

平成 21 年 5 月 29 日現在

研究種目：若手研究（B）  
 研究期間：2007～2008  
 課題番号：19700193  
 研究課題名（和文）ロボット聴覚におけるダイナミズムの解明

研究課題名（英文） On dynamics of robot audition

## 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：

ダイナミックな聴覚はロボットにおいても有用であると考えられるが、ロボットのダイナミクスは複雑で、必ずしも望ましい特性だけが得られるとは限らない。本課題ではロボット聴覚の身体動作制御の観点に着目し、不確かなダイナミクスの下でも適応制御によって音源定位性能が改善することを示した。バイノーラルな聴覚ロボットの聴覚特性モデルも検討し、センサモデルが非正規分布になること、このモデルによって動的な音源定位において性能が改善することを示した。

また、汎用的な移動聴覚プラットフォームを開発し安定した移動制御手法についても開発した。

## 交付額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	1,400,000	0	1,400,000
2008年度	1,300,000	390,000	1,690,000
年度			
年度			
年度			
総計	2,700,000	390,000	3,090,000

## 研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学・知能情報処理・知能ロボティクス

キーワード：知能ロボティクス，制御工学，機械力学・制御

## 1. 研究開始当初の背景

聴覚は他者とのコミュニケーションを取る際や生活空間における音記号（目覚ましや電話のベルなど）を認識する上で極めて重要な感覚である。従って、人間と共生するロボ

ットの実現には、ロボット聴覚の機能の開発が必須であり、主にマイクロフォンによって受聴した音信号を処理する方法を検討することを中心として精力的に研究されはじめた状況にある。

ところで、ロボットの機能としての聴覚を

考える際、ロボット自身がその位置や配位を動作に伴って変更できることは、従来からの音響信号処理と異なる特徴的な点である。例えば、音源の方向にロボットを向けることで、受聴能を改善し、効果的な音声認識等が可能になると期待される。一方でロボット自身の動作に伴う駆動音（エゴノイズ）や動作に伴う音環境の変化（音源との相対位置や周辺からの反射音の関係の変化）は難しい問題を引き起こすことが指摘されており、従来法ではロボットは受聴と動作を交互に繰り返す方策がとられることが多かった。

しかしながら我々人間は動作の中で会話をしたり、音を聞き分けるなど、リアルタイムに動作生成と音信号を処理する能力を有する。このことから、人間と共存するロボットシステムを考えたとき、ロボットにおいてもこの能力を実現することが必要と考えられる。つまり、ロボット自身の持つダイナミクスと音信号処理を結び合わせるダイナミクスのあるロボット聴覚という視点を提案することが解決策になると考え研究を開始した。

## 2. 研究の目的

ロボット自身のダイナミックな運動がロボットの音受聴にとってどのような影響があるのか、またどのような動作が可能であるかを明らかにすることを目的とした。特に、音源位置の推定は音認識において重要な情報であるため、音源の位置を音信号から推定する音源定位について考えることとした。

具体的な研究の目的は以下の通りである。

- (1) 音環境および聴覚ロボットのダイナミクスのモデルと音源定位  
音源とロボットを含む環境での音信号の相対的な関係をもとに、ロボットの動作あるいは音源の運動に基づくダイナミカルな関係をモデル化する。  
加えて、音響特性が配位に応じて変化することも重要な音響特性のひとつであり、これを活用して音源定位を行う方法についても検討する。
- (2) 聴覚ロボットダイナミクスに基づくロボットの適応的な動作制御  
音環境は高次の複雑なシステムなため、全ダイナミクスは非常に複雑なものになる。一方、設計者が操作できるのはロボット本体であるため、本研究課題では特にロボット本体の動作のダイナミクスを中心に考え、このシステムについて環境や状況の変動にロバストな適応的な動作制御手法について検討する。

また、実際のロボットで実現する際、ロボットの床からの反射音を抑えるためにマイクロフォン搭載部は十分に高い位置に設置する必要があるが、一方でダイナミックなバランスを欠く原因にもなる。そこで、このバランスを保つような移動手法についても検討する。

- (3) 聴覚ロボットを用いた実験を通じた実証的検証  
(2)で指摘するように、対象は複雑なため、実際の実験を通じて本提案の方法が妥当かどうかを検証する必要がある。そこで、申請者の所有のロボットを用いて実証実験を通じた提案法の検証を目的の一つとする。さらに、より広範囲をダイナミックに運動できる聴覚ロボットの開発を行い、提案法の適用範囲についても実証的に明らかにすることを考える。

## 3. 研究の方法

上記の目的を達成するため、以下の方法によって研究を実施した。

- (1) 音環境および聴覚ロボットのダイナミクスのモデル化  
音源および聴覚ロボットの位置・配位にダイナミクスが存在する場合、ロボットが受聴する音信号についてどのような影響があるかを明らかにし、そのダイナミクスのモデルを得る。
- (2) 聴覚ロボットダイナミクスに基づくロボットの適応的な動作制御  
(1)で得られるダイナミクスでは、パラメータの不確かさや近似に伴うモデル化誤差が不可避である。そこで、そのようなモデルの不確かさのもとで、環境等に適応して適切にロボットが動作するような動作手法を検討する。本課題では特に音源定位や音源方向へのサーボ系に限定して考え、ロボットを操作することを考える。ここで、ロボットのメカ系の適当なフィードバック系において、適応制御手法を適用することで、このような不確かさに対応する方法を考える。
- (3) 聴覚ロボットを用いた実験を通じた実証的検証  
耳介つき頭部を有する聴覚ロボットを移動プラットフォームに搭載し、ダイナミックな運動下で実際の実験を行い、提案法の妥当性を検証する。また、より自由

に動作する移動型聴覚ロボットプラットフォームを開発し、安定に動作するための制御方式を開発する。

#### 4. 研究成果

本課題を通じて、ダイナミックに動作する聴覚ロボットにおいて、特に音源定位について詳細な検討を行った結果、以下の知見を得た。

##### (1) ダイナミクスを有する聴覚ロボットと音源のモデルとダイナミクスを利用した音源定位

聴覚ロボットが積極的に動作をすることによって、音源とロボットの相対的な位置関係を変化させることができる。マイクロフォンの配置によっては、音源との位置関係に応じて音源到来方向の精度が劣化することが指摘されているが、適当な動作を通して、ロボット（頭部）を音源方向に向けることで、この問題を解決できる可能性がある。そこで、音源とロボットの配位間のモデルを近似的に求めた。水平方向については従来からの到達時間差の詳細を検討した結果、確率モデルを導入することで次の(2)の移動ロボットによる音源定位において性能向上を得た。また、上下方向についてロボット頭部の耳介の効果による周波数領域でのモデルが有効であることが分かったことが成果の一つである。

また、ロボットを音源方向へと制御するため、これらの音響特徴量を直接フィードバック信号とする構造を考え、オーディオサーボと呼ぶ制御系を構成した。これは、ロボットのダイナミクスを検討したところ、概強正実性が確認されたため、この性質を利用することで単純な比例型の制御器で制御目的を達成できることが示された点が重要である。このアプローチの有効性は、提案法を実際のロボットシステムによる実験を通じても確認された。

##### (2) 移動型聴覚ロボットによる音源定位

より広範なダイナミズムを考慮するため、聴覚ロボットを移動プラットフォームに搭載し、室内を走行する際の音源定位について検討した。この場合、ロボットは音源の方向だけでなく、自己の運動を計測することで、音源の位置（奥行き情報）を得ることが可能になる。そこで、カルマンフィルタおよびパーティクルフィルタを用いて音源位置を推定する方法

を考えた。

特にマイクロフォン数が制限される場合にあっては、(1)のオーディオサーボを併用することで、音源位置についても精度よく推定できることが示された。

##### (3) 不確かなダイナミクスを有する聴覚ロボットに対する適応オーディオサーボ

(1)のオーディオサーボは制御ゲインが一つだけで、シンプルな構成の制御器ではある。しかしながら、ロボットがダイナミックに移動・運動する場合、ロボットと音源の相対的な位置関係が大きく変化するため、聴覚特性の変動が考えられる。また、ロボット自身のダイナミクスの不確かさ、雑音などの外乱など、音信号を直接フィードバック信号に用いた場合に適切に制御ゲインを決定することは容易ではない。

一方、ロボットのメカニカル部分は概強正実性があるため、単純適応制御と呼ぶ適応的なゲイン調整則を導入することで、この制御ゲインをオンラインで調整することが可能である。また、雑音などにより過剰な反応を抑制するため、調整によるロバスト項を導入した。この結果、試行錯誤的に求めていたオーディオサーボ系のゲインについて事前調整が必要なくなったとともに、最終的に得られる制御性能が改善し、定位性能の向上を見ることが出来た。

##### (4) 移動型聴覚ロボットの安定な動作制御法

移動型聴覚ロボットを用いた実験を通じて、受聴部のマイクロフォンが十分に床面から離れた高さを有することが必要であることが分かった。これは

床面からの反射音による影響を除去するため

モータ等の駆動部からの騒音の影響を避けるため

通常対象とする音信号は人間からの音声であるため、人間の口元に近い高さを有することにより利点があるため

という理由による。一方、このような構造のロボットをコンパクトに設計すると、背の高い不安定な形状になり、移動に伴う振動や、転倒の危険などが問題となる。また、マイクロフォンの配置をダイナミックに動かすことによって、重心位置が変動し、ダイナミックな動作を実現するには適切な制御を施す必要がある。

そこで、歩行ロボットなどの安定化に用いられている ZMP 安定規範を導入し、マイクロフォン部をシリアル型マニピュ

レータに見立てたカート・マニピュレータモデルに対し、転倒防止を考慮した動作規範生成法について検討した。ダイナミックな動作をオンラインで生成する際、動作のすべてを自律的に計算することは現実的でないため、所望の目標経路に沿って運動する場合を考え、目標経路状の動作速度を ZMP 規範を考慮した動的パラメータのダイナミクスによって制御する方式を提案した。転倒の危険があるため、実機による検証は行っていないが、一連の数値実験により、その有効性を確認している。

#### 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)

瀬戸山貴嗣, 公文誠, 水本郁朗, 岩井善太, "障害物回避を考慮した冗長ロボットの経路追従における規範速度生成", 日本機械学会論文集(C編), Vol.74, No. 737, pp.108-114, 2008 (査読あり)

M. Kumon, T. Setoyama and M. Ishitobi, "Path following control of mobile robots using dynamic parametrization based on Zero Moment Point criteria", in Proceedings of International Symposium on Advanced Control of Industrial Processes (ADCONIP 2008), Edmonton, May, pp.166-171, 2008 (査読あり)

M. Kumon, Y. Ito, T. Nakashima, T. Shimoda, M. Ishitobi, "Sound Source Classification using Support Vector Machine", in Preprints of the 9th IFAC Workshop: Adaptation and Learning in Control and Signal Processing, St. Petersburg, Aug., Vol.9, Part.1, 2007 (査読あり, ページ番号なし)

[学会発表](計 2 件)

公文誠, 江藤智史, 伊藤卓, 國松禎明, 石飛光章, "単純適応制御による適応オーディオサーボ系", 第 26 回日本ロボット学会 学術講演会 予稿集 CD-ROM, RSJ2008AC1A2-05, 神戸, 2008.9.9

中島徹, 伊藤良浩, 公文誠, 國松禎明, 石飛光章, "オーディオサーボを用いた音源位置同定", 第 25 回日本ロボット学会学術講演会予稿集 CD-ROM, 1N1, 千葉, 2007.9.13

[図書](計 1 件)

T. Shimoda, T. Nakashima, M. Kumon, R. Kohzawa, I. Mizumoto and Z. Iwai, "Sound Localization of Elevation using Pinnae for Auditory Robots" in "Robust Speech Recognition and Understanding" edited by Michael Grimm and Kristian Kroschel, ISBN 987-3-90213-08-0, pp.421-438, I-Tech, Vienna, Austria, June 2007

[その他](計 1 件)

特集記事, 日刊工業新聞 (2007 年 11 月 27 日)

#### 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