

令和 2 年 6 月 9 日現在

機関番号：32714

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K00140

研究課題名(和文) マイクセンサを用いた高精度屋内位置検出と環境音による行動推定手法およびその検証

研究課題名(英文) High accuracy indoor positioning and context estimation by sound using microphone and verification

研究代表者

田中 博 (TANAKA, HIROSHI)

神奈川工科大学・情報学部・教授

研究者番号：00434415

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：超音波やスペクトル拡散音という特殊な音を用いていたTDOA法による測位手法に対して、音源を問わない測位法を提案、実証した。TDOA法では参照とする受信点と各受信点での音波の受信時間差を求める必要がある。従来必要であった受信側に送信側と同じ音源情報であるレプリカを持たずに受信時間差を求める構成を提案した。ここで、高精度に時間差を検出するために従来の相関法からCSP法を適用するとともに、時間差算出のための基準とする参照点の選択方法を考案した。実際の利用空間の広さを確保した実験の結果、音源として選択した電子レンジ、ガス漏れ警報器、ドローンの飛行音で位置検出ができることを示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

従来、位置検出のための音源は超音波やスペクトル拡散された音源が使用されていた。このとき、位置検出の対象(例えば、室内走行ロボット)に、この音を出す専用の機器を取り付けなければならない。一方で、ドローンのように自ら音を出しているものがある。位置検出のための音源を限定することなく、その物体が出す音で位置を検出できれば、検出用の音源が不要になる。一方環境音源から音の識別も可能であるが、これらは前記と同様、マイクセンサとPC内でのソフトウェア処理で実現できる。報告者は各種室内のアラーム音の識別技術も提案、実証した。これは聴覚に障害がある方に音とは別の形で危険を知らせることを可能にするものである。

研究成果の概要(英文)： We proposed and demonstrated a positioning method by TDOA regardless of sound source. The special sounds such as ultrasonic waves and spread spectrum sounds were used in this positioning system. In the TDOA method, it is necessary to detect the difference in the reception time at the reference reception point and each reception point. We proposed a configuration that calculates the reception time difference without having a replica, which is the same source information for both the transmission and reception side. Here, in order to detect the time difference with high accuracy, the CSP method was applied in place of the conventional method, and a method of selecting a reference point for calculating the time difference was clarified. As a result of the experiment that secured the space of the actual use condition, it was shown that the accurate position could be obtained by the microwave oven selected as the sound source, the gas leak alarm, and the flight sound of the drone.

研究分野：情報通信

キーワード：マイクセンサ 屋内測位 位置検出 TDOA 音源識別 機械学習 アラーム音 スマートフォン

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

音源には多様な種類があり、その工学的な利用も多岐に渡っている。人の発声の音声認識や音響関係が主要な研究領域であると思われるが、その他にも室内での位置検出(屋内測位)、短距離間でのデータ伝送、各種音源の識別による間接的な生活状況推定や危険検知など、多方面からの研究が個別に展開されている。

音源位置を検出する研究は、主として音源の方向の検出に関するものであり、その位置を高精度に検出する研究は音源が限定されていた。これらの研究では超音波、拡散コードで変調を行った拡散音源という特殊な音源を用いたものであり、高精度な(誤差数 cm 以内)の測位を実現できる方式であるものの、適用対象が限定されていた。屋内で発生する多様な音源の位置を推定することができれば、多様な利用につなげられると期待される。

先に述べたこれらの各種技術は、マイクセンサ、増幅器、D/A 変換を介して PC に取り込み、PC 内での各種処理によって実現されているものである。ハードの観点からの構成は各技術で同一であり、ソフトウェアによる信号処理が異なるだけである。したがって、これらの技術を統合するプラットフォーム(基盤)を構成し、その上に各アプリケーションを実現することは大きな意味があると思われる。

2. 研究の目的

マイクセンサが取得する音を利用して、下記に示す各技術を新たに開発・検証し、音を利用する共通プラットフォームとしての実現を目指す。構成と個別技術課題を図 1 に示す。

(1) データ伝送機能と位置検出機能の共存

音は電波と同じ波である。電波を用いたデータ(センサ情報等)の送受信と同様に、位置検出用の音源を用いてデータ伝送機能を実現する。位置情報とセンサ情報の取得を同一構成で両立する。

(2) 専用音源から音源を問わない位置検出

音源が限定されていた位置検出の手法を各種室内音源でも可能な手法へと拡張する。このことにより、専用音源を取りつけた位置検出対象以外の音源の位置検出が可能になり、技術を多様な利用に展開可能とする。

(3) 音源の識別と応用システム

各種室内の音源アラーム音(ガス漏れ警報器、呼び出しピンポンなど)の識別方法とその達成精度を明らかにする。識別結果を音以外の方法で知らせる。これは聴覚障害者や高齢などによる難聴の方への QoL (Quality of Life) 向上を目指すものである。

3. 研究の方法

(1) データ伝送機能と位置検出機能の共存

センサデータを測位用の音に埋め込むため、図 2 に色付けした部分(音の変調によるデータ伝送機能)をソフトウェアで追加実装した。測位音源に受信タイミング検出のためのスペクトル拡散を施す前に、0、1 からなるデータ系列を用いて 1 次変調を行い、受信側で逆拡散、復調する方式である。MATLAB シミュレーションによって手法の妥当性を確認後、位置検出とセンサデータ送受信の機能を統合し、提案手法を確認、評価した。

(2) 専用音源から音源を問わない位置検出

筆者らの位置検出は GPS と同じ原理である TDOA (Time Difference Of Arrival) 法を用いている(図 3)。これは音源からの音を複数のマイクセンサで受信し、その時間差を用いて位置を算出する手法である。新たに受信側に送信側と同じ音源データ(レプリカ)を所持しない方法を考案し(図 4)、専用音源を用い

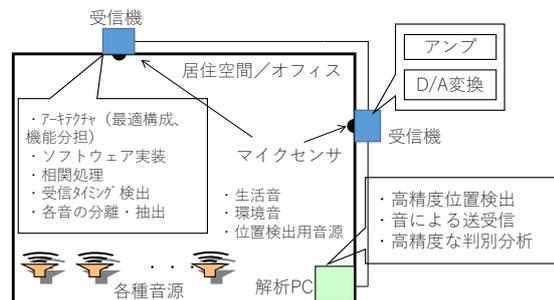


図 1 プラットフォームの構成と技術課題

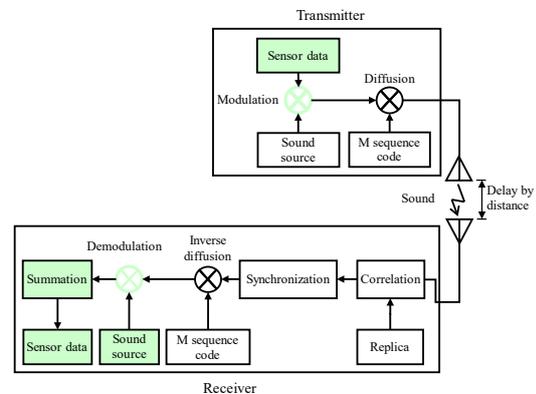


図 2 データ伝送のための構成

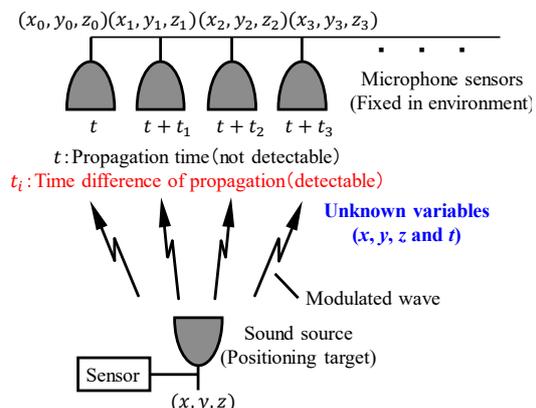


図 3 位置検出の原理 (TDOA 法)

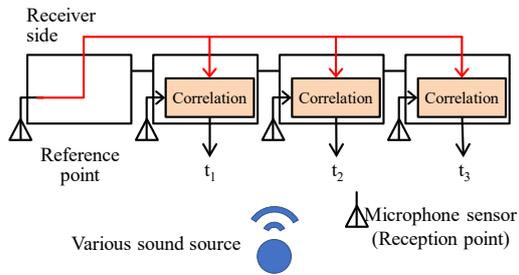


図4 考案した時間差検出の構成

ない構成を示した。そして、受信時間差の検出として CSP (Cross-power Spectrum Phase analysis: 白色化相互相関) 法を適用することにより、検出精度の向上を図った。また、時間差検出のための参照点とする受信点の選択方法を明らかにした。

実験・検証環境として、実際の使用環境の広さを想定した研究室内の空間 (3.8 × 5.1 [m]) の天井にマイクセンサ 30 個を設置した。音源を再現するワンボードマイコンとスピーカ、マイクセンサ出力を取り組むための PC からなる環境を図 5 に示す。

(3) 音源の識別と応用システム

マイクセンサを積極的に利用することにより、位置検出機能と音の識別機能が同一構成で実現できる。屋内のアラーム音を識別対象とした応用例を図 6 に示す。本期間中での検討では 8 種の室内警報機器を取り上げ、識別モデルはニューラルネットワークを用いて作成した。

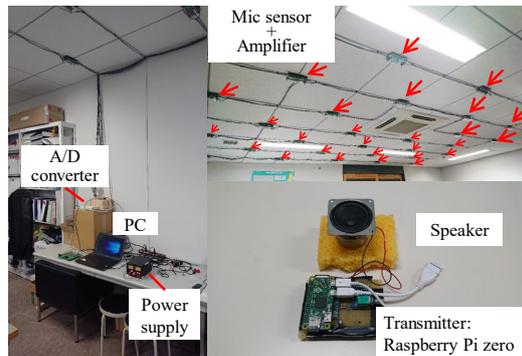


図5 構築した実験・検証環境

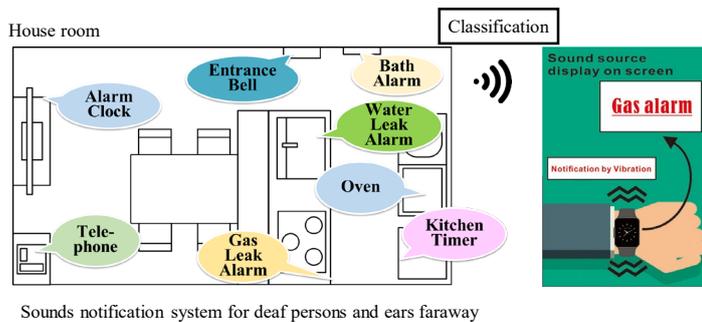


図6 アラーム音識別の応用例

4. 研究成果

(1) データ伝送機能と測位機能の共存

センサ情報を測位用の音源に埋め込み、データ伝送と位置検出機能を検証した。検証のために試作したセンサ付き音源 (図 7) とそれを用いた実験結果を図 8 に示す。位置情報、センサ情報取得という二つの機能を一つのハード構成で実現した。実際の応用による有用性の実証が重要な課題と思われる。

(2) 専用音源から音源を問わない位置検出

従来の相関計算による結果と今回提案した CSP 法による 2 つの受信点間の音の受信時間

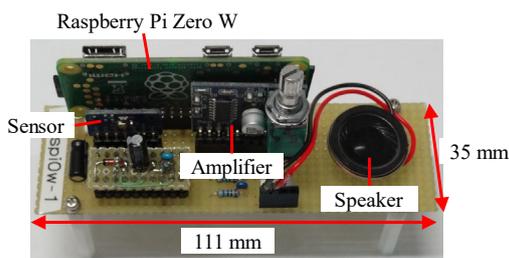


図7 センサデータ伝送機能を具備した音源

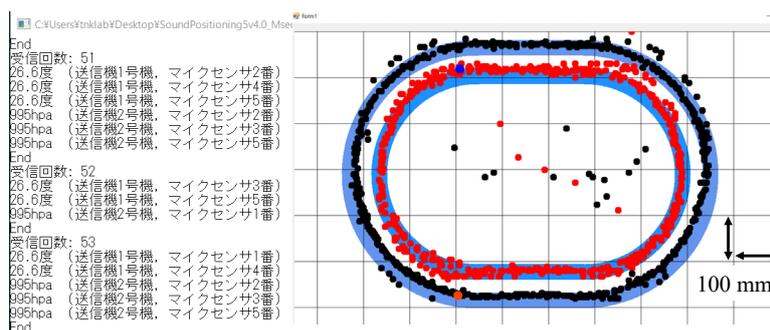


図8 受信したセンサデータと位置検出結果

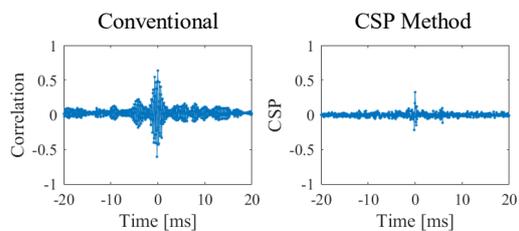


図 9 受信時間差の検出

差結果である。ピーク位置が受信時間差を示すが、CSP 法がより明瞭に検出できることが確認できた (図 9)。専用音源である拡散音、電子レンジ、火災警報器、そして移動ロボットであるドローンの音を用いた測位実験を行った。RMS 誤差としてそれぞれ 133.6、331.7、154.4、156.2 [mm] 程度の誤差に抑えられる結果を得た。ドローンの飛行音による移動軌跡の測定結果を図 10 に示す。赤色で示す移動させた実際の軌跡をほぼ正しく検出していることを確認した。

音源を問わない、という観点で技術的なインパクトは大きいと思われる。自ら出す音を利用して自分の位置を検出し、移動制御に利用する実証システムの開発とともに、さらにより高精度化に向けて (現在の数十 cm から数 cm へ) の検討も重要と思われる。

(3) 音源の識別と応用システム

ニューラルネットワークにより学習モデルを作成し、そのモデルを Raspberry Pi に実装し、アラーム音の検知とその識別結果をユーザのスマートフォンに送信する図 11 に示すシステムを構築した。室内の 8 種の各種アラーム音の識別方法を検討し、ニューラルネットワークを用いて 90% 程度の精度で識別ができることを確認した。聴覚に障害を持つ方への支援など社会的なニーズと連携することにより、本技術はより効果的になると考えられる。識別精度は環境雑音の影響を受けるが、雑音除去、信号分離技術の取り込みが課題である。

これら明らかにした要素技術は、マイクセンサが検知する音の信号から多領域への応用を可能するプラットフォームを構築する上での基盤技術であり、また、それらを一部ではあるが統合し実証した意義は大きいと考える。環境雑音がある中での位置検出精度、音源識別性能の向上が継続的な課題である。

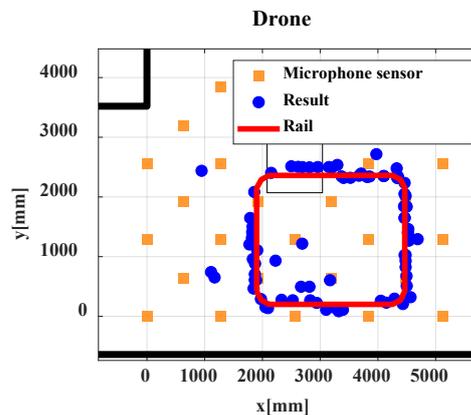


図 10 ドローンの飛行音による実験結果

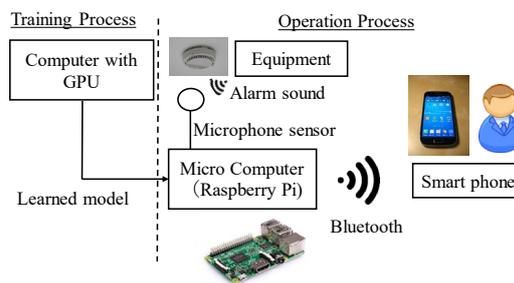


図 11 アラーム音通知システムの構成

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計7件（うち査読付論文 6件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 T. Kadokura, K. Morishita, S. Ioroi, and H. Tanaka	4. 巻 1
2. 論文標題 Proposal and Evaluation of a Data Transmission Method for using Sound in Accurate Indoor Positioning	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 The Seventh International Conference on Ambient Computing, Applications, Services and Technologies	6. 最初と最後の頁 34-37
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 門倉 丈, 森下 航平, 五百蔵 重典, 田中 博	4. 巻 Vol.9, No.2
2. 論文標題 スペクトラム拡散による音を用いたデータ伝送機能を具備する高精度屋内測位手法の提案と検証	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 測位航法学会論文誌	6. 最初と最後の頁 7-16
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 T. Kadokura, S. Ioroi, and H. Tanaka	4. 巻 8
2. 論文標題 Feasibility Experiment on Position Estimation of Various Sound Sources in Indoor Environment	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 The Eighth International Conference on Ambient Computing, Applications, Services and Technologies	6. 最初と最後の頁 17-20
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 T. Kadokura, K. Watanabe, Y. Yanagiya, E. Shiombing, S. Wafiqi, Y. Sudo, and H. Tanaka	4. 巻 1
2. 論文標題 Initial Investigation of a Notification System for Indoor Alarm Sounds using a Neural Network	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Human-Computer Interaction International 2019, LNCS 11570	6. 最初と最後の頁 219-231
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 T. Kadokura, Y.Hashizume, S. Ioroi, and H. Tanaka	4. 巻 1
2. 論文標題 Initial Investigation of Position Determination of Various Sound Sources in a Room	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 The Ninth International Conference on Ambient Computing, Applications, Services and Technologies	6. 最初と最後の頁 14-18
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 門倉 丈, 川喜田 佑介, 五百蔵 重典, 田中 博	4. 巻 10
2. 論文標題 白色化相互相関法を用いた受信時間差検出による屋内各種音源の測位手法とその実験的評価	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 測位航法学会論文誌	6. 最初と最後の頁 23-32
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Y. Hashizume, T. Kadokura, Y. Kawakita, and H.Tanaka	4. 巻 1
2. 論文標題 Study and evaluation of noise reduction method for alarm sound classification	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 International Workshop on Nonlinear Circuits, Communications and Signal Processing	6. 最初と最後の頁 271-274
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計17件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件)

1. 発表者名 門倉 丈, 森下 航平, 五百蔵 重典, 田中 博
2. 発表標題 屋内測位用音源への情報データ埋め込みに対する伝送特性の評価
3. 学会等名 平成29年度測位航法学会全国大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 森下 航平, 門倉 丈, 五百蔵 重典, 田中 博
2. 発表標題 測位用音源を用いた情報伝送の提案とその評価
3. 学会等名 第71回情報システム研究会, IS-17-042, pp.17-22
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 門倉 丈, 森下 航平, 五百蔵 重典, 田中 博
2. 発表標題 情報伝送機能を具備する高精度屋内測位手法の提案
3. 学会等名 2017電子情報通信学会ソサイエティ大会, B-18-5, p.266
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 門倉 丈, 森下 航平, 五百蔵 重典, 田中 博
2. 発表標題 音波を用いた高精度屋内測位システムにける拡散率と測位精度に関する実験的検討
3. 学会等名 GPS/GNSSシンポジウム2017, OS3-6, 1 page
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 森下 航平, 門倉 丈, 五百蔵 重典, 田中 博
2. 発表標題 非可聴音を用いた情報伝送機能を具備する高精度屋内測位手法の提案とその評価
3. 学会等名 HCGシンポジウム2017, C-2-1, 7 pages
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 門倉 丈, 森下 航平, 五百蔵 重典, 田中 博
2. 発表標題 音波を用いた高精度屋内測位システムにける拡散率と測位精度に関する実験的検討
3. 学会等名 第73回情報システム研究会, IS-18-014, pp.67-72
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 門倉 丈, 五百蔵 重典, 田中 博
2. 発表標題 スペクトラム拡散を用いた屋内測位システムにおける拡散率と環境雑音に対する評価
3. 学会等名 平成30年度測位航法学会全国大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 門倉 丈, 五百蔵 重典, 田中 博
2. 発表標題 室内環境における各種音源の位置推定のための一検討
3. 学会等名 2018電子情報通信学会ソサエティ大会, B-18-1, p.285
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 門倉 丈, 五百蔵 重典, 田中 博
2. 発表標題 室内音源の位置推定のための受信時間差の測定と評価
3. 学会等名 GPS/GNSSシンポジウム2018, 1 page
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 門倉 丈, 川喜田 佑介, 五百蔵 重典, 田中 博
2. 発表標題 室内環境における各種音源の位置推定手法とその基礎的評価
3. 学会等名 電子情報通信学会 ASN研究会, ASN2018-73, pp.109-114
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 門倉 丈, 渡辺 滉平, 柳谷 吉風, 須藤 康裕, 田中 博
2. 発表標題 ニューラルネットワークを用いた室内アラーム音の識別とその報知システムの基本検討
3. 学会等名 電気学会 第77回情報システム研究会, IS-19-018, pp.91-96
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 門倉 丈, 柳谷 吉風, 渡辺 滉平, 須藤 康裕, 田中 博, 小川 雛子, 酒屋 尚子, 小林 潤一郎
2. 発表標題 ニューラルネットワークを用いた室内アラーム音の報知システムの提案
3. 学会等名 2018電子情報通信学会総合大会, B-18-7, p.358
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 門倉 丈, 五百蔵 重典, 田中 博
2. 発表標題 各種音源を対象とした室内測位プラットフォームの構築とその基本確認
3. 学会等名 測位航法学会全国大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 橋爪裕貴, 門倉 丈, 田中 博
2. 発表標題 アラム音源識別性能向上のための環境雑音除去の基本検討
3. 学会等名 電子情報通信学会 ソサイエティ大会, B-15-2, p.245
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 門倉 丈, 橋爪裕貴, 五百蔵 重典, 田中 博
2. 発表標題 各種室内音源を対象とした測位手法と基本実験結果
3. 学会等名 電子情報通信学会 ソサイエティ大会, B-15-45, p.288
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 門倉 丈, 橋爪 裕貴, 川喜田 佑介, 田中 博
2. 発表標題 アラム音源の識別性能向上のための環境雑音除去の基礎的評価
3. 学会等名 電子情報通信学会 SeMI研究会, SeMI2019-114, pp.57-62
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 門倉 丈, 橋爪 裕貴, 川喜田 佑介, 五百蔵重典, 田中 博
2. 発表標題 アラム音源の識別精度向上のための学習データへの雑音重畳に関する実験的検討
3. 学会等名 電子情報通信学会 総合大会, B-15-24, p.481
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 田中 博, 五百蔵重典	4. 発行年 2018年
2. 出版社 コロナ社	5. 総ページ数 166
3. 書名 IoT時代のデータ処理の基本と実践	

〔産業財産権〕

〔その他〕

神奈川工科大学 田中(博)研究室
<http://www.tnklab.ic.kanagawa-it.ac.jp/tanakalab/index.htm>

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	五百蔵 重典 (IOROI SHIGENORI) (20318992)	神奈川工科大学・情報学部・教授 (32714)	
研究分担者	西村 広光 (NISHIMURA HIROMITSU) (70329308)	神奈川工科大学・情報学部・教授 (32714)	