

無線ロボットネットワークを用いた音源定位

森木 正人[†] 大坐 晶 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る監視ネットワークなどでの利用が考えられている。このような監視ネットワークでロボットは周囲の映像や音から異常を検知し、状況に応じた行動を起こすことを期待される[1]。

ロボットが異常な音を検知し、映像から異常が見つけれられないような場合、ロボットは検知した音だけを頼りに音源位置を特定しなければならない。音だけで正確な音源位置を特定することは困難であるが、音源の方向を推定することは比較的容易である。本稿では、離れた位置に存在する複数のロボットが、音の検知時間を無線ネットワークを用いてやり取りし、音源が定位できるか検証する。

2 音源方向の特定

2.1 音源定位

音源定位とは複数のマイクロフォンに到着した音の時間差をもとに音源位置を推定する方法であり、図1に示す。 θ 方向から到達した音波は、まずマイクロフォン m_2 によって受信される。次に音波は図に示すとおり $d \sin \theta$ だけ進行してマイクロフォン m_1 に到達する。従って、マイクロフォン m_1 での受信信号は、 m_2 での受信信号と比較して音波が $d \sin \theta$ の距離だけ進む時間 t だけ遅れた信号となっている。マイクロフォン m_1 と m_2 との間の距離を d 、音速を c とした場合次の式から θ が求められる。

$$ct = d \sin \theta \longrightarrow \theta = \arcsin\left(\frac{ct}{d}\right)$$

この式において留意すべきは、1つの時間差に対して -180° から 180° の範囲で2通りの方向が求められる点である。この2つの方向のうちどちらか1つが正しい方向を示している。本稿では、3つのマイクロフォンを用いることにより2つ以上の時間差を求め、これらを用いることにより正しい方向を推定する。

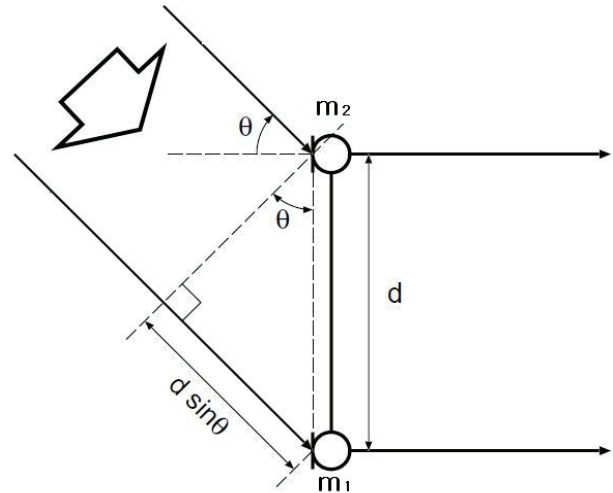


図1 音源定位.

2.2 無線通信による音源定位

本稿で行う実験では、無線LANを搭載した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。音源定位において音波の受信時間を計測することが最も重要であるが、3台のロボットはそれぞれ個別のシステム時間を有しているため、システム時間を合わせる必要がある。

そのため、1台のロボットから2秒ごとにPingメッセージを送信し、これを受信したその他のロボットが自己のシステム時間を乗せてReplyメッセージを返信する。Replyメッセージを受信したロボットは、Pingメッセージの送信時間とReplyメッセージの受信時間を比較する。これによって片道の電波伝搬時間が推定できるため、この分の時間を差し引いた時間を各ロボットのシステム時間として記録する。この際、Pingメッセージを送信したロボットを親ロボット、Replyメッセージを送信するロボットを子ロボットとする。

音波を受信した子ロボットは受信時間を親ロボットに報告する。親ロボットは子ロボットからの報告と、記録したシステム時間から音源方向を推定する。

2.3 音源方向の推定

3台のロボットで音源方向の推定を行った場合、1つの時間差に対して2つの方向が推定されるため、合計6つの方向が推定される。この中の正しい3つの方向を推定するために、角度ベクトルの

内積を用い、内積の和が最も大きくなる組み合わせを正しい推定方向と考える。

推定方向を決定する際、ロボットの位置と音波の向きによって角度推定の精度に差が生まれる。図2の(ア)や(イ)に示すように、角度 θ の値が小さいものは精度が高く、(ウ)のように θ の値が大きき 90° や -90° に近いものほど誤差が大きくなる。これは θ の値が 0° から離れるほど、音波の移動による影響を受けやすいためである。そのため、方向を推定する際にそれぞれの推定角度に応じて重み付けを行い、 θ の値が 0° に近いものを重視する。

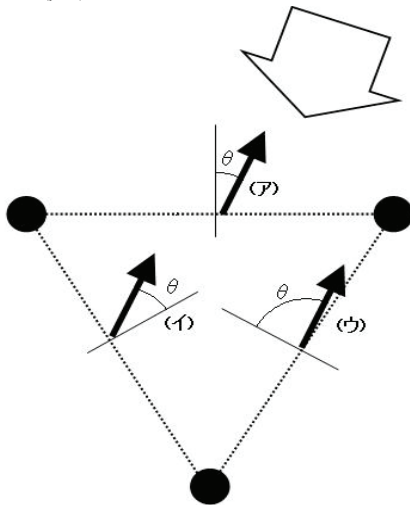


図2 角度推定.

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。音源定位によって求められた推定方向を統合した場合、3台のロボットの間接点であるX地点からの角度が求められる。X地点からの実際の音源方向と、推定した音源方向を比較し、その誤差を計算する。フローに段差はなく、同一平面状での実験である。

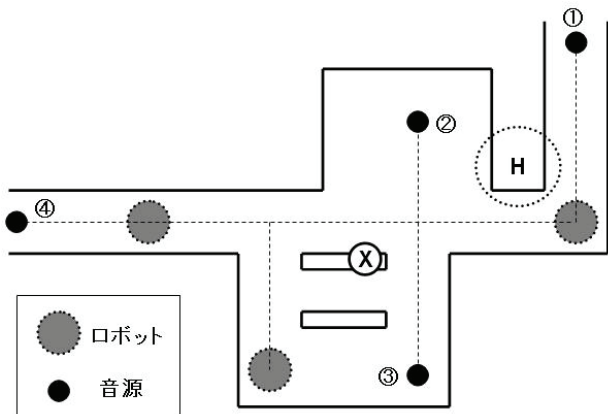


図3 実験環境.

3.2 実験結果

図3に示す各音源から10回ずつ音を発生させ計測した推定方向と、実際の角度とのずれの絶対値を図4に示し、角度誤差の平均を表1に示す。

10回の実験によって、推定角度の範囲に 15° ほどの振れが見られるが、これは個々のロボットのシステム時間のずれが大きく関係していると考えられる。

また、音源が①のときの誤差が大きくなっているが、発生した音波が図3のHの壁の周りを回折し伝わるため、Hの方向を推定していることが要因であると考えられる。推定角度は音源とロボットの間には障害物が入ると精度が落ちるが、回折が起こった地点までの大まかな方向の推定は可能である。

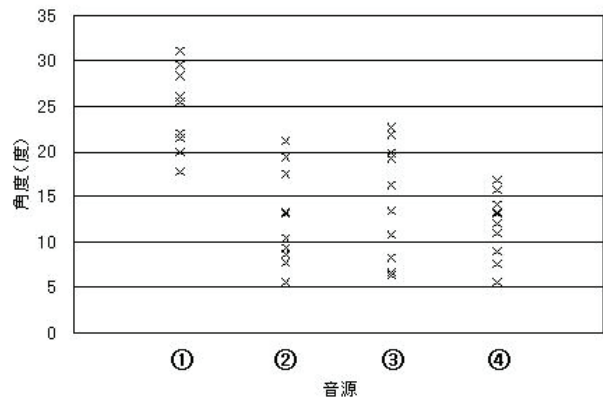


図4 角度のずれ.

表1 角度誤差の平均.

	①	②	③	④
角度のずれ(度)	24.7	12.6	14.5	11.8
標準偏差	4.34	5.26	6.28	3.56

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、音の検知時間を無線ネットワークを用いてやり取りすることで音源定位の有効性を検証した。今後は1台のロボットに2つ以上のマイクフォンを装着することでロボット1台での音源定位を可能にする。さらに、複数のロボットに協調動作させることで、その精度を高める予定である。

参考文献

- [1] Sekmen, A.S, Wilkes, M, Kawamura, K, "An Application of Passive Human-Robot Interaction: Human Tracking Based on Attention Distraction," IEEE Trans. on Systems, Man and Cybernetics, Part A, Vol. 32, No. 2, pp. 248-259, 2002.
- [2] 米国 EvolutionRobotics, <http://www.evolution.com/>.