

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 9 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】**細径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システムを開発する。
【計画】京都大学グループと共同で、新たな多チャネル低ランクスパース分解に基づく音声強調を開発し、噴射機能を有した新型ロボットでその有効性を確認する。
- 【目標】**太径索状ロボットの配管内位置を推定し、画像、触覚等のセンサー情報と統合を行い、配管地図の高性能化を行う。
【計画】京都大学グループと共同で開発してきた有線式の配管内位置推定法のモジュールを開発するとともに、新たに無線方式によるモジュールを開発し、装置化を行う。
- 【目標】**UAVによる音源探索技術をロバスト化するために、無線通信の安定化、長距離化を行い、実フィールドでの評価を通じて、総合性能の向上を行う。
【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し、有効性を実証する。
- 【目標】**ロボット聴覚オープンソフトウェア HARK の多様な場面での活用を狙うために、①長時間録音型マイクロフォンアレイのロバスト性向上、②ロボット聴覚の基本機能である音源定位・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が音源定位・音源分離性能に与える影響の調査、③サイバー探索犬のパンティングの自動判定法の開発、④HARKの普及活動に取り組む。
【計画】①長時間録音型マイクロフォンアレイが屋外での長期間運用にも耐える内部クロックの安定化に取り組む。②6種類のインパルス応答測定信号を対象に、各々の測定信号から得られる伝達関数による音源定位への影響が昨年度の調査で小さいことが判明したので、音源分離でもその影響が小さいことを確認する。③サイバー救助犬グループから提供された音声データに対して、アノテーションを行い、自動識別法を開発する。④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

- 第4回実フィールド評価会用に更改された細径索状ロボットに対して、新たなマイクロフォン装備法を考案し、評価会デモで姿勢推定と音声強調が機能することを確認した。第5回実フィールド評価会では、新たにロボットの先端部に噴射式を採用したため、音声強調のデモでは噴射を止めていた。この理由は、オフライン型音声強調が想定する雑音レベルよりも噴射の雑音レベルが大きいためである。一方、オンライン型音声強調用には、低ランクスパース分解を多チャンネル用に拡張した **Bayesian Robust Nonnegative Tensor Factorization (Bayesian RNTF)** を開発し、噴射時でも音声強調が適用可能とした。具体的には、入力を高頻度に出現する成分である低ランク成分と、低頻度に出現する成分であるスパース成分に分解する低ランクスパース分解をマルチチャンネルに拡張し、チャンネル間共通のスパース成分

- とスパース成分の各チャンネルの事変音量を推定する多チャンネル低ランクスパース分解を開発した。その結果、マイク移動（振幅領域と時変混合モデルを推定）とマイク遮蔽（各チャンネルの音量を推定）に頑健な音声強調が可能となった。この成果は、IEEE/ACM 論文誌（Transactions on Audio, Speech, and Language Processing, TASLP）に投稿し、採録、掲載された。
2. 配管内位置推定システムは、これまで使用してきた有線方式のデバイス側をモジュール化し、それを設置すれば使用できるように装置化を行った。本装置を使用した配管地図と表示ソフトウェアを京都大学グループが開発し、第4回、第5回実フィールド評価会でデモを行った。さらに、ロボットの無線化に対応した、新たな配管内位置装置を開発した。送信機と受信機を有線で同期する代わりに、高精度の内部時計（ $\pm 1.5\text{ppb}$, $\pm 5\text{ppb}$ ）を使用し、仮想的に送受信機を同期させることとした。同期の観点からは原子時計が最善であるが、使い勝手と廉価性から高性能水晶発振器（恒温槽付）を使用することとした。予備実験により、配管内位置推定精度が従来の完全同期方式と同じであることを確認した。
 3. UAV用マイクロフォンアレイは、RASP-MXを組み込んだ一回り大きい球形マイクロフォンアレイ（16チャンネル）を開発した。素子数が12チャンネルから16チャンネルに増加し、UAV機体が傾いても水平面よりも下側の素子数がほぼ一定となった結果、音源定位が安定するようになった。また、UAVから視野外の被災者の声に対しても音源定位が可能となり、音源位置を実時間で提示する公開デモを第5回実フィールド評価会で行った。従来、音源探索ではUAVの高度と音源方向から地上位置を求めていたが、地上の起伏に対応するために、早稲田大学グループが事前に測定した3Dポイントクラウドデータを使用し、音源の地上位置の精度向上を図り、さらに、音源情報の可視化にも役立てた。無線通信については、NICTグループとの共同研究を進め、通信方式等詳細を詰めた。プロペラの風切り音低減のために、千葉大グループの静音プロペラ使用時の音量の低減化を可視化し、その有効性が確認できた。
 4. マイクロフォンアレイ長時間録音装置は、使用条件や個体差もあるが1日数秒狂うものがあった。上記2項と同様に高性能水晶発振器を使用し、月差で数秒以内に抑えることができた。この結果、仮想的に同期可能な分散型マイクロフォンアレイの使用が視野に入ってくると、IMUのデータの揺れという新たな問題が顕在化してきた。マイクロフォンアレイの絶対方位が狂うので、音源定位に含まれる相対的な方向情報に曖昧性が無視できないことが判明した。
 5. 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が僅少であることが昨年度判明したので、音源分離についてもこれまでの膨大なデータで検証した結果、同じくほとんど差がないことが判明した。
 6. サイバー救助犬で、収録音からパンディングの判定の依頼が東北大グループよりあった。まず、収録音からパンディングかどうかのアノテーションを人手で行い、次に、各種判別手法を試みて、識別能力を比較した。その結果、フレーム単位での識別は難しく、イベント単位の識別だとMFCC, ΔMFCC , ΔPower の組合せが識別性能がよいことが判明した。
 7. 12月5日に第14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、リアルタイム音声強調や新しい話者追跡機能を追加したHARK

2.4版をオープンソースで公開した。さらに、6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. 配管内位置推定システムの有線式の装置化、無線式の装置化を行った。さらに、ソフトウェアはROS化したので、どのようなロボットでも簡単に移植可能となった。
2. 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人の叫び声や土管の中からの叫び声に対する音源位置推定が実時間でできることが実証できた。その成果はSensorsに投稿し、採録、掲載された。また、JRM等にも論文を投稿した。
3. 長時間記録型マイクロフォンアレイ（16チャンネル）を複数台使用した分散型マイクロフォンアレイ（array of array）の同期技術の可能性が明らかになった。
4. オンライン音声強調の方式上の新しさが音声処理のトップジャーナルIEEE TASLPに掲載された。IROS-2017ではロボット聴覚研究論文の発表が分散していたので、IROS-2018ではorganized session on robot auditionを提案し、採択された。

2-3 新たな課題など

1. 細径索状ロボットについては、新しい機体への対応が不可欠である。
2. 太径索状ロボットの配管内位置推定は、単独センサー化が終了したので、新たな機体への対応とソフトウェアのモジュール化が不可欠である。また、画像、触覚などの情報を統合化した配管地図作成等GUIや可視化が次の重要課題である。
3. 最終年度の飛行ロボットの実フィールド評価会では、球形マイクロフォンアレイ内に収容されたRASP-MXを用い、UAV上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、通信の安定化させるとともに、NICTグループのUAV用無線インフラを使用した長距離化を図り、画像データの転送チャンネルの確保が不可欠である。そのために、来年度の第6回実フィールド評価会に向けた実験を行い、問題点の洗い出しが不可欠である。
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29年12月5日、第14回HARK無料講習会、6日第4回ハッカソンを共催し、極限音響チームの基礎技術を中心に、講習会と実習を実施した。また、細径索状ロボット用音声強調システムのライブデモを実施した。
2. 平成29年6月19～20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4回実フィールド評価会で、新型細径索状ロボットの音を使った姿勢推定、および、実時間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と地図表示の公開デモを行った。飛行ロボットは、マイクロフォンアレイに組み込んだRASP-MXでローカルに音声定位を実施した。

3. 平成 29 年 11 月 10～11 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 5 回実フィールド評価会で、噴射型細径索状ロボットで、音を使った姿勢推定、二段階音声強調デモ（本グループがオンライン音声強調を、東大グループがオフライン型音声強調を担当）の公開デモを実施した。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新型モジュールを使用し、配管内位置推定と配管形状の可視化（京大グループ担当）の公開デモを実施した。飛行ロボットは、IROS-2017 で瓦礫下からの声も探索可能かとの質問に答えるために、地上にいる人の声だけでなく、土管の中にいる人の声の探索のデモを実施した。