

令和 5 年 5 月 19 日現在

機関番号：10101

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2020～2022

課題番号：20K23313

研究課題名（和文）既設同報スピーカを活用した低コストなスマートフォンの音響測位手法

研究課題名（英文）Low-cost acoustic indoor positioning method for smartphones using installed speakers

研究代表者

中村 将成（Nakamura, Masanari）

北海道大学・情報科学研究院・助教

研究者番号：80878306

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,200,000円

研究成果の概要（和文）：スピーカの周波数特性が放射方向毎で非対称に異なるという知見を発掘し、このことを用いて単一のスピーカでモノラルマイクロフォンを測位する技術を提案した。具体的には、周波数特性から方位角・仰角を推定し、受信振幅の減衰率から距離を推定することで、モノラルマイクロフォンの3次元位置を推定する。実環境における複数地点での測位実験により、計測の90%が誤差0.48m以下となる測位が可能であることを確認した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究により、放送用のボックススピーカが放射方向毎で非対称かつ特有な周波数特性を持つことが明らかとなった。これは、従来困難と考えられていた単一のスピーカによるモノラルマイクロフォンの測位を可能とする重要な発見であるといえる。またこれにより、音声放送を目的として屋内環境へ設置されているスピーカでモノラルマイクロフォンの測位が可能となることから、音響信号を用いた屋内測位技術の普及につながるものと考えている。

研究成果の概要（英文）：We proposed a 3D localization method using a single speaker and a single microphone. Our proposed method estimates the direction of the microphone based on the knowledge that the spectral amplitude of a speaker in each direction is different. The distance between the speaker and microphone is estimated based on the received amplitude value. The 3D location of the microphone is calculated from the estimated azimuth, elevation, and distance values. We conducted real-environment experiments at multiple locations and confirmed that the 90-percentile localization error was 0.48 m.

研究分野：測位

キーワード：屋内測位 音響測位 識別 非可聴音

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

1. 研究開始当初の背景

近年のスマートフォンやタブレット、スマートグラス等のポータブルデバイスの普及に伴い、位置情報を用いた様々なサービスが展開されている。屋外においては global navigation satellite system (GNSS) による高精度な測位が可能である。一方で、屋内での GNSS の測位には、壁や天井による電波の遮蔽による大きな誤差が生じる。そのため、モバイルデバイスの内蔵センサを利用した様々な測位手法が研究されている。

高精度な測位結果が得られる手法として、音響信号を用いた手法が提案されている。屋内に設置した複数のスピーカの音響信号をマイクロフォンで受信し、これらの到来時間差からマイクロフォンの位置を推定できる。マイクロフォンは、通話や音声認識を目的として、数多くのポータブルデバイスやイヤホン等に内蔵されており、これらの既存デバイスを使用できる点が音響測位の利点といえる。しかし、従来の音波測位では屋内環境への複数のスピーカ設置が必要であり、相応の作業時間や費用を要するという課題がある。

2. 研究の目的

本研究では、非常用の案内放送などを目的として屋内に設置されている、既設のスピーカを用いたマイクロフォンの測位技術の構築を目的とする。このようなスピーカの設置位置は、音声での案内放送を目的として設計されており、屋内環境に少数かつ疎に設置されている。そのため、複数のスピーカを用いた従来の音響測位手法は適用できない。そこで本研究では、1 台のスピーカのみを用いてマイクロフォンの位置を推定する手法を構築し、その性能評価を行う。

3. 研究の方法

(a) スピーカ特性の調査

屋内の放送設備の一部として使用されている市販スピーカの特性調査を行った。具体的には、複数の放射方向での周波数特性を計測した。実験環境を図 1 に示す。計測の結果、方向毎に周波数特性が大きく変化することがわかった。特に、従来では大きな差異が生じないと考えられていたスピーカ中心軸に対して対称な 2 方向についても、大きな差異が生じていることがわかった。計測結果の一例を図 2 に示す。

(b) 単一のスピーカを用いたモノラルマイクロフォン測位手法

上記の計測から得られたスピーカの特性に関する知見を利用して、単一のスピーカによるモノラルマイクロフォンの 3 次元測位手法を構築する。

送信信号について、屋内での計測では直接波に加え、残響が重畳して受信される。残響の主な発生源は天井や床、壁でありこれらは直接波よりも遅延してマイクロフォンに到来する。したがって、信号長を十分短く設定すれば、残響の影響を低減できる。よって提案手法

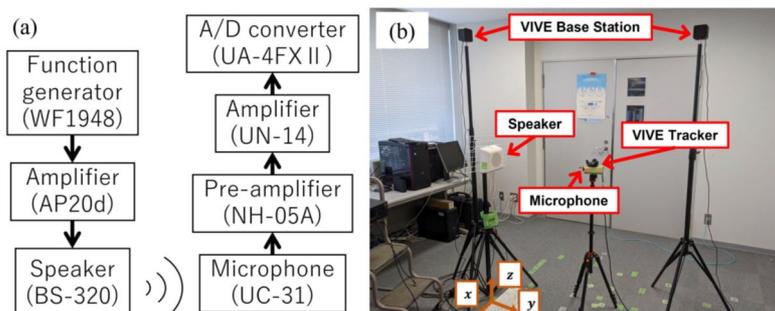


図 1 実験環境

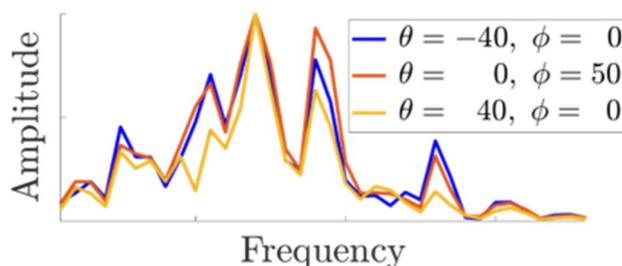


図 2 方向毎の周波数特性

では，スピーカから帯域の異なる短いチャープ信号を逐次的に送信する（図 3）． $m(m=1,2,\dots,M)$ 番目に送信されるチャープ信号は次のように表される．

$$s_m(t) = \begin{cases} \sin\left(2\pi\left(f_m t + \frac{\Delta f}{2T} t^2\right)\right) & 0 \leq t \leq T \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

受信側ではこれらのチャープ信号を検出して切り出し，振幅スペクトルを算出する．

提案方式では，スピーカとマイクロフォン間の距離を一定にしたうえで，複数の方向で事前の計測を行う．計測したデータから各方向での振幅スペクトルと振幅を算出する．さらに，計測していない方向についても補間により振幅スペクトルと振幅を算出し，これらを参照データベースとする．測位時には，計測した振幅スペクトルと振幅を参照データベースに照合することで，スピーカからみたマイクロフォンの方向を推定する．距離については，基準距離と比較した減衰率から推定する．

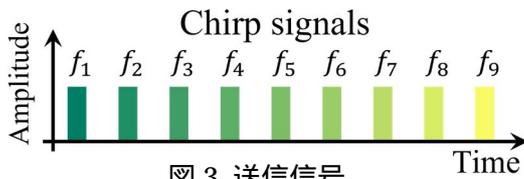


図 3 送信信号

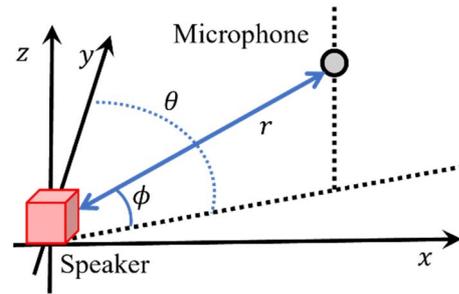


図 4 直交座標上での 3 次元位置計算

上記で得られた方向（方位角・仰角）と距離から，直交座標でのマイクロフォンの位置を求める（図 4）．

$$\begin{aligned} x &= r \cos \phi \sin \theta \\ y &= r \cos \phi \cos \theta \\ z &= r \sin \phi \end{aligned}$$

4. 研究成果

(a) 提案手法の性能評価

評価実験は図 1 の環境で行った．参照データベース構築のための計測は距離が 1.0m となる距離で，方位角方向についてはスピーカからみて -40 度から 40 度までの 10 度刻み，仰角方向については 0 度から 50 度までの 10 度刻みの位置で計測した（図 5）．計測位置の合計は $9 \times 6 = 54$ 点である．方位角・仰角における補間処理は 1 度刻みで行った．したがって方位角は 81 点，仰角は 51 点となる．測位性能評価のための実験は，図 6 に示す 9 か所で行った．位置毎の計測回数は 100 回とした．

実験環境でのスピーカの位置を図 7 に示す．各計測位置での，直接波の受信時刻と天井，床，壁での反射波の受信時刻の差を計算すると，その値が最小となるのは方位角 0 度，仰角 0 度で計測した場合に床で反射した時であり，その値は 1.2361 m となった．よって信号長は 3 ms に設定した

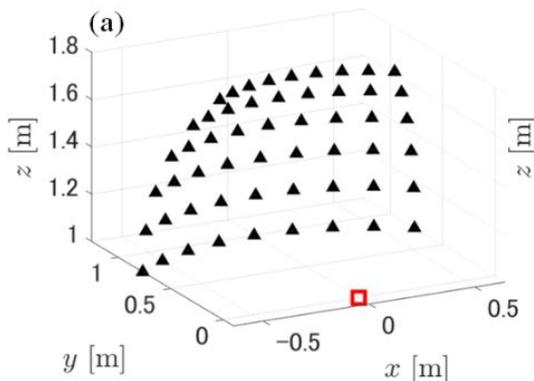


図 5 データベース構築時の計測点

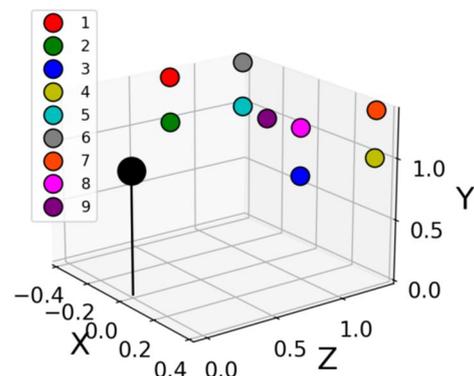


図 6 評価位置

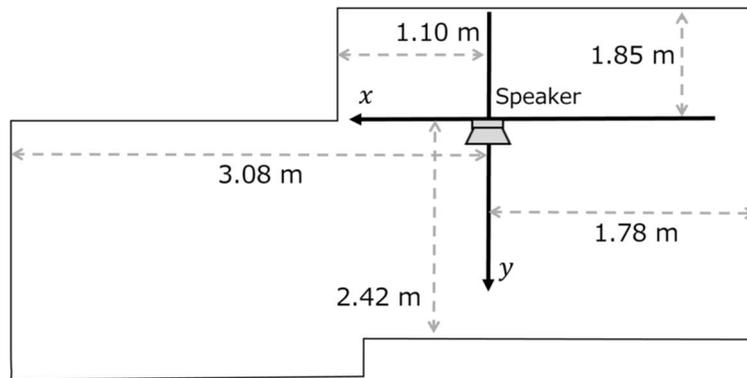


図 7 計測環境におけるスピーカ配置

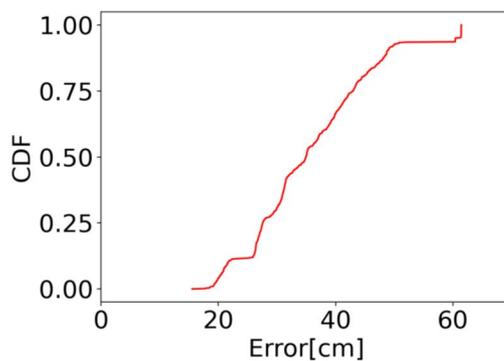


図 8 全計測点での CDF

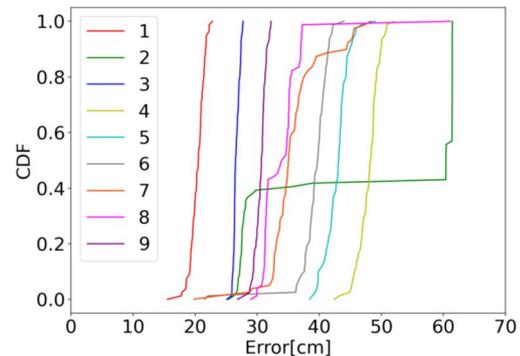


図 9 各計測点での CDF

(b) 評価結果

計測点全体での誤差全ての CDF を図 8 に示す．計測点全体での誤差は 90 パーセントで 0.48m となった．

計測点毎の CDF を図 9 に示す．2 番の計測点では，他の計測点とは異なり，約 40 パーセント以上において誤差約 60cm 以上となっている．この結果について解析したところ，方位角で 20 度以下の誤差が生じることがわかった．また，2 番の仰角やそのほかの位置の方位角・仰角の推定結果においては，誤差がおおむね 10 度以内であった．

評価実験における参照データベース構築では，計測点を 10 度刻みとした．よって，2 番の方位角推定以外においては，推定結果が真値から最も近い計測点の近傍になっているといえる．測位性能の評価に用いた計測位置は，参照データベース構築時の計測位置と異なっているため，参照データベース内での最近傍位置のスペクトル振幅は，補間によって生成されたものとなる．このことから，2 番の計測位置における方位角推定の誤差は，補間における誤差に起因するであり，計測間隔を狭めることで低減できるものと考えられる．ただしこの場合計測点が増えるため，事前の作業コストが増加する．よって，参照データベース構築時の計測位置について，必要に応じた適応的な計測間隔を設定することで，参照データベース構築の作業コストを抑えつつ，測位性能を改善することを今後の課題としたい．

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 3件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Nakamura Masanari, Hashizume Hiromichi, Sugimoto Masanori	4. 巻 22
2. 論文標題 Simultaneous Localization and Communication Method Using Short-Time and Narrow-Band Dual-Carrier Acoustic Signals	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 IEEE Sensors Journal	6. 最初と最後の頁 5163 ~ 5172
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/JSEN.2021.3107849	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Nakamura Masanari, Hashizume Hiromichi, Sugimoto Masanori	4. 巻 22
2. 論文標題 Short-Time Spot Communication Using COTS Stereo Speaker	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 IEEE Sensors Journal	6. 最初と最後の頁 5001 ~ 5010
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/JSEN.2021.3074979	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 中村 将成、藤本 拳士、村上 弘晃、橋爪 宏達、杉本 雅則	4. 巻 63
2. 論文標題 単一のスピーカを用いたモノラルマイクロフォンの屋内測位手法	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 情報処理学会論文誌	6. 最初と最後の頁 1298 ~ 1308
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.20729/00218420	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計3件（うち招待講演 0件/うち国際学会 3件）

1. 発表者名 Masanari Nakamura, Shoma Yamasaki, Hiromichi Hashizume, Masanori Sugimoto
2. 発表標題 Short-Time and Adaptive Controllable Spot Communication Using COTS Speaker
3. 学会等名 2021 International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation (IPIN) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Masanari Nakamura, Kento Fujimoto, Hiroaki Murakami, Hiromichi Hashizume, Masanori Sugimoto
2. 発表標題 Indoor Localization Method For a Microphone Using a Single Speaker
3. 学会等名 2021 International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation (IPIN) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Masanari Nakamura, Hiromichi Hashizume, Masanori Sugimoto
2. 発表標題 Simultaneous Localization and Communication Methods Using Short-time and Narrow-band Acoustic Signals
3. 学会等名 SENSORDEVICES 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関