

複数のステレオスピーカを用いた マイクロフォンの屋内測位・追尾方式

中村 将成[†] 亀田 洋志[†]

三菱電機株式会社 情報技術総合研究所[†]

1. はじめに

近年、スマートフォン等のモバイルデバイスの普及に伴い、デバイスを介した人の測位方式が広く研究されている。屋内で高精度に測位を行う場合、GPS (Global Positioning System) の電波の受信が難しいため、他のモバイルデバイス内蔵センサを用いた測位方式が注目されている。

屋内に設置した複数のスピーカを用いたモバイルデバイスの測位方式[1]では高い精度が得られるが、複数の同期したチャンネルをもつ再生機を必要とする。この代わりに複数の非同期な汎用ステレオスピーカを用いても測位は可能だが、モバイルデバイスが移動した場合にバイアス誤差が生じるという課題がある。この課題に対し我々は、過去の推定位置に基づいて算出した予測位置を用いることでバイアス誤差を低減する方式を提案している[2]。本稿では [2]記載の測位システムにおける音響信号処理方式について述べる。また、実環境での計測において上記のバイアス誤差を低減できることを示す。

2. 音響信号処理方式

2.1 送信側の処理

本節では、各ユニットから送信する信号の変調方式について述べ、次にユニット毎の信号の送信タイミングについて説明する。

提案手法では、測位用とユニット識別用の 2 種類の信号を送信する。測位用の信号として、次のように周波数変調を施したチャープ信号を用いる。

$$\sin(2\pi(f_0 t + \frac{\alpha}{2} t^2)) \quad 0 \leq t \leq T_c$$

ここで、 $\alpha = (f_1 - f_0)/T_c$ である。各ユニットのスピーカ L・R 間の干渉を抑えるために、スピーカ L では $f_0 = 15 \text{ kHz}$, $f_1 = 17 \text{ kHz}$, スピーカ R では $f_0 = 19 \text{ kHz}$, $f_1 = 21 \text{ kHz}$ に設定したチャープ信号を用いる。信号長 T_c について、測位対象の移動によるドップラ効果の影響を低減するためには短い方が好ましく、 $T_c = 10 \text{ ms}$ とする。

ユニット識別用の信号として、以下の周波数偏移変調を施した正弦波を用いる。

$$\sin(2\pi f_i t) \quad 0 \leq t \leq T_f$$

ユニット A では $f_i = 22 \text{ kHz}$, ユニット B では $f_i = 22.5 \text{ kHz}$ とし、信号長 T_f は 4 ms とした。

ユニット毎の送信タイミングについて述べる。複数のユニットの信号が同時に受信された場合、信号が互いに干渉し、受信時刻とユニット識別の精度が劣化する。これを避けるため、図 1 のように各ユニットから時分割で信号を送信する。ここで、屋内での十分な残響減衰に要する時間を考慮し、各信号の送信間隔を 100 ms とした。

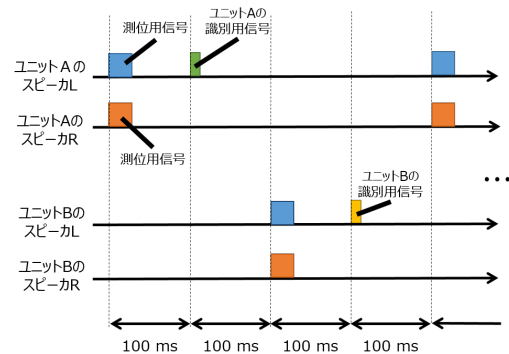


図 1 ユニット毎の送信タイミング

2.2 受信側の処理

マイクロフォンで受信した信号に対し、スピーカ R・L の測位用信号をレプリカとしたマッチドフィルタをかける。これらの出力に対し、マルチパス成分を抑圧するために片側の CA-CFAR (Cell Averaging Constant False Alarm Rate) をかける。この処理での参照セル、ガードセルの長さはそれぞれ 5 ms , 0.5 ms とした。

上記の CA-CFAR の出力結果のうち、閾値を上回っており、かつ上に凸となっている時刻を抽出する。このとき、マルチパス等が原因で、1 回の信号送信に対し複数の時刻が抽出される場合があり、これらを 1 つに絞り込むために、抽出された時刻を測位用信号の送信間隔に基づいてクラスタリングし、各クラスにおいて最大の CA-CFAR 出力値をもつ時刻を受信時刻とする。

上記で抽出したスピーカ R・L のそれぞれの受信時刻に対し、その差が閾値以下となる組を列挙し、受信時刻差を計算する。また、各受信時

Indoor Localization and Tracking Using Multiple Stereo Speakers for Microphone
Masanari Nakamura[†], Hiroshi Kameda[†]
[†] Mitsubishi Electric Corporation Information Technology R&D Center

刻差について、その 100ms 後の受信信号に対してユニット毎の識別用信号をレプリカとしたマッチドフィルタをかけ、その出力が最大となったユニットを送信元とする。

3. 性能評価

3.1 評価条件

計測は幅 4 m, 奥行き 8 m の会議室にて行った。スピーカ・マイクロフォンの位置関係を図 2 に示す。送信側の装置として、スピーカと増幅器には Fostex 製の PT20K と AP20d を、送信機には、ルートアール製 RA-AUD51 を用いた。受信側の装置として、マイクロフォンと増幅器には Audio-Technica 製の AT9904 と AT-MA2 を、受信機には CREATIVE 製の SB-DM-PHDR2 を用いた。計測はマイクロフォンをスピーカに向けて保持した状態で、図 2 の $(x, y) = (-1.5, 3.0)$ の地点から $(x, y) = (1.5, 3.0)$ の地点まで移動しながら行った。この計測を計 5 回実施した。

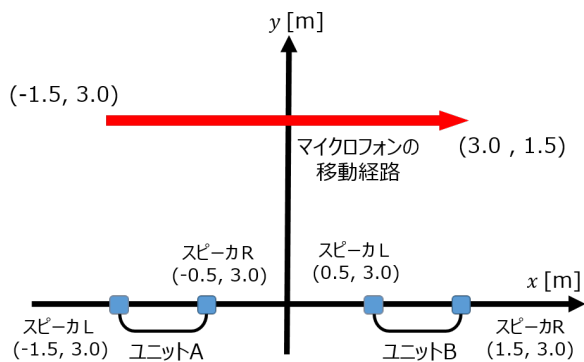


図 2 配置図

従来方式での測位は [2] と同様に実施した。提案方式における非同期追尾は [2] と同様に実装し、観測雑音、駆動雑音、粒子数はそれぞれ 4.16×10^{-5} sec, 0.5 m/sec, 30000 個とした。初期状態 ($k = 1$) での粒子 $[x_k^j \ y_k^j \ \dot{x}_k^j \ \dot{y}_k^j]^T$ を生成する一様乱数の範囲はそれぞれ $[-2, 2]$, $[0, 4]$, $[-1.5, 1.5]$, $[-1.5, 1.5]$ とした。また、マイクロフォン・スピーカの高さはそれぞれ 0.87 m, 1.5 m であり、これらを既知としてマイクロフォンの二次元位置を推定した。従来方式・提案方式の誤差の評価においては、図 2 の $(x, y) = (-1.5, 3.0)$ と $(x, y) = (1.5, 3.0)$ を結ぶ線分を、観測した受信時刻差の回数で等分した位置を真値とした。

3.2 評価結果

5 回の計測結果の誤差の CDF (Cumulative Distribution Function) を図 3 に示す。90 パーセント点において従来方式では誤差が 0.65 m であるのに対し、提案方式では 0.45 m となってお

り、約 0.2 m の改善が見られる。

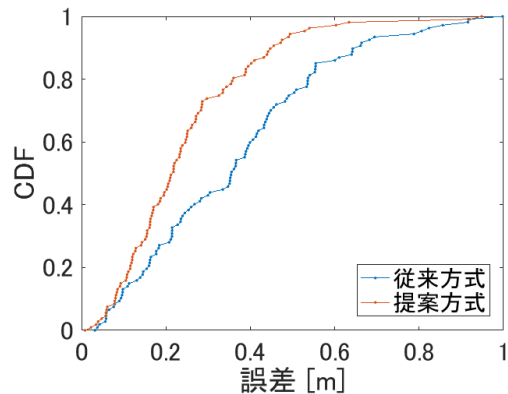


図 3 誤差の CDF

測位結果の一例を図 4 に示す。提案方式により、従来方式で生じているバイアス誤差を抑圧できていることがわかる。図 4 において、計測開始付近 ($x = -1.5$ m) において大きい誤差が見られるが、この誤差は文献 [2] のシミュレーション結果にも見られることから、非同期追尾における過渡応答であると考えられる。

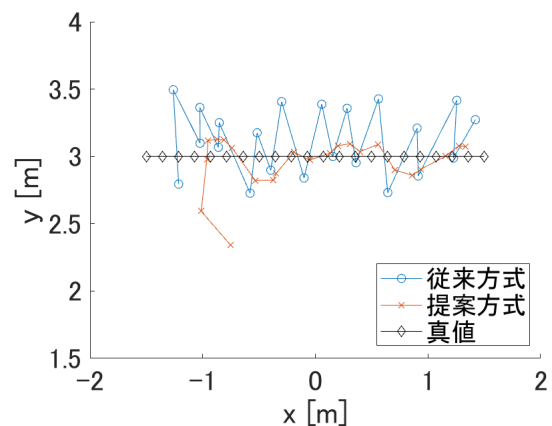


図 4 測位結果の一例

4. おわりに

本稿では、文献 [2] で提案した複数の汎用ステレオスピーカを用いた測位システムにおける音響信号処理方式について述べ、実環境での性能評価を行い、従来方式で生じるバイアス誤差を低減できることを示した。今後はより広域なエリアでの性能を行う予定である。

参考文献

- [1] P. Lazik and A. Rowe, "Indoor Pseudo-ranging of Mobile Devices Using Ultrasonic Chirps," *Proc. SenSys 2012*, pp. 99-112 (2012).
- [2] 中村将成, 亀田洋志, "複数の汎用ステレオプレーイヤーを用いたモバイルデバイスの屋内測位方式", 情報処理学会ユビキタスコンピューティングシステム第 62 回研究会 (2019).