

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 24 年 5 月 18 日現在

機関番号：17401
研究種目：若手研究（B）
研究期間：2010～2011
課題番号：22700183
研究課題名（和文） 能動耳介を用いたアクティブオーディション
研究課題名（英文） Active audition with active pinnae
研究代表者
公文 誠 （KUMON MAKOTO）
熊本大学・大学院自然科学研究科・准教授
研究者番号：70332864

研究成果の概要（和文）：

動物のように動く耳たぶ（能動耳介）によって音環境を認識するロボットを実現することを目指し、音の方向を検出する音源定位機能の基礎について研究を行なった。実際の能動耳介システムを開発し、その音響や動作の特性を明らかにするとともに、動物のように二つの耳で音源方向を高精度に推定するための方法および能動的な音源定位における動作生成の方法を提案した。

研究成果の概要（英文）：

Active external ears system inspired from animals, or active pinnae, for auditory robots has been studied, and fundamentals of the system for sound localization to find the direction of sound sources were investigated. Actual active pinnae system was developed and its kinematic and acoustic characteristics were analyzed, and binaural sound direction estimation method and active motion planning for auditory robots were proposed.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	2,000,000	600,000	2,600,000
2011年度	900,000	270,000	1,170,000
年度			
年度			
年度			
総計	2,900,000	870,000	3,770,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：総合領域・情報学

キーワード：能動耳介・音源定位・アクティブオーディション

1. 研究開始当初の背景

少子高齢化に伴う労働力の減少や介護・福祉の需要の高まりに対し、人間の生活環境にあって人間と共存するロボットの開発が有用な解決策として期待されている。このためにはロボットが人間が通常利用している情報を理解し、意味を共有する必要があるが、音

はその中の重要な情報の一つである。実際、音情報は音声対話による情報伝達などに必要な重要なモダリティであり、他にも例えば電話のベルや車のクラクションなどの人工的な音記号や、足音やドアの開閉などは周辺環境の認識に利用されている。ロボットが同等の音環境の理解能力を達成することは、人

間と協調する柔軟で知的なロボット実現にとって極めて有用なことは明らかである。このようなロボット聴覚の研究は、国内外で盛んになりつつあるが、技術的な課題は人間の生活環境のように音響的に不利な状況で、話者から離れたロボットに取り付けたマイクで収録した信号を対象とする点が特徴的と言える。

ところで人間は複雑な形状の耳介（外耳、耳たぶ）を有し、耳介がもたらす音響的干渉が音環境認識の手掛かりとなっていると指摘されており、古くは Rayleigh が指摘したとも言われている。申請者はこの耳介の音響的効果を利用して音源方向を推定する方法として、耳介を有する聴覚ロボット頭部を音源方向へと駆動するサーボ系を提案してきた。しかしながらこの方法の適用対象は単純なタスクに限定され、ロボットの身体が持つ運動機能を十分に生かしているとは言えない。人間や動物を見れば、音源位置の認識のような単純なタスクにおいても、頭部や体の各部を巧みに動かしており、例えば猫は左右の耳介を独立に水平面内で大きく変位させることで、音刺激に対し選択的かつ素早く音源方向に向けることで高い方向分解能を得ていると言われている。本研究ではこのような生物の動作に着想を得て、より精度の良い音環境認識技術の実現方法を目指すことを考えた。

2. 研究の目的

本研究は動物のように可動式の耳介（これを能動耳介と呼ぶことにする）を用いて音環境理解の新しいアプローチを示すことを目的とした。人間や動物のように自然で巧みな動作を聴覚の観点から実際のロボットにおいて実現することを目指して、特に音環境の中で重要な情報である音源位置の推定（音源定位）と能動耳介の動作の基礎を解明することを考える。

3. 研究の方法

能動耳介を持つマイクによるアクティブオーディションを実現するため以下の研究を行う。

(1) 能動耳介の設計法とモデル

耳介はマイクに隣接し、音響的に影響の大きい部分である。適切な形状に設計する必要があるため、音響的な効果を考慮した適切な形状を設計するとともに、駆動部には能動動作が生じる騒音の小さな静穏型駆動機構を開発する。駆動機構が複雑・大自由度になることが予想されるが、適切な低自由度モデルによってこれが制御可能であることを示す。

(2) 能動耳介の音響特性モデル

耳介が能動的に動作した結果、頭部と耳介の位置関係や耳介の形状に変化が生じ、音響特性が変化することになる。そこで、能動耳介の動作と音響特性の関係について、その特性を実際の能動耳介による実験によって求める。また必要に応じ耳介形状や配置を再設計する。

(3) 能動耳介の最適動作計画

正確かつ効率的に音環境を認識できるような適切な耳介動作を計画する方法を明らかにする。具体的には(2)で求めた音響特性を考慮し、対象とする音響情報についての規範を最適化する動作計画として定式化する方法を明らかにする。なお、本件究では特に定量的かつ客観的な評価が可能で、実用上非常に重要な音源位置の認識を具体的な対象とする。音源位置は発話者の位置や車などの危険な対象といった情報を与える聴覚情報の中でも最も基本的な機能であり、高速・高精度に推定できる手法を追及することが重要である。

(4) 検証用能動耳介システムの開発

本研究の実際の対象は音および機械装置双方の特性が複雑に組み合わさったシステムである。上記のモデル化ではこれらを低次元化するなど試みるが、これらが手法が正しいかどうかは実験によって検証するより他ない。そこで、(1)で考案した能動耳介を実際に設計・構築し(1)～(3)の妥当性を検証する。



図：開発した能動耳介の変形の様子

4. 研究成果

以下に得られた主要成果5点を記す。

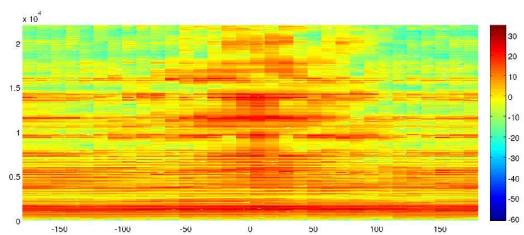
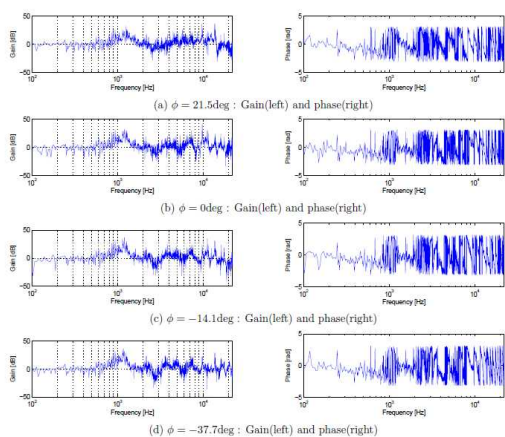
(1) 能動耳介システムの構築

耳介そのものの動作を実現するため生物を模した柔軟な機構を考え、これを設計・試作した。以下の3で得られた特性データを元に形状や構造について改良を加え、適当な指向

性と周波数特性を得た。また、駆動機構を工夫することで自己雑音の少ない集音機構である点も特徴である。

(2) 能動耳介の運動モデル

複雑な柔軟耳介の動作を扱うための運動学モデルを導出した。このモデルは、耳介頂点位置を参照点とし、ワイヤ駆動長を配位と考える順・逆運動学モデルとなっており、駆動ワイヤの長さを所望の長さとする事で耳介の参照点を制御可能とするためのモデルである。開発したシステムにおいて、参照点の3次元位置とワイヤ長の関係を確認したところ、耳介の駆動可能な範囲内ではモデルの算出するワイヤ長と実際のワイヤ長の差が1mm以内に収まるという精度を得た。実際の計測精度から勘案してこれは十分に良好な結果と言える。



図：開発した能動耳介システムの音響特性
(上：耳介変形に伴う周波数応答の変化，
下：音源の水平変位に伴う指向性の変動)

(3) 能動耳介の音響特性

耳介の変形に伴う音響特性の変化について、周波数特性の観点から特性を測定し、特に音源定位に重要な指向性と耳介ノッチを調べた。この結果 5kHz以上の帯域においてははっきりとした耳介ノッチが確認され、ノッチの周波数が能動耳介の耳介形状変形の関数になっていることが分かった。また耳介の開口

部方向に指向性があることが予想されたが、これについては 8kHz以上の周波数帯域で効果のあることが示された。

(4) 能動的音源定位

能動的な音源定位では、単に受聴した信号を処理するだけでなく、定位性能を評価しこれを改善するような動作を計画する必要がある。一般に観測信号には不確かなノイズ等が含まれ、本研究で考察するような複雑な変形を伴う動作での受聴ではこの不確かさを陽に考慮した推定法と動作生成法が必要となる。そこで、能動耳介への適用が可能な音源定位の動作生成法として拡張カルマンフィルタを用いてフィルタ内の推定誤差の分散行列のノルムを評価規範と考え、これを最適化する動作を行うことで音源定位能の改善する方法を考案した。具体的な対象としては、評価法の確立している移動聴覚ロボットでの検証を行なったが、推定性能が改善することが確認された。

さらに、この特徴量に音声認識結果を用いる方法についても考察した。音声認識結果と音源とロボットの相対位置の関係は、能動耳介と同様非常に複雑で不確かな、しかし比較的静的な関係があることが本研究遂行において明らかになったため、上記とは別の動作生成法として確率的同時摂動に基づく最適化法によって能動的に音源定位する手法も提案し、移動聴覚ロボットによる実験でその実現可能性を肯定的に示すことができた。また、これに関連して移動ロボット自身の自己位置推定が音源位置の推定精度に影響することが判明し、特に高速に移動する際(上記の手法ではドップラシフトも特徴量に利用する場合を想定している)、環境認識に用いるレーザレンジファインダの情報が歪むことが懸念されたため、これに対する補正法もあわせて提案した。

(5) 音源方向推定における最適な弁別法

開発した能動耳介の聴覚特性変動が非常に複雑なことが実際の実験によっても確認されたので、聴覚特性を簡単な数式モデルで表現することは難しく、これに基づく音源位置推定は簡単でないことが示唆された。例えば上の拡張カルマンフィルタに基づく方法では、不確かさを考慮してはいるもののある程度の精度で音源方向が推定できることが現実的な性能を確保するための条件であり、far-fieldの仮定下での単純な2マイクモデルでは不十分で、収録した音データなどシステム毎に調整・適応可能なアプローチの必要性が特に顕著と分かった。そこで実際の耳介システムにおいて事前に収録したデータベースから音源方向を推定する方法を検討し、二つのマイクロホンで受聴した信号のレベ

ル差を特徴量と考えデータ誘導ノルムを用いた音源方向推定法を考案した。能動耳介の簡略化システムである可動式の耳介システムによる実験を通じて、提案法が通常の余弦ノルムに比べ良好に音源方向を推定できることを示した。

以上の成果を通じ、能動耳介という新しい聴覚デバイスの実現可能性を建設的に示せた点、またその基本的な特徴と要素技術を提案した点で本研究課題は今後繋がる成果を得たと考えている。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 3 件)

- ① Makoto Kumon and Yoshitaka Noda, “Active Soft Pinnae for Robots,” 2011 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, 査読有, pp. 112-117, 2011 (doi:10.1109/IROS.2011.6094619)
- ② Makoto Kumon and Shuji Uozumi, “Binaural Localization for a Mobile Sound Source,” Journal of Biomechanical Science and Engineering, 査読有, Vol. 6, No. 1, pp. 26-39, 2011 (doi:10.1299/jbse.6.26)
- ③ Makoto Kumon et. al., “Motion planning based on Simultaneous Perturbation Stochastic Approximation for Mobile Auditory Robots,” 2010 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, 査読有, pp. 431-436, 2010 (doi:10.1109/IROS.2010.5649244)

[学会発表] (計 5 件)

- ① 江川知宏, 公文誠, “移動に伴う測域センサ情報の歪み補正”, 第12回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会論文集, pp. 1072-1075, 京都大学(京都), 2011/12/23
- ② 公文誠, 木元大輔, “耳介を持つバイノーラル聴覚ロボットの音源方向推定の検討”, 人工知能学会 AI チャレンジ研究会, pp. 48-53, SIG-Challenge-B102-11, 慶応大学(東京), 2011/12/15
<http://winnie.kuis.kyoto-u.ac.jp/sig-challenge/SIG-Challenge-B102/B102-11.pdf>
- ③ 魚住守治, 公文誠, “バイノーラル聴覚ロボットを用いた頭部回転による音源

の位置推定”, 第29回日本ロボット学会学術講演会, RSJ2011AC3A3-5, 芝浦工業大学(東京), 2011/9/9

- ④ 公文誠, 野田佳孝, 魚住守治, “能動人工耳介”, 人工知能学会 AI チャレンジ研究会, pp. 48-53, 京都大学(京都), 2010/9/22

<http://winnie.kuis.kyoto-u.ac.jp/SIG-Challenge/SIG-Challenge-B002/B002-9.pdf>

- ⑤ 魚住守治, 公文誠, “バイノーラル聴覚ロボットによる移動音源の位置・速度推定における動作計画”, 第28回日本ロボット学会学術講演会, RSJ2010AC1H2-5, 名古屋工業大学(愛知), 2010/11/26

6. 研究組織

(1) 研究代表者

公文 誠 (KUMON MAKOTO)

熊本大学・大学院自然科学研究科・准教授

研究者番号: 70332864