

研究題目	ロボットマーチングバンドの実現	報告書作成者	末岡 裕一郎
研究従事者	末岡 裕一郎, 木田 友葉, 角田 祐輔		
研究目的	<p>本研究の目的は、数多くのロボットが周りのロボットと協調しながら演奏する、いわばロボットマーチングバンドを実現することにある。この目的に対し、本研究では音を発し、音を聴くロボットがどのように周囲と行動を合わせていくか、その行動制御問題に取り組んだ。各自が他者の発する音に合わせて、自分の行動をコントロールすることで、フォーメーション形成が可能となるため、音という情報から各自がどうやって相手の方向や姿勢を知るかということが問題となる (Fig. 1)。</p> <p>他者がどの方向から音を発しているかという情報を得る方法としてマイクロフォンアレイが一般的に知られている。複数のマイクロフォンを空間に適切に配置することで構成されるマイクロフォンアレイシステムは、音の鳴っているスピーカ (音源) から各マイクロフォンへの距離が異なることによって生じる音の到達時間差に基づいて、音源方向の測定が可能である。本研究では、このマイクロフォンアレイから着想を得て、複数のスピーカによって構成されるスピーカアレイを用いたシステムを提案する。各スピーカからマイクロフォンへの距離が異なるので、同時に複数のスピーカから音を出力しても、マイクロフォンが取得する音には到達時間の差が生じる。その音の到達時間の差から、マイクロフォンが得られる情報は、マイクロフォンに対するスピーカアレイの姿勢となる。</p> <p>本研究では、スピーカアレイを用いた姿勢推定手法を提案し、2 つのスピーカを用いた実機実験により、提案手法の妥当性を示す。さらに、提案したスピーカアレイに基づく姿勢推定法とマイクロフォンアレイに基づく方向推定法と組み合わせ、複数台の移動ロボットがお互いの進んでいる方向を揃える整列行動の実験に取り組む。</p>		

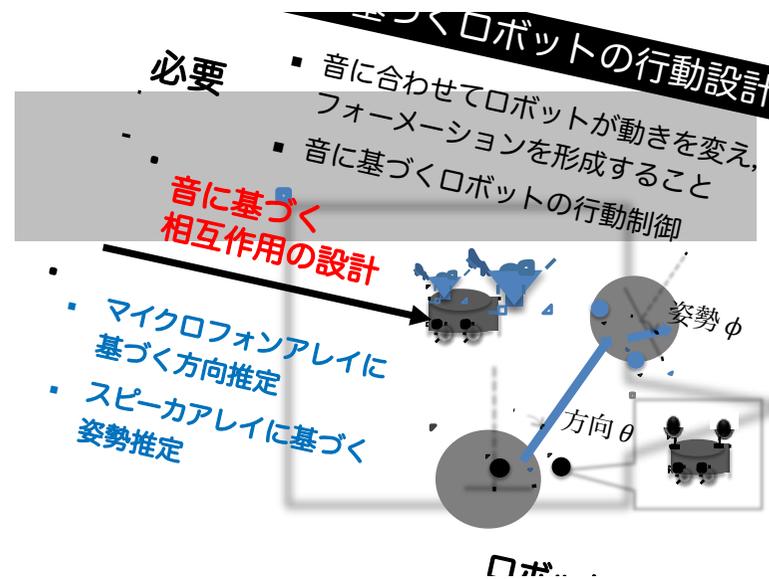


Fig. 1 他者が発する音情報を基に行動制御する手法; マイクロフォンアレイとスピーカアレイを組み合わせ、フォーメーション形成に活かすアプローチ

研究内容

音という情報から、群れ全体としてフォーメーションを組む(向きを揃える, 近づく, 遠ざかる)といった行動の実現を目指して研究を行った. 具体的な研究内容としては, 以下の3つを行った.

1. 相手の姿勢を推定するスピーカレイシステムの提案と実機検証.
2. 相手の方向を推定するマイクロフォンレイシステムの実機検証.
3. 複数台ロボットによる協調行動(整列行動)の実現.

複数のマイクロフォンから構成されるマイクロフォンレイシステムを用いることで, 音の鳴っている方向(音源方向)を知る手法が知られている. これは, Fig. 1 左図のように, 音源となるスピーカから各マイクロフォンへの距離が異なることによって生じる音の到達時間差に基づいて, 音源方向 θ が推定する原理である. これに対し, 本研究では, この方向推定手法に着想を得て, 複数のスピーカによって構成されるスピーカレイシステムを提案し, 音を鳴らしている対象の姿勢 ϕ を推定する手法を提案する(Fig. 1 右図).

実際に, 2つのスピーカと1つのマイクロフォンを用いた実機実験により, 提案手法の妥当性を確かめた. その結果を Fig. 2 に示す. さらに, マイクロフォンレイを用いた方向推定と提案手法であるスピーカレイを用いた姿勢推定を組み合わせ, 複数ロボットの行動制御実験の一例として, 整列行動の実現に取り組んだ. マイクロフォンレイを搭載したロボットとスピーカレイを搭載したロボットの2台を用いた整列行動の実機検証(Fig. 3)から, 音に基づく行動制御の妥当性が言える.

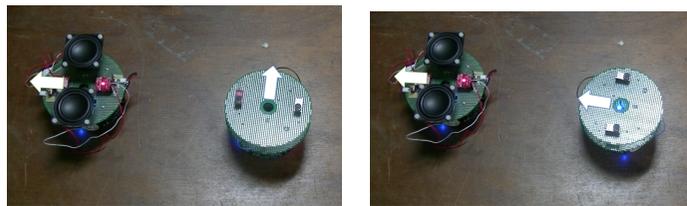


Fig. 3: 音に基づく複数台ロボットの整列行動の実機検証. 左図)整列前, 右図)整列後.

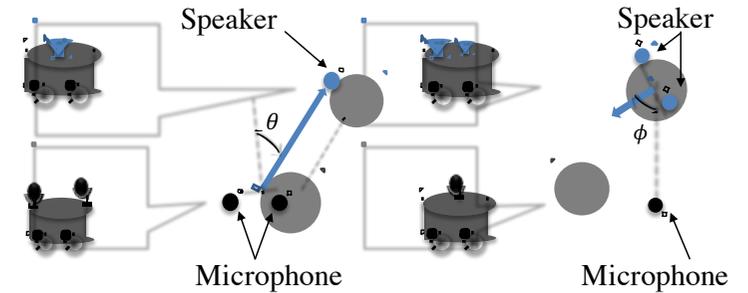


Fig. 1: 音によるロボット群の行動制御;マイクロフォンレイによる他者の方向推定とスピーカレイによる他者の姿勢推定.

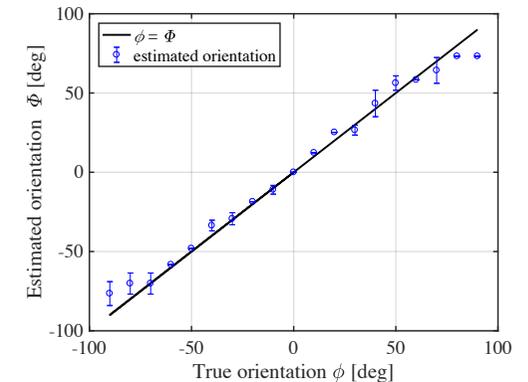


Fig. 2 提案したスピーカレイシステムにおいて推定した姿勢と実際の姿勢の関係

研究のポイント	<p>他者が発する音の情報から自分の行動と他者の行動を合わせるといった相互作用を引き起こし、全体として適切なフォーメーションを組む行動制御法を提案・確立することである。それに対し、本研究では、音の到達時間差に着目したロボット間の相互作用の設計に取り組み、ロボットの行動設計に活用するアプローチを採用した。</p> <p>具体的には、1. 異なる周波数の音を同時に出力する手法、および、2. 同一の周波数の音を時間差で出力する手法を検討し、スピーカアレイシステムとしての妥当性を実機検証から明らかにし、複数台ロボットの行動制御の1つである整列行動を例に実機デモを行った。</p>
研究結果	<p>本研究では、音に基づくロボットの行動制御(フォーメーションを組むなど)を進め、マイクロフォンアレイとスピーカアレイを組み合わせたロボットの行動制御法を提案し、実機検証を通じてその妥当性を検証した。そして、実際に複数台のロボットによる整列行動を実現し、ロボットの行動設計に活かせることを確認した。具体的な結果をいかに述べる。</p> <p>スピーカアレイシステムの確立を目指し、2つのスピーカと1つのマイクロフォンを用いた姿勢推定モデルについて以下の2つに関して実験検証を行った。</p> <ol style="list-style-type: none">1. 異なる周波数の音を同時に出力する手法2. 同一の周波数の音を時間差で出力する手法 <p>2つのスピーカからマイクロフォンへの距離の差を算出するためには、2つのスピーカからの音の到達時間の差が、距離の差によって生じる差に等しくなる条件が必要となる。ところが、異なる周波数を同時に鳴らした際には、周波数によって音の到達時間が異なってしまうことを明らかにした。これは、スピーカの特性や壁からの反射におけるマルチパスなどが原因として挙げられる。それに対し、同一の周波数の音を時間差で出力する手法では、$-90^{\circ} \sim 90^{\circ}$ の範囲で誤差 20° 以内の姿勢推定が可能であることを示すことができた。また、マイクロフォンアレイを用いた方向推定の実機検証を行い、$-90^{\circ} \sim 70^{\circ}$ の範囲では、誤差 20° 以内で推定できることがわかった。</p> <p>スピーカアレイシステムでは相手の姿勢を、マイクロフォンアレイシステムでは相手の方向を知ることができるため、マイクロフォンアレイとスピーカアレイを移動ロボットに搭載することで、互いに姿勢を揃えることや、相手に近づく、離れるといった行動も可能になる。そこで、製作したマイクロフォンアレイを搭載したロボットとスピーカアレイを搭載した2つのロボットを用いて、姿勢を揃える整列行動を実現し、行動制御の実現可能性を示した。</p>

今後の課題	<ul style="list-style-type: none">■ 今回のロボットデモでは相手の姿勢や方向推定の際に、その範囲が 180° に限定されるため、スピーカおよびマイクを 3 つ搭載することで、平面上のどこにいても、相手の姿勢や方向を測定することが可能となるため、そのシステム構築を目指す。■ マイクとスピーカを 1 台のロボットに搭載することで、お互いがどの方向や姿勢であるかを知ることを目指す。■ 演奏を実現するためには、数多くのロボットがいくつものパターンを同時に鳴らすケースが存在するが、楽器ごと、さらには周波数ごとの音の到達時間差のモデルを構築することで、より多くの種類の楽器による演奏や、多彩な楽曲の演奏が期待できるため、今後取り組んでいく予定である。
-------	---

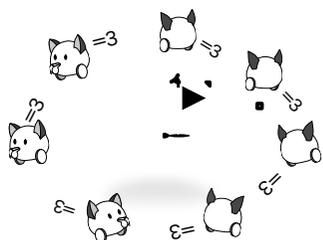
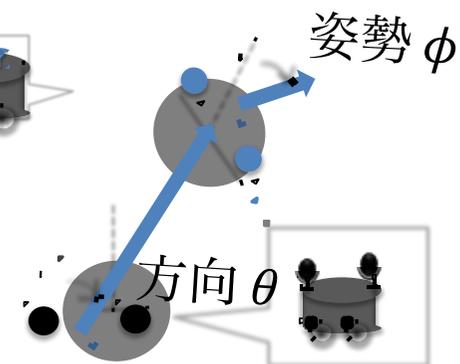
最終目標：ロボットマーチングバンドの実現

必要

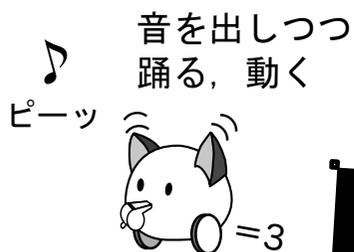
- 音に合わせてロボットが動きを変え、フォーメーションを形成すること
- 音に基づくロボットの行動制御

そのために

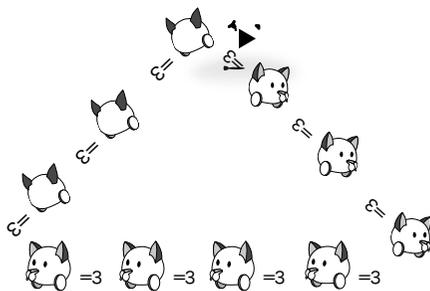
音に基づく
相互作用の設計



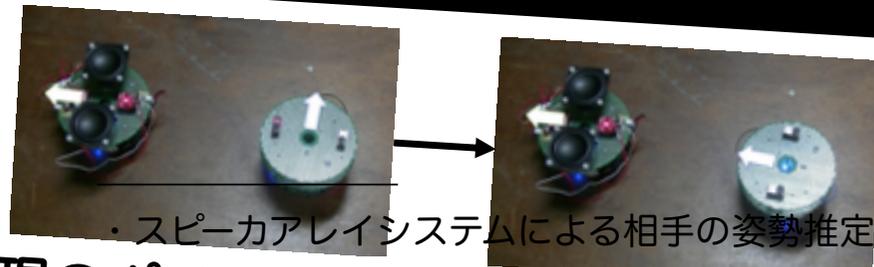
フォーメーション形成



成果：複数台ロボットによる整列行動の実現



ライン行進



実現のポイント
スピーカアレイによる相手の方向推定

(注:フローチャート図, ブロック図, 構成図, 写真, データ表, グラフ等 研究内容の補足説明にご使用下さい。)