうかで壁で隔られているかを検知する。本手法は、受信端末は送信元端末に返信を行わないため、1対1通信を必要とせず、また、超音波の到達で壁の有無を検知する機能のみ提供するため、事前学習を必要とせず接触確認が可能である。

4 実験・検証

4.1 実験の概要

事前実験として、BLE の接触判定しきい値の調査と超音波のピーク検知しきい値の設定を行う。その後、提案手法のスケラビリティを検証する前の基礎的検討として、超音波による壁越しの端末検知防止の有効性を、接触通知フレームワークと同様に BLE を用いた場合と比較して検証する。また、手やポケットに入れて把持した場合の影響による端末検知精度の検証をする。

4.2 事前実験

超音波の有効性を実験する前準備として、BLE の接触判定しきい値の調査と超音波のピーク検知しきい値の設定を行う。

4.2.1 BLE の接触判定しきい値の調査

接触通知フレームワークの接触判定となる RSSI 値のしきい値 τ_r を用い、BLE による壁越しの端末検知防止精度を検証する。

しきい値 τ_r は端末ごと異なる。Android 端末に関しては Google が公開している [12] が、本実験で使用する iOS 端末については Apple が公開する情報が存在しない。接触通知フレームワークは、端末の種類に関係なく接触判定距離が同じになるようしきい値 τ_r を端末ごと設定している [13, 14]。そこで、本稿ではしきい値 τ_r が既知の Android 端末を用いてしきい値 τ_r が未知の iOS 端末のしきい値 τ_r を決定する。まず、マルチパス (壁や障害物で反射した電波を受信してしまうこと) の影響が少な

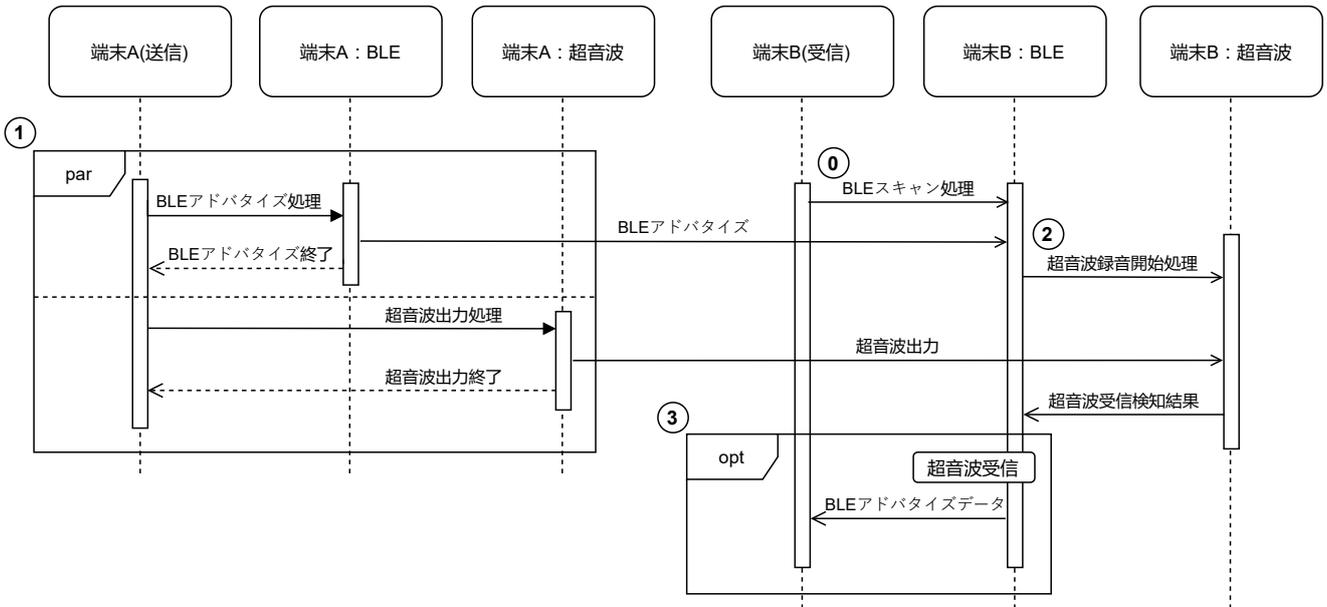


図 1: 提案手法のシーケンス図

表 1: iPhone12 の RSSI 値と TPR

RSSI 値 [dBm]	-74	-75	-76	-77	-78
TPR	0.68	0.71	0.91	0.99	0.99

表 2: iPhone12mini の RSSI 値と TPR

RSSI 値 [dBm]	-74	-75	-76	-77	-78
TPR	0.66	0.78	0.94	0.98	0.99

い屋外で Android 端末の背面を向き合わせて三脚に設置し、接触判定距離を求める。このとき受信する RSSI 値は一定ではないため、受信する RSSI 値の最小値が既知のしきい値 τ_r となるようにし、距離が近いほうのしきい値 τ_r を採用する。次に、Android 端末から iOS 端末に置き換え、BLE の送受信をそれぞれ 1000 回行い、受信した RSSI 値を記録する。本実験でははずれ値を考慮して、受信した RSSI 値の真陽性率 (True Positive Rate, TPR) が約 95% となる RSSI 値をしきい値 τ_r とする。

本稿で用いた iOS 端末は iPhone12 および iPhone12mini であり、また参照用 Android 端末として Huawei HW-01K および Google Pixel4 を用いた。

上記の手順で実験を行った結果、Huawei HW-01K のしきい値 τ_r を採用した。なお、その際の端末間の距離は 5m であった。記録した RSSI 値に対して、しきい値となる RSSI 値を変化させたときの TPR を表 1, 2 に示す。表 1, 2 より、iPhone12, iPhone12mini 共に接触判定となる RSSI 値のしきい値 τ_r を -76 dBm とした。以後、BLE を用いた接触判定のしきい値 τ_r に -76dBm を用いる。

4.2.2 超音波のピーク検知しきい値の設定

超音波の受信検知手法として、ピーク検知手法を用いる。ピーク検知手法とは、検知したい周波数とその周囲の周波数の振幅値を比較し、検知したい周波数の振幅値が最大と判定された場合にその周波数を受信したと判定する手法である。ただし、超音波を受信してなくても、検知したい周波数の振幅値が最大となる場合がある。このため本稿では、周波数の振幅値に検知しきい値 τ_p を設ける。特定の周波数に対するしきい値 τ_p は次のように決定した。

iPhone12 と iPhone12mini の背面を向き合わせて三脚に設置し、超音波を送受信している環境、および実験環境 (超音波を送受信していない環境) のそれぞれにおいて、計測対象とした周波数の振幅値を 1000 回録音する。超音波を送受信している環境で録音した振幅値の頻度分布 (以下、超音波あり分布と呼ぶ) と実験環境で録音した振幅値の頻度分布 (以下、超音波なし分布と呼ぶ) が重複がない場合は、式 (2) でしきい値 τ_* を求める。

$$\tau_* = \frac{\min(\text{超音波あり分布}) + \max(\text{超音波なし分布})}{2} \quad (2)$$

超音波あり分布と超音波なし分布に重複がある場合は、偽陰性率 (False Negative Rate, FNR) と偽陽性率 (False Positive Rate, FPR) を用いて、式 (3) でしきい値 τ_* を求める。

$$\tau_* = \arg \min_t (FPR_t + FNR_t) \quad (3)$$

ここで、 FPR_t および FNR_t はそれぞれしきい値 $\tau_* = t$ としたときの FPR, FNR である。さらに、 τ_* を c 回

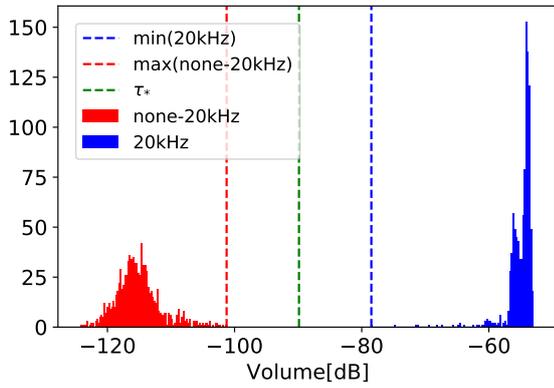


図 2: 端末が録音した 20kHz の音量の分布

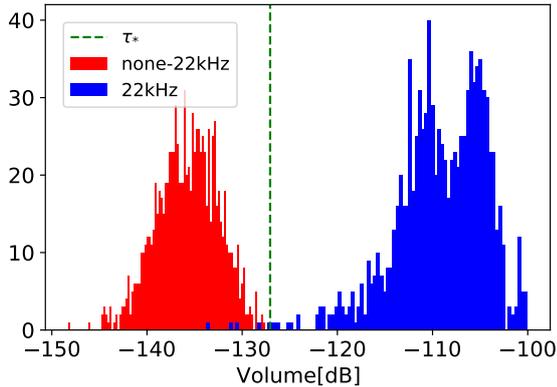


図 3: 端末が録音した 22kHz の音量の分布

めたのち、式 (4) でピーク検知のしきい値 τ_p を求める。

$$\tau_p = \frac{1}{c} \sum^c \tau_* \quad (4)$$

図 2 および図 3 は横軸を音量 [dB]、縦軸を受信した超音波の音量とした頻度分布である。超音波を送受信している環境で録音した音量を 20kHz, 22kHz, 実験環境で録音した音量を none-20kHz, none-22kHz, としてそれぞれ示す。図 2 のように頻度分布が重なっていない場合は、しきい値 τ_* を式 (2) で求め、図 3 のように頻度分布が重なっている場合は、しきい値 τ_* を式 (3) で求める。

本稿では、端末間距離を 1m, 2m, 3m と変化させて周波数 20kHz, 21kHz, 22kHz ごとにしきい値 τ_* をそれぞれ 10 回求め、しきい値 τ_p を求めた。

上記の手順で求めたしきい値 τ_p を表 3, 4 に示す。以後、超音波受信検知手法であるピーク検知のしきい値に表 3, 4 の値を用いる。

表 3: iPhone12 のピーク検知のしきい値

距離 [m]	周波数 [kHz]		
	20	21	22
1	-80.4	-103.0	-108.6
2	-92.1	-104.1	-119.3
3	-94.5	-106.3	-119.5

表 4: iPhone12mini のピーク検知のしきい値

距離 [m]	周波数 [kHz]		
	20	21	22
1	-82.5	-95.6	-118.1
2	-100.0	-111.1	-126.3
3	-97.6	-107.2	-126.6

4.3 超音波を用いた壁越しの誤検知防止手法の有効性評価

4.3.1 評価指標

端末検知精度について、検知率を算出して評価する。超音波の検知率は送信元端末から送信された情報を、受信端末が受信した割合によって算出できる。 n 回の計測において、それぞれ送受信端末間で m 回の送受信を試みたとする。その際に受信側端末で受信に成功した回数を \hat{m} とすれば、検知率 R は式 (5) となる。

$$R = \frac{\sum_{i=0}^{n-1} \hat{m}_i}{\sum_{i=0}^{n-1} m_i} \quad (5)$$

ここで、壁越しの検知を行う場合、 $R=0$ が真値となるため、式 (5) の値を誤検知率として扱う。また、BLE の誤検知率の算出にあたって同様の式を用いる。

4.3.2 実験環境

BLE を用いた壁越しの端末検知防止実験、超音波を用いた壁越しの端末検知防止実験、超音波を用いた把持方法別の端末検知実験で共通する環境パラメータを表 5 に示す。

4.3.3 BLE を用いた壁越しの端末検知防止実験

提案手法の必要性を示すため、まずは接触通知フレームワークと同様に BLE を用いると壁越しの端末を誤検知

表 5: 共通環境パラメータ

環境	パラメータ
使用端末	iPhone12, iPhone12mini
向き	背面を向き合わせる
受信回数 m [回]	1000
計測回数 n [回]	10

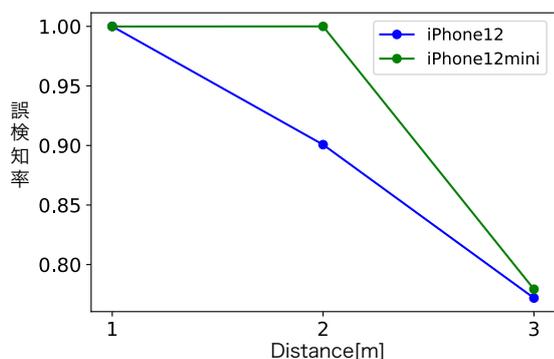


図 4: BLE を用いたコンクリート壁越しの誤検知率

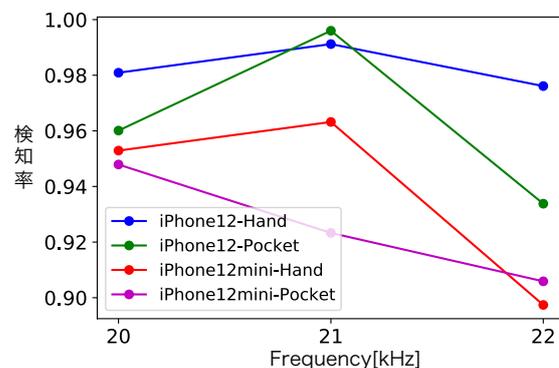


図 5: 把持方法と周波数による検知率

表 6: iPhone12 がガラス壁越しで受信する平均音量

距離 [m]	周波数 [kHz]		
	20	21	22
1	-97.1	-114.2	-136.5
2	-100.3	-112.6	-138.0
3	-97.5	-115.2	-138.3

してしまうことを検証した。端末を三脚に設置し、端末間距離を1m, 2m, 3mと遠ざけていき、ガラス壁(4mm)とコンクリート壁(50cm)でBLEの送受信を行い、誤検知率を算出した。実験結果を図4に示す。図4は、横軸を距離[m], 縦軸を誤検知率としてコンクリート壁でのiPhone12, iPhone12miniの誤検知率を示したものである。コンクリート壁で隔たれている場合には1mだと壁で隔たれていても必ず誤検知してしまうことがわかる。3mでも誤検知率が約75%であり、高い確率で誤検知してしまうことがわかる。また、ガラス壁で隔たれている場合には3mであっても誤検知率は100%であることがわかった。

4.3.4 超音波を用いた壁越しの端末検知防止実験

提案手法で使用する超音波の誤検知率を検証した。端末に三脚を設置し、端末間距離を1m, 2m, 3mと遠ざけていき、周波数を20kHz, 21kHz, 22kHzと変化させてガラス壁(4mm)で超音波の送受信を行い、誤検知率を算出した。ガラス壁越しでiPhone12が20kHzを3mで受信する場合のみ誤検知率が約25%であり、他の条件ではすべて誤検知率が0%であった。21kHzと22kHzを用いることで壁越しで誤検知しなくなることがわかった。

4.3.5 超音波を用いた把持方法別の端末検知実験

これまでの実験では、三脚を用いてスマートフォンの把持方向を固定して実験を行った。しかし、接触通知フレームワークを利用する現実的な環境では、手やポケットに入れるなど様々な端末の把持方法が存在する。そこで、ここでは手で把持した場合やポケットに入れて把持した

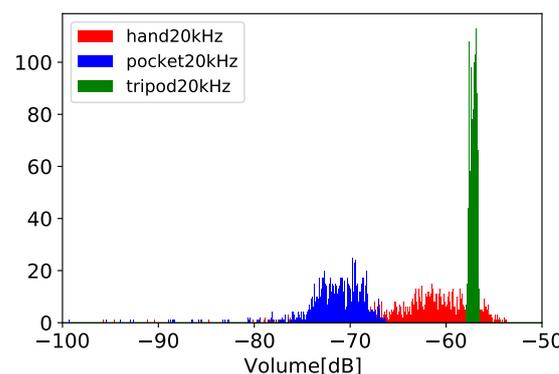


図 6: 把持方法別による音量の分布

場合の超音波検知精度への影響について評価を行った。

端末間距離を1mに固定し、超音波受信端末は三脚に設置し、超音波送信端末を手やポケットに入れる。周波数を20kHz, 21kHz, 22kHzと変化させて超音波の送受信を行い、検知率を算出した。実験結果を図5に示す。図5は、横軸を周波数[kHz], 縦軸を検知率として、iPhone12とiPhone12miniを手で把持した場合とポケットに入れて把持した場合の検知率を示したものである。図5から、すべての把持方法と周波数において、約90%以上検知可能であることがわかる。また、22kHzは20kHz, 21kHzと比較して検知精度が低下することがわかる。

5 議論

5.1 ガラス壁越しでの誤検知率

BLEによるガラス壁越しでの誤検知率は100%であったのに対して、超音波によるガラス壁越しでの誤検知率は1mでも誤検知率が0%になり、BLEと比べ超音波を用いた壁越しの誤検知防止手法は壁越しの端末の誤検知防止に有効であると示すと言える。距離が遠くなるほど誤検知率が低くなると仮説を立てていたが、iPhone12が20kHzを3mで受信したときの誤検知率が約25%になった。表6を見ると壁越しで受信する超音波の音量は1~3mの範囲では距離が変化しても変わらないことがわかる。こ

れは、壁で遮音されることで限りなく音量が小さくなり、1m（壁越しの距離は0.5m~1.5m）では変化しなかったためであると考え。超音波のピーク検知のしきい値は距離が遠くなるほど小さくなるため、距離が遠い3mのみ誤検知率が約25%になったと考える。BLEではコンクリート壁についても誤検知率を検証しているが、超音波によるコンクリート壁越しの誤検知率は検証していない。これは、ガラス壁より透過損失が大きいコンクリート壁は、式(1)より、明らかに誤検知率が0%になるという仮説が立てられたためである。

5.2 超音波を用いた把持方法別の端末検知精度

図5より、22kHzは20kHz、21kHzと比較して検知精度が低下することがわかった。これは、周波数が高くなるほど、音量が小さくなるのが原因であると考え。手による把持を行った場合よりポケットに端末を入れた場合は、端末を障害物が覆う面積が大きくなる。このため、端末が出力する音量への影響が大きく、受信時に音量が小さくなり、検知率が低下したと考えられる。

また、図6を見ると、測定値の分散は三脚に端末を固定した場合に小さく、手やポケットへ把持した場合に大きくなっている。これは、身体のマルチパスや端末把持に際して生じる揺れなどが影響していると考えられる。一方、端末の把持方法が手やポケットの場合、検知率が低下するものの、本実験では90%以上の検知率を確認することができた。また、超音波による接触確認は、短時間に複数の超音波送信および受信を行うことも可能であるため、接触判定を行う際には複数回受信結果の多数決などで検知を行う仕組みとすることで、検知の信頼性をさらに向上させることが可能であると考え。

6 おわりに

本稿では、超音波を用いた接触検知手法を提案し、超音波による壁越しの端末誤検知防止実験および評価を行った。BLEを用いた場合に壁越しの端末の誤検知率が100%となる環境において、超音波を用いる提案手法を適用することで誤検知率を0%とすることが可能であることを示した。また、端末を手やポケットに入れて保持する現実的な利用状況においても検知率を約90%以上とできることを示した。

端末を手やポケットに入れて把持した場合にも約90%以上と高い検知率であり、接触通知フレームワークが利用される場面でも超音波を用いた提案手法を利用可能であることを示した。また、本稿では、端末の向きを固定し、騒音がない環境で実験を行っていた。端末の角度を水平にした場合や駅や人混みなどの騒音が存在する環境についても実験を行うことでより現実的な使用環境を想定した結果が得られると考える。また、実験端末として、

iPhone12, iPhone12miniを使用したが、多く用いられている他の端末でも実験を行う必要があると考える。

今後の課題として、超音波を利用した場合に端末で消費される電力は、BLEのみを利用する接触通知フレームワークよりも大きくなると予想されるため、超音波を利用した場合の消費電力を調査し検討する必要がある。接触通知フレームワークを利用する大規模システムのスケラビリティを検証するために、より多くの端末の種類や台数で提案手法の検証する必要がある。

参考文献

- [1] Google. 濃厚接触の可能性の通知: COVID-19 との闘いを支援. <https://www.google.com/covid19/exposurenotifications/>. Accessed:2021/12/16.
- [2] Bernhard Eitzlinger, et al. Distance Estimation for BLE-based Contact Tracing – A Measurement Study. In *2021 Wireless Days (WD)*, pp. 1–5. IEEE, 2021.
- [3] Douglas J Leith and Stephen Farrell. Measurement-based evaluation of Google/Apple Exposure Notification API for proximity detection in a light-rail tram. *PLOS ONE*, Vol. 15, No. 9, p. e0239943, 2020.
- [4] GAO@100. Exposure Notification: Benefits and Challenges of Smartphone Applications to Augment Contact Tracing. <https://www.gao.gov/products/gao-21-104622>. Accessed:2021/12/16.
- [5] John Meklenburg, et al. SonicPACT: An Ultrasonic Ranging Method for the Private Automated Contact Tracing (PACT) protocol. *CoRR*, Vol. abs/2012.04770, , 2020.
- [6] Gernot Bahle, et al. Using Privacy Respecting Sound Analysis to Improve Bluetooth Based Proximity Detection for COVID-19 Exposure Tracing and Social Distancing. *Sensors*, Vol. 21, No. 16, p. 5604, 2021.
- [7] Adarsh Jagan Sathyamoorthy, et al. COVID-robot: Monitoring social distancing constraints in crowded scenarios. *PLOS ONE*, Vol. 16, p. e0259713, 2020.
- [8] Abdallah Naser, et al. A Novel Privacy-Preserving Approach for Physical Distancing Measurement Using Thermal Sensor Array. In *The 14th Pervasive Technologies Related to Assistive Environments Conference*, pp. 81–85, 2021.

- [9] Fan Yi, et al. Cellular-Assisted COVID-19 Contact Tracing. In *Proceedings of the 2nd Workshop on Deep Learning for Wellbeing Applications Leveraging Mobile Devices and Edge Computing*, pp. 1–6, 2021.
- [10] Bo Zhao, et al. An Optimization Method Combining RSSI and PDR data to Estimate Distance Between Smart Devices. *TechRxiv*, 2020.
- [11] 中川清. 建築用の遮音構造・材料と遮音特性. 成形加工, Vol. 26, No. 2, pp. 65–69, 2014.
- [12] Google API for Exposure Notifications. Exposure Notifications BLE calibration calculation. <https://developers.google.com/android/exposure-notifications/ble-attenuation-computation>. Accessed:2021/12/21.
- [13] Google API for Exposure Notifications. Exposure Notifications BLE attenuations. <https://developers.google.com/android/exposure-notifications/ble-attenuation-overview>. Accessed:2021/12/28.
- [14] Digital Agency. COCOA - COVID-19 Contact-Confirming Application. <https://github.com/cocoa-mhlw/cocoa>. Accessed:2021/12/28.