

監視ロボットにより構成される 無線アドホックネットワークを用いた音源定位

森木 正人 大坐島 智 川島 幸之助
東京農工大学

1 はじめに

近年アドホックネットワークに対する注目が高まっており、無線LANを備えたロボットを用いた監視ネットワークなどでの利用が考えられている。このようなロボットは、周辺環境をカメラやマイクなどの各種センサにより監視を行い、異常を検知した場合には状況に応じた行動を起こすことを期待されている。

ロボットに搭載される各種センサは日々発展を続けているが、カメラなどの指向性を持つセンサでは監視範囲に限界があり、これを数で補おうとすると高価なシステムになってしまう。そこで、無指向性のマイクロフォンを用いて音波情報を解析することで、音源位置を推定する音源定位が有効となる。本来音源定位を行う際、分解能を向上させるためにマイクロフォンアレイのように、機器を大規模化する必要がある。しかし実際は、物理的な制限やコスト面からこれは望ましくない。そこで、離れた位置に存在する複数のロボットに1つのマイクロフォンを装着し、音の検知時間を無線ネットワークにより交換することで、音源を定位できるか検証する。

2 音源定位

2.1 方向推定

音源方向を推定するために、図1で示すような音波の到達時間差を用いる[1]。角度 θ 方向から到達した音波は、マイクロフォン m_1 によって受信される。次に音波は図に示すように $d \sin \theta$ の距離だけ進み、 m_1 での音波受信から時間 t 経過後にマイクロフォン m_2 に到達する。ここで、マイクロフォン m_1 と m_2 の距離を d 、音速を c とした場合次の式から θ を求めることができる。角度 θ はマイクロフオンの中間である m' からの角度と考える。

$$ct = d \sin \theta \quad \text{よって} \quad \theta = \arcsin\left(\frac{ct}{d}\right)$$

ここで留意すべきは、求めた方向ベクトル $\vec{\alpha}$ に対するミラーイメージである $\vec{\alpha}'$ も同時に推定してしまう点である。3つ以上のマイクロフォンで音波検知を行うことにより、正しい方向を推定する。

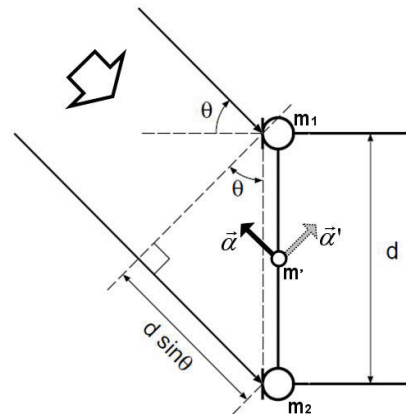


図1 方向推定

2.2 位置推定

3つ以上のマイクロフォンで音波情報を収集することで、前項の方向推定で得た複数の方向ベクトルが交差する。この交差点を元に音源の位置として推定する。

ベクトルの交差点には、音源方向とは反対方向で交差するものなどがある。また、音源方向にあるものでも、すべてを対象とすると推定範囲が大きくなりすぎてしまう。そこで絞込みの為、以下の処理を行う。

- ① ロボットに囲まれたエリア内かを判断
- ② 音源方向以外での交差点を除外
- ③ 残った交差点の重心に近い5点を選択

この処理によって選んだ5点を含む円形のエリアを、推定する音源位置とした。

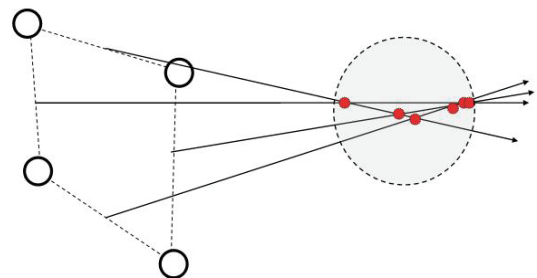


図2 位置推定

2.3 無線通信による音源定位

無線LANを搭載したホストPCとER1ロボットキット[2]3台にそれぞれマイクロフォン1本を装着し実験を行う。これら4台に装着されたマイクロフォンは個々のシステム時間を持つことになるため、各端末間でシステム時間を同期させる必要がある。

時刻同期を行うにあたり、ホストPCをサーバとし、ロボットをクライアントとする形で親子関係を構築する。時刻同期を行うために、NTPを用いる場合と、コンピュータの持つクロックの誤差を学習するclockspeed[3]を用いる場合を作った。ホストPCと直接通信を行えないロボットは、その間をアドホック通信で中継するロボットを設置することで、離れた位置での時刻同期を行った。

3 実験

3.1 実験の概要

図3に示すような室内環境で音の計測を行う。それぞれの音源位置から10回ずつ音を発生させ、音源定位によって推定した位置が実際の音源位置とどの程度ずれているかを計算する。時刻同期の方法としてNTPを用いた場合と、clockspeedを用いた場合に分けて実験を行った。また、ロボットBが時刻同期のクライアント兼サーバの役割を行うことで、ロボットCの時刻同期を行う際と、ロボットCがロボットBを中継してホストPCとの時刻同期を行う場合についても実験を行った。

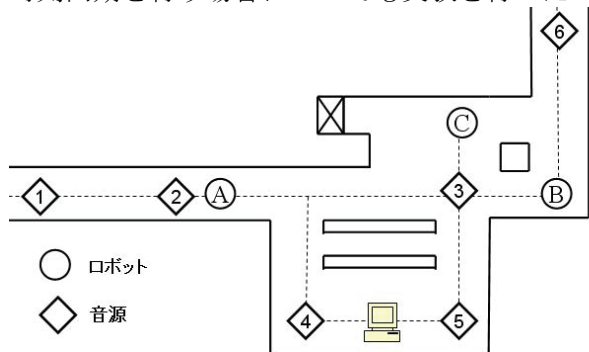


図3 実験環境

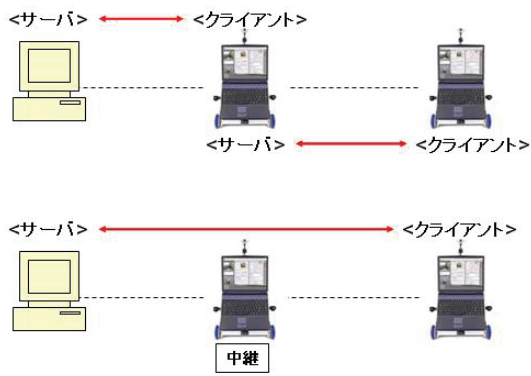


図4 時刻同期

3.2 実験結果

図5にシングルホップで時刻同期を行っている場合を示し、図6にロボットBを中継してロボットCホストPCとマルチホップで時刻同期を行っている場合を示す。

結果から、音源位置2から5までのようにマイクロフォンと音源までの位置が近いときほど、精度が良いことが分かる。また、マルチホップ通信で時刻同期を行うと、clockspeedを用いた場合に比べNTPでの結果のばらつきが大きいことが分かる。これは、NTPによる数msの誤差が蓄積されることが影響したためであり、一方のclockspeedではロボットBでの時刻誤差が少ないために、誤差の蓄積も少なかったと考えられる。

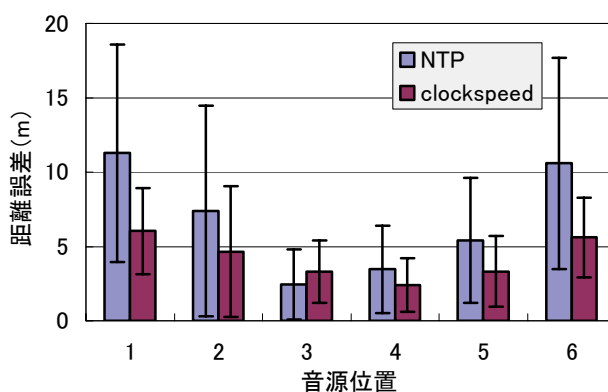


図5 シングルホップ通信

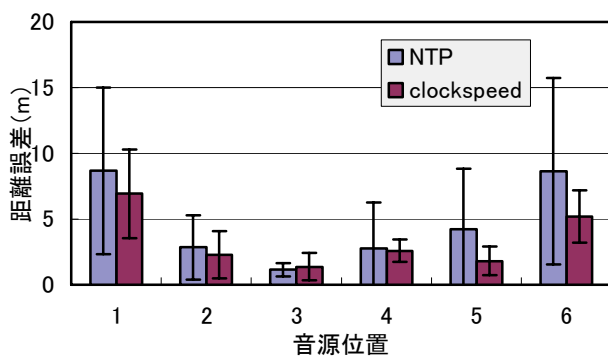


図6 マルチホップ通信（アドホック）

4 おわりに

本稿では、離れた位置に存在する複数のロボットが、音波の検知時間を無線アドホックネットワークにより交換することで行う音源定位の有効性を検証した。

参考文献

- [1] J Murray, H Erwin, S Wermter, “Robotic Sound-Source Localization and Tracking Using Interaural Time Difference and Cross-Correlation” AI Workshop on NeuroBotics, 2004.
- [2] 米国 EvolutionRobotics, <http://www.evolution.com/>.
- [3] clockspeed <http://cr.yo.to/clockspeed.html/>.