

プログラム名：タフ・ロボティクス・チャレンジ

PM名：田所 諭

プロジェクト名：ロボットインテリジェンス

委 託 研 究 開 発

実 施 状 況 報 告 書 (成 果)

平 成 2 8 年 度

研究開発課題名：

極限音響の基礎技術の研究開発

研究開発機関名：

早稲田大学

研究開発責任者

奥乃 博

I 当該年度における計画と成果

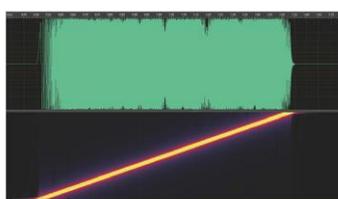
1. 当該年度の担当研究開発課題の目標と計画

- 【目標】** ロボット聴覚ソフトウェア HARK の音源定位・音源分離の性能向上を左右するマイクロフォンアレイの伝達関数に対して、各種インパルス応答測定信号の影響を調べる。
【計画】 6種類のインパルス応答測定信号から得られる伝達関数が音源定位・音源分離に与える影響の調査を継続し、その知見を論文としてまとめる。
- 【目標】** 索状ロボットに装着したマイクロフォンアレイで、ロボットの移動に頑健な音声強調および配管内の位置推定を高機能で行うシステムを開発する。
【計画】 京都大学グループと共同で、昨年度開発した RPCA による音声強調システムを実フィールド評価会でデモを行う。さらに、高機能化のために、変分ベイズ多チャンネルロバスト NMF に基づく音声強調を開発する。また、太径索状ロボット用に音を利用した配管内位置推定システムを開発する。
- 【目標】** 個別に開発してきた UAV による音源探索技術を統合し、実フィールドでの評価を行い、現在までの成果を実証するとともに、今後の課題を洗い出す。
【計画】 東京工業大学グループ、熊本大学グループと共同で、UAV による音源探索技術を取りまとめ、実フィールド評価会で公開デモを実施する。
- 【目標】** HARK の多様な場面での活用を狙うために、昨年度プロトタイプ開発を行った長時間録音型マイクロフォンアレイを改良し、現場での使用実験を行う。また、HARK の普及活動を通じ、救助用ロボットの聴覚機能、ロボットによる環境理解能力を向上させる。
【計画】 長時間録音型マイクロフォンアレイの防滴・防塵機能を強化する。初心者用に HARK 無料講習会を、上級者用に HARK ハッカソンを開催する。

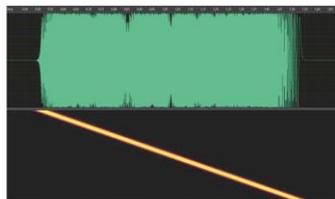
2. 当該年度の担当研究開発課題の進捗状況と成果

2-1 進捗状況

- 昨年度、上半身ロボット HIRO の頭部に装着した 8 本のマイクロフォンを使用し、6種類の測定信号—TSP (Time Stretching Pulse) の上昇型と下降型信号, M 系列, 低域を重視した LogSS 信号, および、環境の背景雑音を考慮した適応型である MNSS 信号, NWSS 信号



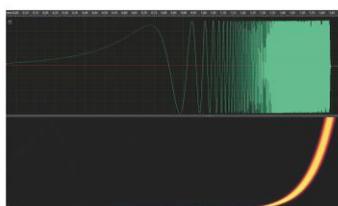
(a) up-TSP: Spectrogram



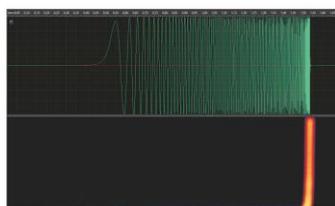
(b) down-TSP: Spectrogram



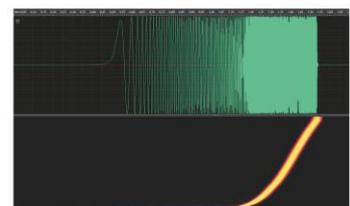
(c) M-Series: Spectrogram



(d) Log-SS: Spectrogram



(e) NW-SS: Spectrogram



(f) MN-SS: Spectrogram

- インパルス応答と伝達関数に対して、音源定位性能の評価を行ってきた。6種類の伝達関数に対して、音源定位性能を求めてきた。具体的には、①1音源(ATR音素バランス分から選んだ6発話を使用):5°間隔に全方位,②①に重畳する白色雑音を-10dB, -5dB, 0dB, 5dB, 10dBと変化された混合音,③2音源(異6発話)の混合音:1つの音源を正面に固定し,他を5°間隔で5°~360°まで変化させた混合音,④③に②と同様の白色雑音を重畳した混合音,について定位実験を継続して行った。
2. 細径索状ロボットに装備したマイクロフォンアレイから收音データから,RPCAによるオンライン実時間音声強調と東大グループが開発したオフライン音声強調とを統合した二段階音声強調システムを開発し,第2回実フィールド評価会で公開デモを実施した。さらに,第3回実フィールド評価会では,変分ベイズ多チャンネルロボストNMFに基づく実時間音声強調を開発し,マイクロホンの移動・被覆に対してロボストに音声強調が可能なことを示した。配管内位置推定システムとして,パイプ外からup-TSP信号を再生し,その到達時間差から位置推定を行うシステムを開発し,第2・3回実フィールド評価会で公開デモを行った。
 3. UAV用マイクロフォンアレイは,球形マイクロフォンアレイ(12チャンネル)を開発し,UAV準備に要する時間を2時間から40分に短縮できた。また,UAVから笛の音が移動をしても追従し,音源位置を実時間で提示する公開デモを第3回実フィールド評価会で行った。
 4. 簡易防水型のマイクロフォンアレイ長時間録音装置は,屋外での長期間使用により,1日の寒暖差から結露することが判明し,防滴・防塵を強化したシステムを開発した。さらに,佐々木グループのLiDARによるAV-SLAMから得られたポイントクラウドと音源定位を組み合わせた音環境理解の提示にも取り組んだ。
 5. 12月5日に早稲田大学で基盤研究(S)「ロボット聴覚の実環境理解に向けた多面的展開」最終シンポジウムを共催し,翌6日に第13回HARK講習会を実施し,満席の45名の参加者の過半数は企業関係者であった。本講習会に合わせて,RPCAによる音声強調モジュールを組み込んだHARK 2.3版をオープンソースで公開した。さらに,7日に,同じ会場でHARKハッカソンを開催した。参加者は20名であり,短時間で聞き分ける技術の応用システムが開発された。

2-2 成果

1. インパルス応答測定信号6種類について,HARKの音源定位に与える影響を調べた英文論文を投稿し,Journal of Robotics and Mechatronicsに採掲掲載された。音源再生とは異なり,インパルス応答測定信号の違いによる音源定位の性能はほとんどないことが判明した。
2. 二段階音声強調システムについては,実フィールド評価会での公開デモが多数報道発表が行われた。本システムの評価を深めた論文をJournal of Robotics and Mechatronicsに投稿し,採録・掲載された。変分ベイズ多チャンネルロボストNMFに基づく実時間音声強調については,ジャーナル論文に投稿を行った。太径索状ロボットの配管内位置推定システムはIEEE SSRR-2017に投稿し,採掲され,発表を行った。

3. UAV用マイクロフォンアレイによる收音と音源探索については、実フィールド評価会で笛を吹く人の動きに追従して音源位置推定が実時間でできることが実証できた。なお、要素技術については、各グループよりジャーナル論文が複数出ている。
4. 防滴・防塵を強化した長時間記録型マイクロフォンアレイ（16チャンネル）は、長期間の屋外での観測に使用できることが判明した。
5. ロボット聴覚研究の課題について IROS-2016 で「New Horizon for Robot Audition Applications」 Special Session を提案し、採択され、ImPACT 極限音響チームから 2 件の発表があり、また、Robot Audition Regular Session でも極限音響チームから 2 件の発表があり、タフ・ロボティクス・チャレンジでの極限音響の役割を広報することができ、また、ロボット聴覚についての議論がさらに深まった。

2-3 新たな課題など

1. 次年度の実フィールド評価会用に作成する細径索状ロボットの安定した運用のために、マイクロフォンアレイ・スピーカアレイ・IMUに加えて、触覚センサーと RASP-ZX との接続方式（コネクタ、ケーブル、通信プロトコル）の高機能化が喫緊の課題である。
2. 太径索状ロボットの配管内位置推定の次年度の課題は、単独センサー化であり、有線接続と、無線接続方式を開発する必要がある。
3. 次年度の飛行ロボットの実フィールド評価会では、①球形マイクロフォンアレイ内に RASP-MX を装着し、UAV で音源定位まで局所的に処理し、音声データは地上に送らずに、通信の安定、長距離化を図る必要がある。そのために、RASP-ZX のソフトウェアの改造と無線インタフェースの構築を行う必要がある。無線通信については、三浦グループとの共同研究を、プロペラの風切り音低減のために、劉グループとの共同研究を行う。
4. 長時間記録型マイクロフォンアレイのために、HARK の 3 次元音源定位の強化が不可欠である。

3. アウトリーチ活動報告

1. 早稲田大学西早稲田キャンパスで、平成 28 年 12 月 5 日、「ロボット聴覚の実環境理解に向けた多面的転回」最終シンポジウム、6 日第 13 回 HARK 無料講習会、7 日第 3 回ハッカソンを共催し、極限音響チームの基礎技術の報告、講習会と実習を実施した。
2. 平成 28 年 6 月 1 日 2 日に東北大学で開催された ImPACT タフ・ロボティクス・チャレンジ 第 2 回実フィールド評価会で、細径索状ロボットの音を使った姿勢推定、猿渡グループと共同で二段階音声強調の公開デモを行い、さらに、太径索状ロボットの配管内走行で位置推定の公開デモを行った。
3. 11 月 11 日 12 日に東北大学で開催された ImPACT タフ・ロボティクス・チャレンジ第 3 回実フィールド評価会で、細径索状ロボットの音を使った姿勢推定、音源分布推定、音声強調の公開デモを、さらに、太径索状ロボットの配管内走行で位置推定とパイプスラムの公開デモを実施した。今回は初めて飛行ロボットに搭載したマイクロフォンアレイによる收音と移動する笛の音を音源定位と追跡の公開デモを雨中で実施した。