

テレワーク環境におけるアンビエントセンサを用いた 作業者の状態推定に関する実験

磯 和之^{1,a)} 由井 蘭 隆也^{1,b)}

概要：本研究では、テレワーク環境におけるアウェアネス支援を目指し、離れた場所で働く人同士が、互いに相手の状態を共有する手法を提案する。作業を行う空間内に、マイクロフォンと距離センサを設置し、取得したデータをクラスタリング分析を行い自動的に作業状態を分類し推定する手法を検討している。マイクロフォンと距離センサを組み合わせたプロトタイプモジュールを作成した。製作したプロトタイプモジュールを使用し、2時間のデータ収集実験を行った。収集したデータを k-means 法によりクラスタリング分析を行い、作業者がテレビ会議をしている状態や、机上の作業、離席中などの状態を分類する性能を検証した。

キーワード：テレワーク, IoT, k-means 法, アウェアネス支援

A Trial of Worker's State Estimation on Teleworking using Ambient Sensors

ISO KAZUYUKI^{1,a)} YUIZONO TAKAYA^{1,b)}

Abstract: An estimation method that uses both microphone and distance sensors is presented in this research. A prototype of the ambient sensor method that uses a combination of a microphone and a distance sensor was developed and tested. During the 2-hours test, a user works at a desk, and may leave the room. k-means clustering method was applied to the data obtained from both the sensors to classify physical states of the remote worker: talking in video conference, writing or key typing on a desk, and leaving a seat, etc.

Keywords: Telework, IoT, k-means clustering, Awareness support

1. はじめに

近年、就労形態が多様化し、テレワークに対する注目が集まりつつある。一方、広帯域ネットワークと SNS サービスの普及により、遠隔地にいる人同士の協調作業が簡単に実現できる環境が整い、自宅やリモートオフィスなどを使って協調して働くことが容易にできるようになってきた。しかし、離れた人同士において、同じ空間で働いていたときは簡単にできていた相手の差漁場教の把握や、頻繁

に行われていた細かな情報交換等がやりにくくなることで、突然、電話などで割り込みをしてしまったり、相手の作業の進捗状況などがわからなくなるなど、同じ場所で作業が行っていれば当たり前に行えることができなくなり、協調作業が円滑に進まない状況が発生する。

遠隔作業におけるアウェアネス支援については、多くの研究が報告されている [1], [2], [3], [4]。また、小型計算機と様々なセンサ機器がネットワークで接続することが可能になり、作業者の周辺の状況を把握するために、様々な情報を取得することが可能になってきた。そこで、我々は、これらの IoT 技術を活用し、作業者の状態を推定することで、遠隔にいる人同士が互いに相手の状況共有できるアウェアネス支援の研究に取り組んでいる。遠隔にいる作業

¹ 北陸先端科学技術大学院大学
Japan Advanced Institute of Science and Technology 1-1
Asahidai, Nomi, Ishikawa 923-1292, Japan

a) iso.kazuyuki@jaist.ac.jp

b) yuizono@jaist.ac.jp

者が、作業場所にいる様子や、どのような作業をしているのかなどを推定することを目指している。遠隔に居る人同士が互いに簡単に話しかけたり、業務の様子を把握することができるようになることで、テレワークを支援できると考えている。

一方で、テレワークは自宅などで行う場合がある。このような場合には、プライバシーに対する配慮が必要である。作業者の周辺に作業者の家族などが存在したり、プライベートな空間が存在することがあるため、カメラ等を設置すると、作業者および、その家族は、常に遠隔から監視されているような状態となり、作業者の心理的な負担が大きいと考えられる。テレワークを行う場所として、自宅などを使用することを考慮し、作業時間以外はプライベートな空間であることを前提としたシステム設計が必要であると考えている。

そこで、我々は、環境にセンサを埋め込みながらも、作業者に負担がかからない形で作業者の状態を推定できるシステムの開発を目指している。

2. 関連研究

従来より、人の状態を推定する技術が数多く提案されている。本稿では、人の状態を推定する手法として、次の3つに分類（「人の周辺にあるセンサを用いる手法」、「人にセンサを装着し状態を知る手法」、「人が使用する計算機等の操作ログから推定する手法」）して考える。

人の周辺にあるセンサを用いる手法:

作業空間にセンサを設置し、そこから取得する情報から、作業者の状態を推定することが可能である。Kennedy ら [5] は、環境に設置したマイクロフォンから作業者の状態を推定している。ただし、作業者同士の会話の内容から状態を推定するため、会話をしていないときの状況を推定する手法が必要である。Otsuka ら [6] は、カメラを用いて作業者の状態を取得している。カメラからは作業者の姿勢、表情なども取得することができ、様々な情報を取得することができる。しかし、プライベートな空間となる自宅等へのカメラの設置は、設置する場所に住んでいる人の心理的な負担が大きい。自宅等を活用するテレワークにおいては、テレビ電話などを使用している時以外はカメラの利用は制限した方がよい。Laput ら [7] は、家庭内に設置した複数のセンサを組み合わせた1つのモジュールで、家の中の家電の動きや、暖炉や水道の利用の状況など、様々な状況を識別する手法を提案している。カメラ等の利用はせず、プライバシーに配慮した設計としている。この知見は、協調作業におけるアウェアネス支援にも応用可能と考えられる。

人にセンサを装着し状態を知る手法:

Murao ら [8] は、作業者にセンサを装着する手法を提案している。作業者に装着した加速度センサなどから情報を取得し、作業者の状態推定を行っている。センサと作業者個人を結びつけることが可能であり、作業空間内に複数の人が存在する場合においても、各作業者の状態を識別することが容易である。しかし、専用のウェアやセンサなどは導入するのにコストがかかり、正確な情報を取得するためには、作業者が正確に装着しなければならないなど、作業者の負担もある。

計算機の操作ログから推定する手法:

作業者が使用しているパソコンやサーバ等の操作ログから作業者の状態を判別する方法がある。Hashimoto ら [9] は、パソコンの操作ログから遠隔地にいる作業者の状態を推定し、作業者の状態を共有する手法を提案している。計算機上の作業に限定して考えると、正確かつ詳細な情報を取得することができ効果的な方法である。しかし、作業者の作業がパソコン等に限定され、それ以外の作業をしている状況は推定することはできない。パソコンを使用していないときの状態を推定する手法が別に必要となる。また、近年、企業の情報セキュリティ等への対応が厳密に行われるようになってきている。PCの操作ログなどを直接的にアクセスすると、利用中のアプリケーションだけでなく、作業で扱っている情報なども直接的にアクセスできる可能性もあり、ネットワークを介して共有する場合には、情報セキュリティへの配慮をしたシステム設計が求められる。

3. 提案手法

本研究では、会議中の人の発する音声とともに、人の動きや物の動きなどによる振動音などもサンプリングするマイクロフォンとセンサ周辺の人の有無などを検出するための距離センサのデータから作業者の状態を推定する手法を提案する。これらのセンサは、小型であり、部屋の様々な位置に配置が可能な物と考えている。センサ同士が干渉することもないため、センサを複数配置することも容易であり、部屋の中にある家具などの配置に影響されことなく作業者の状態を取得することが可能である。また、マイクロフォンで音をサンプリングする際の周波数は、作業者の状態を推定精度を確認しながら、可能な限りサンプリングレートを下げる検討をしている。サンプリングレートを下げることで、音声は明瞭に聞き取りにくくなり、プライバシーへ配慮した設計が可能となるとともに、センサモジュールの計算性能も低く抑えることができる。

マイクロフォンと距離センサで取得したデータは、クラ

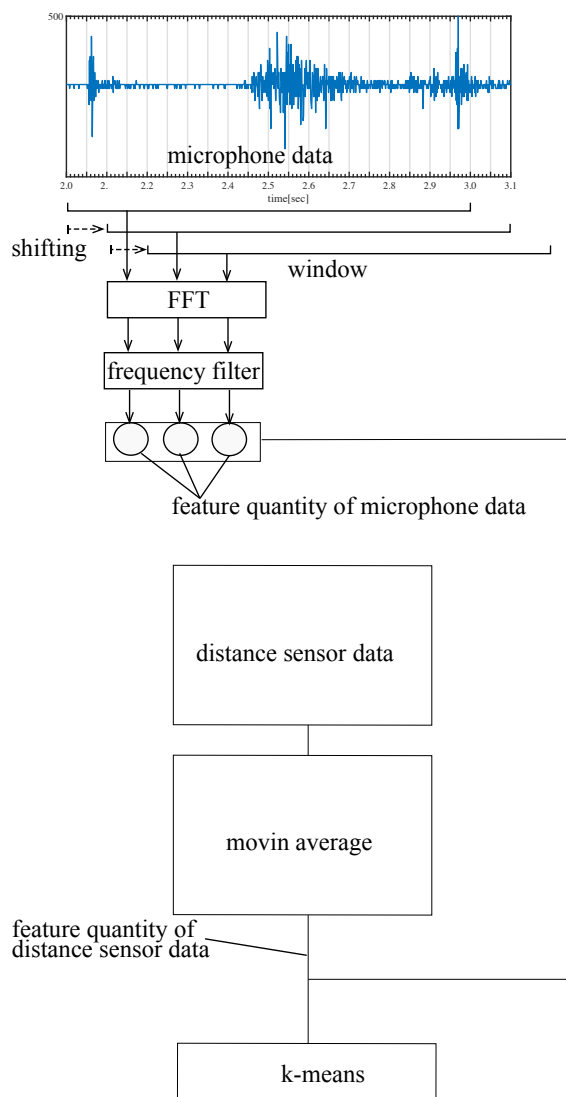


図 1 マイクロフォンと、距離センサからの特徴量の計算方法
Fig. 1 Method of calculating feature quantity using data obtained from microphone and distance sensor.

スタリング分析を行い自動的に分類する。クラスタリング分析へ入力する際の特徴量の計算方法を図 1 に示す。マイクロフォンで収集した音は短時間フーリエ変換を行い特徴量としている。距離センサのデータは、時間平均をとり、特徴量としている。

本研究では、クラスタリング分析の手法として、k-means 法を用いた。k-means 法は教師データをいらないクラスタリング手法であり、シンプルなアルゴリズムであるため、将来的に小型の IoT 機器内でも分析可能と考えている。また、テレワークにおける作業環境は、作業者がいる場所それぞれで大きく異なるため、教師データの作成をせずに、その環境でクラスタリング分析を行い、モデル作成できる手法を選択した。

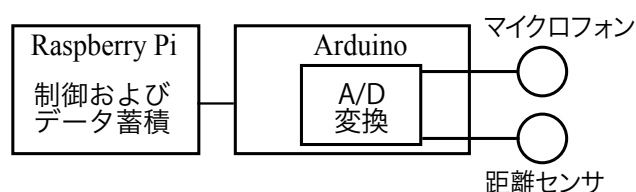
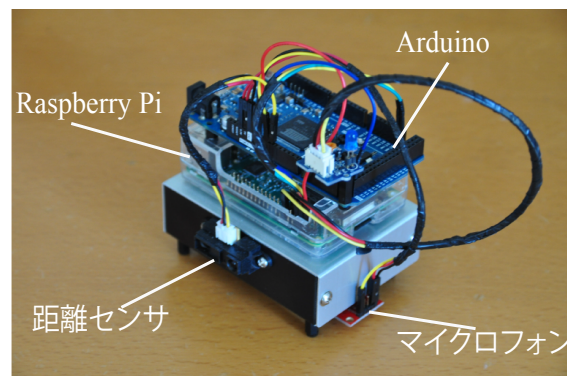


図 2 作業者の状態を推定するためのセンサのプロトタイプ
Fig. 2 Worker State tested using the Prototype Module.

4. 実験

4.1 プロトタイプの開発

我々は振動センサと距離センサを用いて、机上の作業状態を識別する手法の提案を行っている [10]。振動センサと距離センサから机上の作業の状態などを分類できることを確認している。本研究では、以前に作成したプロトタイプの振動センサ部分をマイクロフォンへ改良したプロトタイプを開発した (図 2)。

マイクロフォンと距離センサのデータは、Arduino の A/D 変換を使用し、同期してサンプリングを行うのは従来通りである。Arduino で取得したデータは、プロトタイプセンサに組み合わせた Raspberry Pi へ転送し蓄積される。今回、蓄積されたデータは、PC でクラスタリング分析を行う。

4.2 実験方法

実験は、図 3 のような部屋で行った。プロトタイプモジュールは、机上に設置している。作業者が、椅子に座って PC でドキュメントの作成、Web の閲覧、テレビ会議による会議などを行うほか、部屋の出入りや、PC を使わずに机上で紙への筆記や工具を使った作業などを行っている状

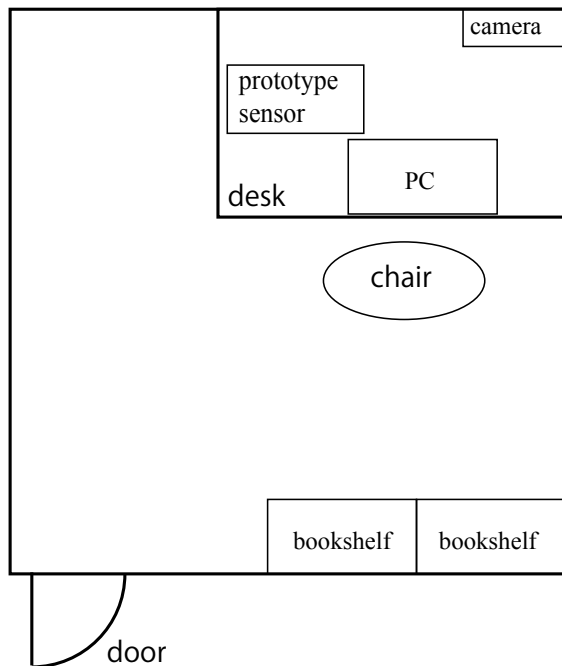


図 3 実験用の作業場所
Fig. 3 a trial room

況において、プロトタイプモジュールのセンサデータを2時間収集した。今回は、同時に作業の様子を記録するためにカメラも設置している。今回の実験では、マイクロフォンと距離センサのサンプリング周波数は7[KHz]である。

4.3 実験結果

プロトタイプモジュールで収集したマイクロフォンと距離センサのデータから計算した特徴量を図4,5に示す。これらのデータの特徴量として、k-means法によりクラスタリング分析を行った。作業者の状態とクラスタリング分析した結果に対して、1分ごとにヒストグラムを計算した結果を図6に示す。今回、同時に撮影したビデオ映像から作業者の状態を確認し次の6つのラベル付けを行った。

- a. 離席し部屋にいない状態
- b. 離席しているが頻繁に部屋を出入りしている状態
- c. Web等を閲覧し静かに机上で作業をしている状態
- d. キーボード等を使い机上で音の出る作業をしている状態
- e. 人が発話し会議等をしている状態
- f. その他の他の動作

図4,5より、机上の作業において、会議で発話している音や、キーボード等の操作をして音がマイクロフォンで取得されていることがわかる。また、作業者が机の付近にはいないが、部屋の出入り等の音が取得できていることが確認された。

図6より、「a. 離席し部屋にいない状態」、「b. 離席し

ているが頻繁に部屋を出入りしている状態」は、すべて1のクラスタに分類されている。「c. Web等を閲覧し静かに机上で作業をしている状態」、「d. キーボード等を使い机上で音の出る作業をしている状態」は、10, 11のクラスタに分類される頻度が高く2つの状態を区別することが難しい。「e. 人が発話し会議等をしている状態」は、10, 11よりも4, 5に分類されている頻度が高い時間帯が多い。

5. 考察

今回の実験結果から、「a. 離席し部屋にいない状態」、「b. 離席しているが頻繁に部屋を出入りしている状態」は、a,bの2つの状態を区別することはできなかったが、c,d,eの他の状態と明確に区別されていた。距離センサの値が大きく異なるため、この2つの状態は区別しやすい。一方で、「e. 人が発話し会議等をしている状態」は、10, 11よりも4, 5に分類されている頻度が高い時間帯が多く、マイクロフォンで取得した人の発話の有無などの特徴が、作業者の状態の分離に寄与している可能性が示唆される。一方で、4,5,10,11には、それぞれ作業者の状態が複数含まれており、現時点では2時間のデータの検証となるため、さらに長時間のデータを取得した上で精度の検証を行いたい。また、音のデータの周波数成分の分布(図4)より、他の時間帯の音と会議中との間で1kHz付近の成分の違いは見られるが、より顕著な特徴量の抽出を行うことで、作業者の分類がより精度良く行えると考えている。作業者の状態を反映した特徴を検討し、特徴量の抽出方法なども検討したい。また、近年、小型で安価な様々なセンサが市販されており、作業者の作業を反映した物理量を見極めた上で、新たなセンサとの組み合わせなども検討する。

今回クラスタリング分析に用いたk-means法は、以前の研究[10]で使用したself-organizing map(SOM)と比較し、シンプルで計算量が少ない手法である。センサモジュール内で使用しているRaspberry Piなどの小型計算機で計算できる可能性がある。センサで取得する情報は短時間ではそれほど大きくないが、長時間取得することで大きな情報となる。分類された後の状態のみを通信するようにすれば通信するデータ量の大幅な削減が可能となる。また、音声データなどは会話の内容なども含まれる可能性があるため、プライベートな情報の共有も抑制できる可能性がある。今後、対象としている状態の推定に対して、SOMとのクラスタリング精度の比較などを行い、使用する分析手法を決定していきたい。

本実験では、「a. 離席し部屋にいない状態」、「b. 離席しているが頻繁に部屋を出入りしている状態」、「c. Web等を閲覧し静かに机上で作業をしている状態」、「d. キーボード等を使い机上で音の出る作業をしている状態」、「e. 人が発話し会議等をしている状態」の状態とセンサデータのクラスタ分析との比較を行った。テレワークを行った際、

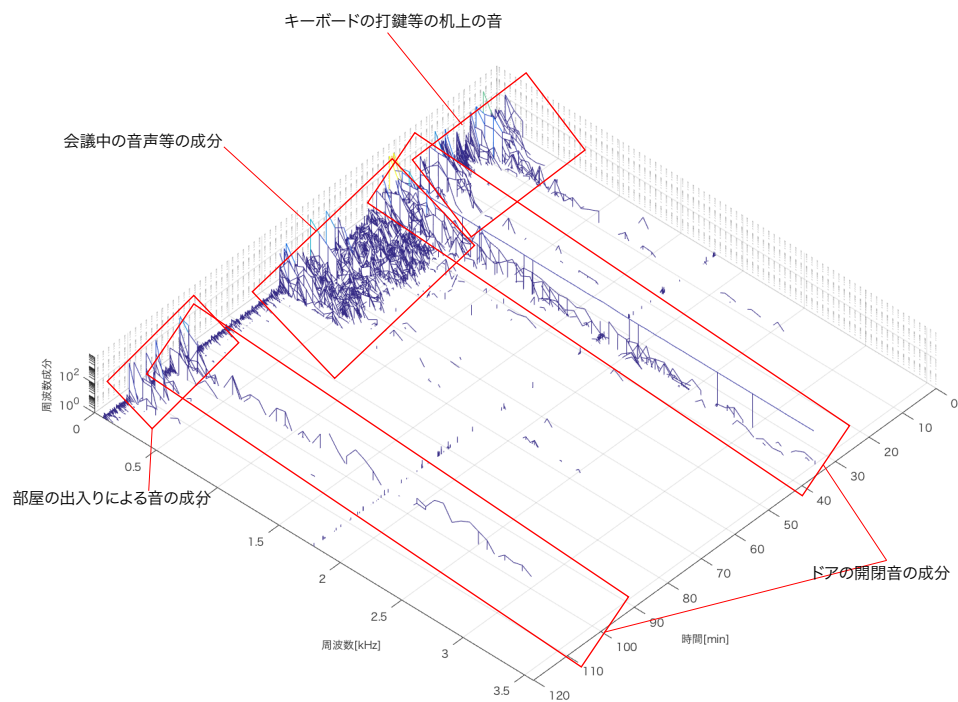


図 4 マイクロフォンのデータと短時間 FFT の結果

Fig. 4 Results of a short-time Fourier transform of the sound

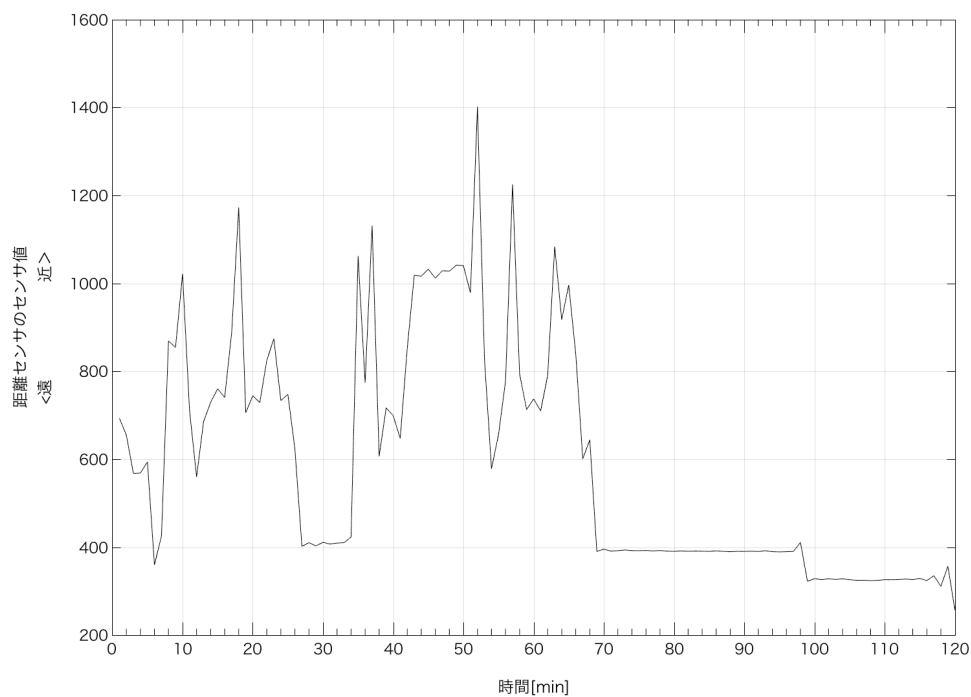


図 5 距離センサデータの移動平均の結果

Fig. 5 Moving average of the distance sensor.

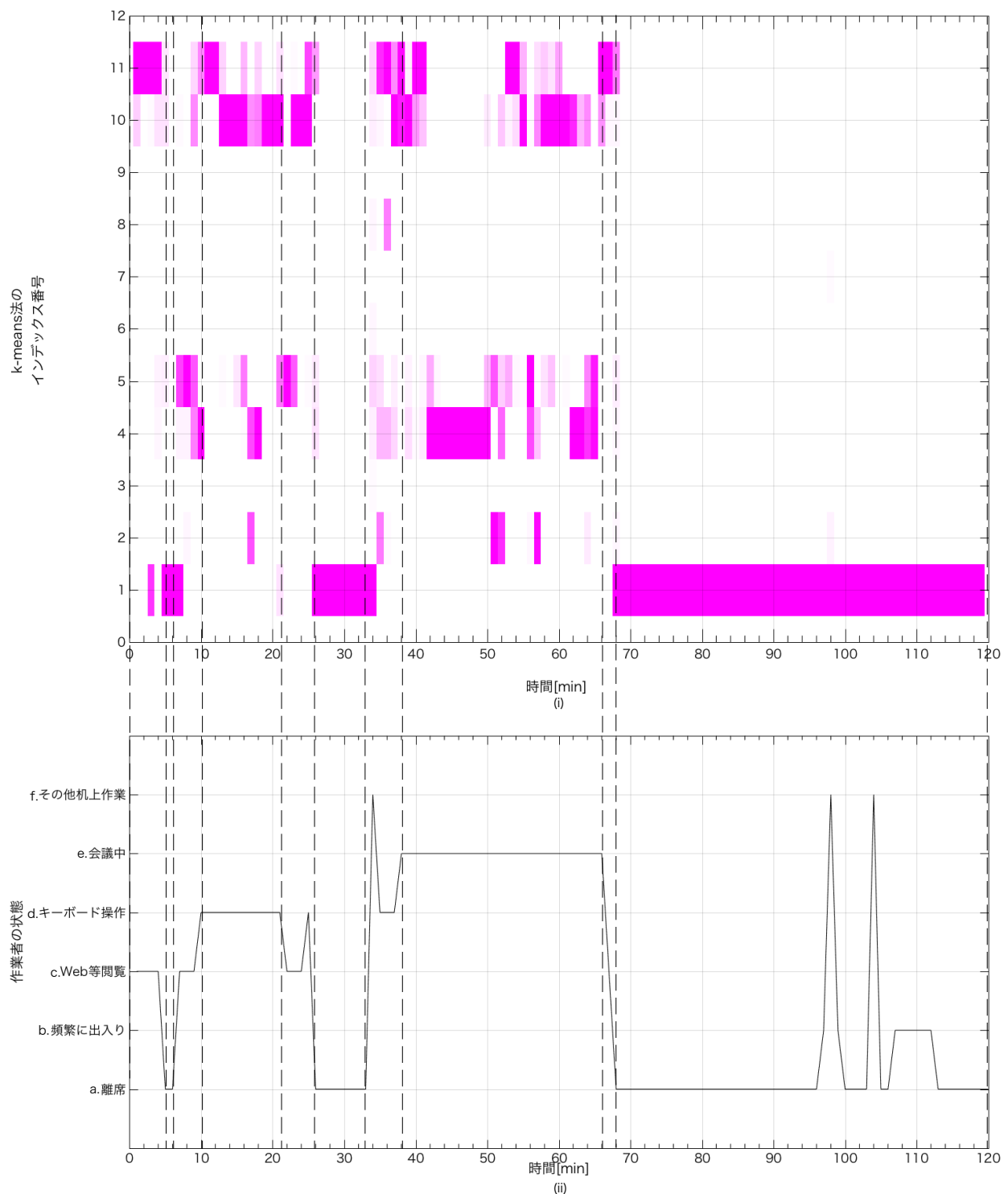


図 6 (i):k-means 法でクラスタリングした結果を 1 分毎のヒストグラムを取った結果.
(ii): 各時間帯の作業者の状態

Fig. 6 (i): Cluster number histogram of k-means method.
(ii): Worker states.

これらの状態の共有がどのように利用できるかを考えてみたい。a の状態については、長時間この状態が作業時間の中で続くようであれば、管理者は作業者の不在、作業の中

断を認識できる。作業を管理監督する立場の人との間では重要な情報となる。b の状態は、机付近にはいないが音がするような場所に居る状態なので、付近に作業者がいるこ

とが確認できる。作業内容によっては、机上ではなく部屋の広い場所などで行う作業もあると思われるため、bの状態も識別できることは有用である。今回の実験では、aとbの状態が分類できていないため、原因を検討し、今後の精度の向上を進めていきたい

cの状態は、机上に入るがあまり音がしない状態であり、通常業務中であればWeb等を使って関係する情報を探している状況や、業務に関連する資料やメール等を閲覧している状態と考えられる。その一方で、eのキーボード等の打鍵の音がしている状態は、資料の作成、メールの作成、ソースコードの作成など行っている状態と考えられる。cの状態が長く続いているようであれば、eの状態や、dの会議中の状態などと比較すると、遠隔からの割り込みなどがしやすい状態と考えている。

今後、これらの各状態とテレワークにおける有用性などを検証し、外部からの割り込みやすさなどが実際の協調作業に寄与するかなどを評価するため、双方向の実験などを行っていく予定である。

6. おわりに

人の発話なども集音可能なマイクロフォンと距離センサを組み合わせたプロトタイプモジュールを開発した。プロトタイプモジュールを用いて2時間のデータ収集実験を行った。収集したデータのクラスタリング分析を行った結果、机上の作業は、会議中とその他の作業を分類できる可能性があることは示された。しかし、推定精度を向上させるためには、特徴量の抽出方法や、使用するセンサなどの改良は必要と考えている。分類手法には、計算量が少なく、教師データも不要なk-means法が適用できることが確認できた。今後は、センサモジュール内での分類処理などを実装することで、遠隔地間での状態共有などの効果などを評価していきたいと考えている。

参考文献

- [1] Dourish, P. and Bellotti, V.: Awareness and Coordination in Shared Workspaces, *Proceedings of the 1992 ACM Conference on Computer-supported Cooperative Work*, CSCW '92, pp. 107–114 (1992).
- [2] Rodden, T.: Populating the Application: A Model of Awareness for Cooperative Applications, *Proceedings of the 1996 ACM Conference on Computer Supported Cooperative Work*, CSCW '96, pp. 87–96 (1996).
- [3] Gutwin, C. and Greenberg, S.: Design for Individuals, Design for Groups: Tradeoffs Between Power and Workspace Awareness, *Proceedings of the 1998 ACM Conference on Computer Supported Cooperative Work*, CSCW '98, pp. 207–216 (online), DOI: 10.1145/289444.289495 (1998).
- [4] Gutwin, C. and Greenberg, S.: A Descriptive Framework of Workspace Awareness for Real-Time Groupware, *Comput. Supported Coop. Work*, Vol. 11, No. 3, pp. 411–446 (2002).
- [5] Kennedy, L. S. and Ellis, D. P. W.: Pitch-based emphasis detection for characterization of meeting recordings, *2003 IEEE Workshop on Automatic Speech Recognition and Understanding (IEEE Cat. No.03EX721)*, pp. 243–248 (2003).
- [6] Otsuka, K.: Multimodal Conversation Scene Analysis for Understanding People's Communicative Behaviors in Face-to-face Meetings, *Proceedings of the 1st International Conference on Human Interface and the Management of Information: Interacting with Information - Volume Part II*, HCII'11, Berlin, Heidelberg, pp. 171–179 (2011).
- [7] Laput, G., Zhang, Y. and Harrison, C.: Synthetic Sensors: Towards General-Purpose Sensing, *Proceedings of the 2017 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '17, New York, NY, USA, ACM, pp. 3986–3999 (2017).
- [8] Murao, K. and Terada, T.: A Combined-activity Recognition Method with Accelerometers, *Journal of Information Processing*, Vol. 24, No. 3, pp. 512–521 (2016).
- [9] HASHIMOTO, S., TANAKA, T., AOKI, K. and FUJITA, K.: Improvement of Interruptibility Estimation during PC Work by Reflecting Conversation Status, *IEICE Transactions on Information and Systems*, Vol. E97.D, No. 12, pp. 3171–3180 (2014).
- [10] Iso, K., Kobayashi, M. and Yuizono, T.: A Method for Estimating Worker States Using a Combination of Ambient Sensors for Remote Collaboration, *Collaboration Technologies and Social Computing*, Cham, Springer International Publishing, pp. 22–28 (2017).