

参加型センシングの分担作業の効率化を支援する シミュレータの提案

重田 航平¹ 田島 誠也¹ 岩井 将行^{2,1}

概要: GPS や加速度センサなど様々なセンサを搭載したスマートフォンが普及してきており、個人でも環境をセンシングできるようになってきた。個人でセンシングできるようになったことでユーザー参加型環境センシングという考えが生まれ、様々な研究が行われている。我々は世田谷区という広範囲で、実際にユーザー参加型環境センシングを行うプロジェクトを企画し、実装、運用を行った。本稿ではその際に得られた知見を基に、ユーザ参加型センシングにおけるユーザへの分担作業の効率化するシミュレータを提案する。本シミュレータにより、参加ユーザが事前に計測すべきグリッドを分ける戦略である「事前グリッドフィルストラテジ」と、事前に調整しない「ナイーブストラテジ」を比較した。ユーザ参加型センシングの参加者は平均移動距離は約-4%に最大距離は約-22%に減少させることに成功したことを報告する。

1. ユーザ参加型センシング

GPS 受信機、加速度センサ、マイク、照度センサなど様々なセンサを搭載したスマートフォンが世界的に普及していることを背景として、一般ユーザの持つスマートフォンを用いて都市空間の環境情報を空間的・時間的に詳細に収集するユーザ参加型環境センシングの実現が期待されている [1]。スマートフォンによるユーザ参加型環境センシングと、従来のセンサネットワークの大きな違いとして、センサ精度が劣るというデメリットが挙げられる一方、ある測定地点に対して複数のセンサ機器がセンシングをすることができるという特長が挙げられる。

このユーザ参加型環境センシングを用いて構築した騒音モニタリングシステムを用いて、特に都市地域における住宅環境の再評価 [2] を行うことや、住民の精神的ストレスなどの健康被害を抑えること [3] が期待されている。

このスマートフォンによる参加型環境センシングに関しては、様々な研究 [2], [3], [4], [5] がなされているが、多くが小規模な実験を基にしたシミュレーションを用いた研究であり、実際の都市地域で大規模な歩行センシングによって騒音情報を収集した研究例は無い。本研究では、このユーザ参加型環境センシングの社会的な意義を示すために、総

面積約 60km² の世田谷区内全域の騒音情報を 2700 箇所の目標地点をのべ 40 人のユーザによって歩行によって計測を行った。

1.1 関連研究

スマートフォンに搭載されたマイクからの音声情報を用いて、ユーザの周囲の状況を識別する研究が盛んに行われている。S. P. Tarzia らの研究 [7] では、背景音をスペクトル解析し、周波数と各成分の音圧の大きさを Wi-fi フィンガープリントの様に用いることによって屋内の位置情報を取得する手法を提案している。また、H. Lu らの研究 [6] では、計算資源の限られた携帯端末上で、音声情報を音楽、会話などにカテゴライズする手法を示している。

マイクによる音声情報から、非常に多くの情報を取得することが可能である一方、携帯端末上で処理するには多くの計算資源と電力消費を必要とするため、連続的に処理する手法は現実的ではない。一定間隔でマイク情報を取得し、カメラ情報や他のセンサ情報と複合的に用いることによって、ユーザの位置を推定する研究もなされている [8]。

一般ユーザのマイク情報から音量情報を取得し、都市環境に関する情報を取得する研究が盛んに行われている。R. K. Rana らの研究 [9] では、Nokia N95 と HP iPAQ を用いた騒音センシングシステムを実装し、取得したデータとシミュレーションを用いることによって詳細な騒音地図を構築するための補間技術の提案を行っている。本研究で紹介された補間技術を用いることによって、複数の地点の騒音情報から、未知の地域の騒音情報を推定することが可能と

¹ 東京電機大学未来科学研究科情報メディア学専攻
Tokyo Denki University, Graduate School of Science and Technology for Future Life

² 東京電機大学未来科学部情報メディア学科
Tokyo Denki University, School of Science and Technology for Future Life, Department of Information Systems and Multimedia Design

なる。S. Santini らの研究 [3] では、騒音センシングのためにスマートフォンに搭載されたマイクと騒音計を比較し、校正の必要性があることを示している。また、周波数ごとにスマートフォンのマイクと騒音計を比較することによって、スマートフォンのマイク特性を考慮した端末間校正手法を示している。また、E. D'Hondt らの研究 [4], [5] では、Nokia5230 を用いた騒音センシングシステム NoiseTube を構築し、1[km²] の地域の騒音情報を収集し、時系列データとしてのシミュレーションを行っている。

スマートフォンを用いた騒音センシングの研究は多くなされているが、一般ユーザの歩行の中でヒューマンエラーに着目してそのデータの校正やフィルタを詳しく研究した事例はない。現実的にさまざまなユーザが各自の生活の合間に参加することを鑑みると利用的な環境で理想的なデータを想定しすぎている懸念がある。

1.2 論文構成

本論文の構成と各章の概要は以下の通りである。第2章ではポイント巡回型ユーザ参加型センシングについての説明を行う。第3章ではポイント巡回型センシングシミュレータの解説と考察を行い、第4章でまとめを行う。

2. ポイント巡回型ユーザ参加型センシングの事例

工場や病院などの施設についてセンサでは集められない情報を集めたい場合などユーザの主観的なデータ収集が有用であると考えられるケースでは、今までの参加型センシングのようなセンサデータだけ収集する形式ではなく、ユーザに該当箇所（ポイント）を巡回して計測を行ってもらう形式が有効であると考えられる。

本章では、ポイント巡回型ユーザ参加型センシングの例と総面積約 60[km²] の世田谷区内全域の騒音情報を収集したセンシング歩行実験について説明する。

2.1 騒音センシングシステムの実装と世田谷区域内センシング実験

スマートフォンによる参加型環境センシングでは、一般ユーザの携帯端末から情報取得することを想定しているため、ある地点における環境情報を複数のセンサ機器で取得することができる。本研究では、このユーザ参加型環境センシングの社会的な意義を示すために、総面積約 60(km²) の世田谷区内全域の騒音情報をのべ 40 人のユーザによってセンシングを行った。計測には計測用アプリケーションの入った Android 端末を貸出して使用し、計測員には事前説明として計測用アプリケーションの操作説明と計測中の注意を記述したマニュアルを配布した上で口頭説明した。また、計測用アプリケーションでポイント間などの歩行中

のデータも計測を行った。

2.2 無意識的な騒音センシングシステム

スマートフォンを用いて騒音情報を取得するためのシステムを構築するために、Android SDK の API を用いたアプリケーションを開発した。音声情報をビット数 16[bits]、サンプリング周波数 44100[Hz] で取得する。また、音声情報の wave 形式データから等価騒音レベルの導出には、ISO[10] 標準に基づいた処理を行う NoiseTube の手法 [4] を用いた。騒音情報としては、0.5[sec] ごとに GPS 情報と音声情報を取得し、また連続的に音声データを取得する。一般ユーザが歩行中に連続的に取得した位置情報と騒音情報をサーバ側で集約することによって、大規模な環境騒音地図を作成することができる。

2.3 明示的な環境情報計測手順

センシング歩行実験では、歩行時のセンシングの高さとスマートフォンの状況がほぼ一定となるよう、アームバンドを用いてスマートフォンを固定した。計測中は計測用アプリケーションを起動した Android 端末を腕に装着し計測地点まで移動し、計測ポイントの 25m 以内で可能な限りポイントに近づいたところで Save ボタンを押すことでして計測を開始し、その場で 10 秒間計測するものとした。この 10 秒間の連続データを計測地点データとし、歩行中のデータを歩行データとして 500ms 間隔で連続的に収集した。図 2 に世田谷区における参加型センシングの一ユーザの歩行履歴を示す。図 3 に世田谷区全域での計測結果を示す。

計測者が意識しない連続計測データとして、計測日時、GPS 座標、騒音 (dB)、照度、加速度、気圧の 6 つのデータを収集した。また、明示的な目標地点を指定した計測作業として、図 1 に示すようなアプリケーションを開発した。工場の臭いの強さを 3 段階、騒音の要因を 3 段階で主観的に計測し保存出来るようになっている。



図 1 明示的な計測点指示による測定方法

2.4 イレギュラーな計測による問題点

実際にセンシングを行った結果調査前には想定できなかったいくつかの問題が発生した。収集した計測データか



図 2 世田谷区におけるユーザ参加型センシングの一ユーザの歩行履歴

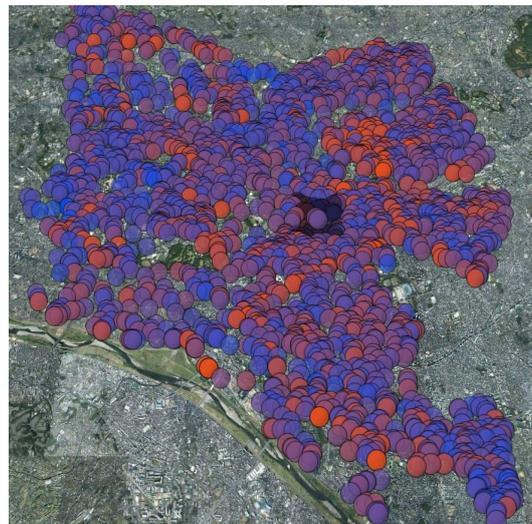
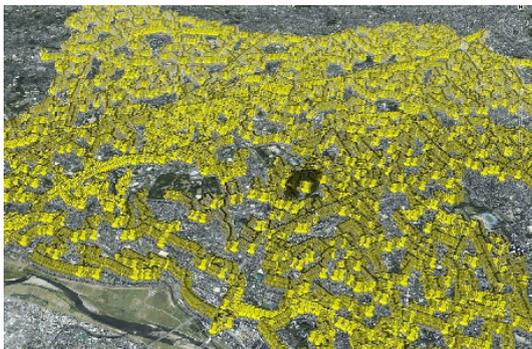


図 3 上図:世田谷区におけるユーザ参加型センシングの歩行軌跡
下図:騒音データの可視化

らデータの欠損、重複などが多く発生していることが判明した。調査するポイントを通過しているのに該当ポイントのデータが欠損している場合があったり、同一計測ポイントのデータが複数あるということがあった。

ポイント巡回型ユーザ参加型センシングでは、このように事前に想定できなかったイレギュラーな問題が多々発生することがわかった。

本稿では、このようなイレギュラーな問題の事前の検知や、ポイントを巡回するユーザの作業効率化のために参加型センシングシミュレータを開発した。

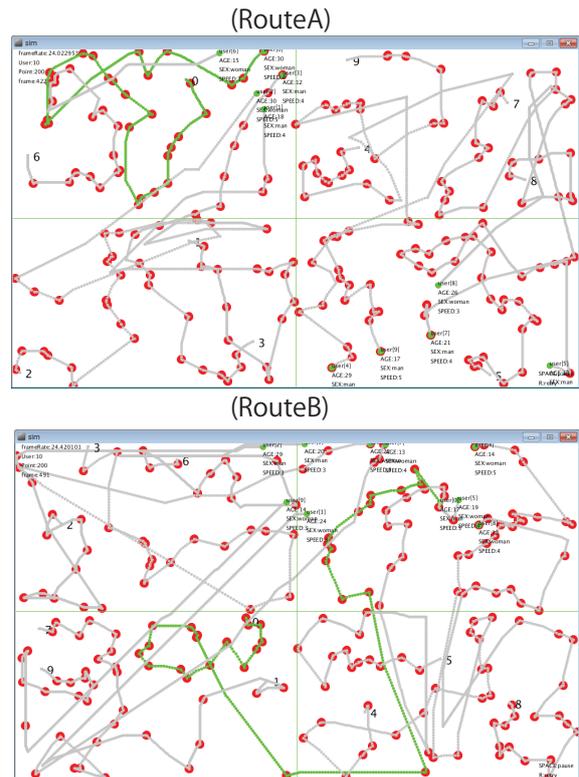


図 4 効率の良いユーザ (RouteA) と効率の悪いユーザ (RouteB)

3. ポイント巡回型 参加型センシングシミュレータ

本章ではシミュレータについて説明する。本シミュレータではユーザの移動を可視化し、ポイントを巡回する様子をリアルタイムに確認できる。また、ログとして出力することができる。本シミュレータにより参加ユーザ数、計測時間、移動距離を推定することが可能となる。図5はシミュレータのスクリーンショットを示す。

ユーザ

- ユーザは緑の円で表示される。
- ユーザの移動経路はユーザごとの色で表示される。

ポイント

- 未計測のポイントは青の円で表示される。
- 計測済みのポイントは赤の円で表示される。
- 計測者に次の行く計測ポイントに予約されていると黄の円で表示される。

3.1 シミュレーションの設定可能項目

本シミュレータのパラメータとして設定可能な項目を以下に示す。

- 計測者数
- 計測者のパラメータ (性別, 年齢, 開始位置, 歩行速度)
- 計測ポイント数
- 計測ポイントのパラメータ (設置位置)
- 計測区域の広さ

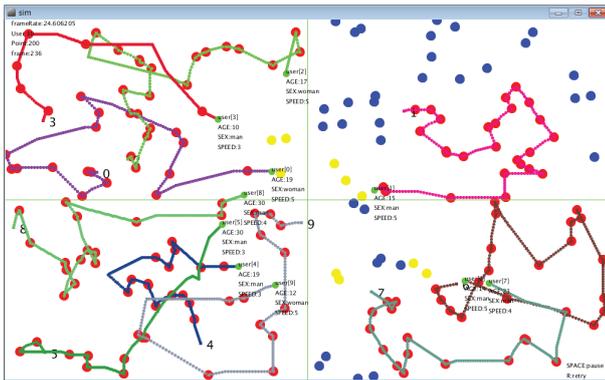


図 5 ポイント巡回型参加型センシングシミュレータのスクリーンショット

3.2 シミュレータの動作の様子

図 6 にシミュレータの動作の様子を示す。まずユーザは 4 つに区切られた区域の内、自分のいる区域のポイントの計測の完了を目指す。自分の区域が終わったユーザは終わっていない区域の手伝いに行く。ユーザは待ち状態だと次の計測ポイントを探る。ユーザは最も近傍の未計測ポイント予約する。予約したポイントが既に他のユーザに予約されていた場合そのユーザとどちらが近傍に存在するかを比較し、より近傍にあるユーザが予約を維持し、遠方にあるユーザは待ち状態へと遷移する。これを全部の計測ポイントが計測済みになるまで繰り返す。

3.3 効率の良い巡回と効率の悪い巡回の比較

図 7 に比較的効率の良いユーザ ($User_0$) の累積計測ポイント数, 図 8 に比較的効率の良いユーザ ($User_0$) の累積移動距離, 図 9 に比較的効率の良いユーザ ($User_0$) の効率 (1 ポイントあたりに要した移動距離) を示す。

図 10 に比較的効率の悪いユーザ ($User_8$) の累積計測ポイント数, 図 11 に比較的効率の悪いユーザ ($User_8$) の累積移動距離, 図 12 に比較的効率の悪いユーザ ($User_8$) の効率 (1 ポイントあたりに要した移動距離) を示す。

図 4 に比較的効率の良いときのユーザと比較的効率の悪いときのユーザの移動経路を示す。図 4 から効率の悪いユーザは自分の区画の計測が終わった後に他の区画の手伝いに行くことで効率が大きく落ちていることがわかる。効率を落とさないためには区画を均等に分けるのではなく、すべての区画が同じくらいに終わるようにユーザ達の移動速度や配置を考慮した区画分けをするなどの改善方法が考えられる。また手伝ってもらう際に手伝う側の移動距離を伸ばさないよう敷居に近いポイントの計測を後に回すような次計測ポイント探索アルゴリズムに改善することが考えられる。

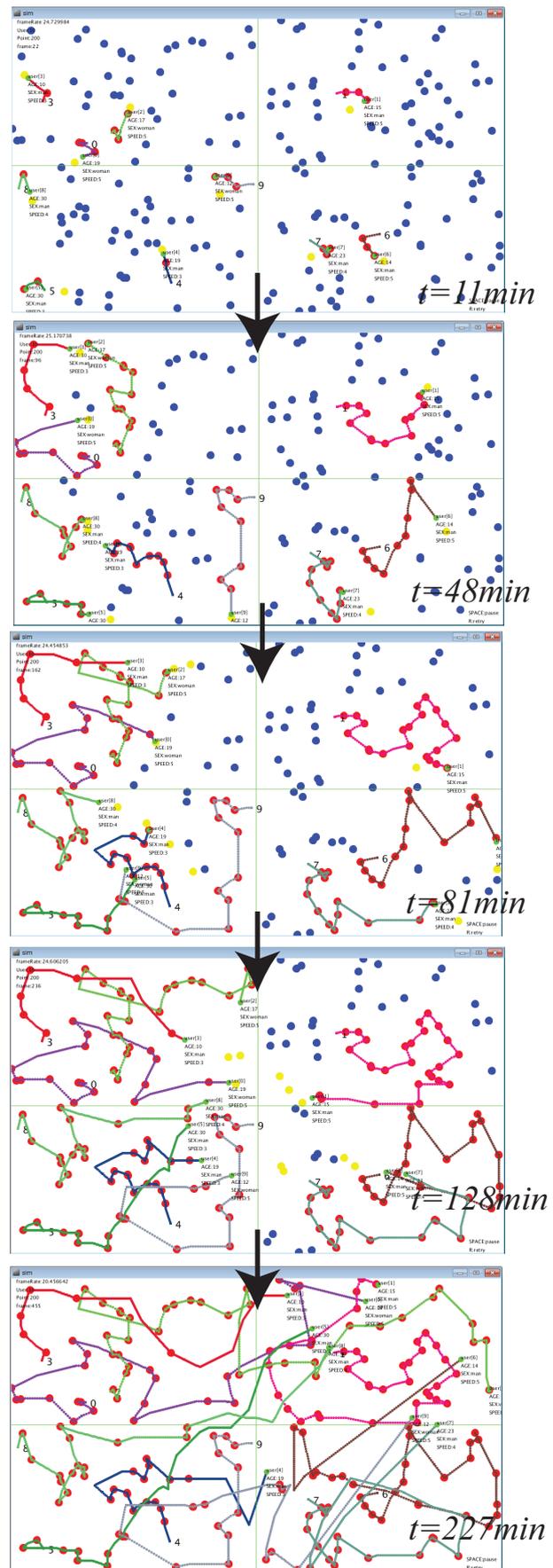


図 6 シミュレータの動作の様子

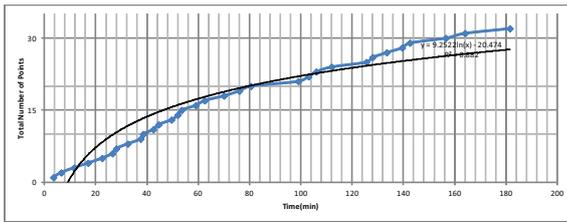


図 7 比較的効率の良いユーザ ($User_0$) の累積計測ポイント数

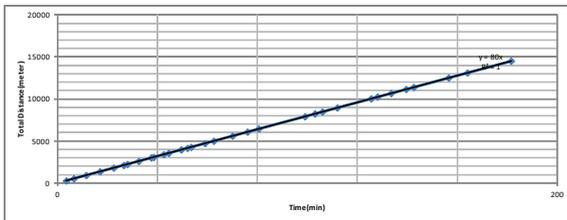


図 8 比較的効率の良いユーザ ($User_0$) の累積移動距離

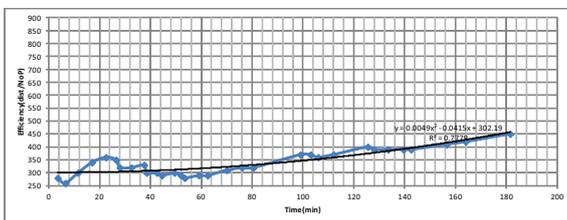


図 9 比較的効率の良いユーザ ($User_0$) の効率 (1ポイントあたりに要した移動距離)

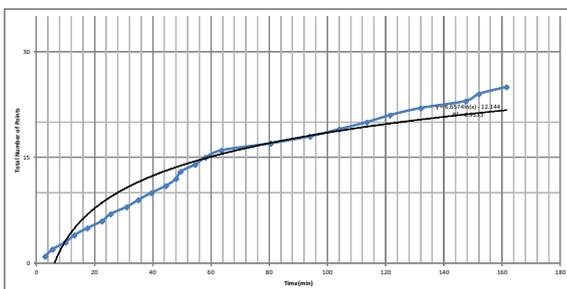


図 10 比較的効率の悪いユーザ ($User_8$) の累積計測ポイント数

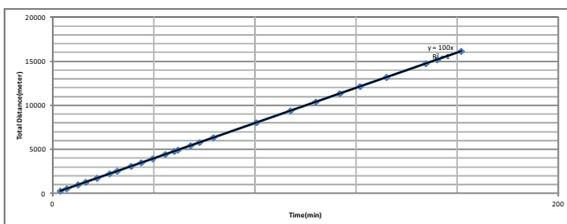


図 11 比較的効率の悪いユーザ ($User_8$) の累積移動距離

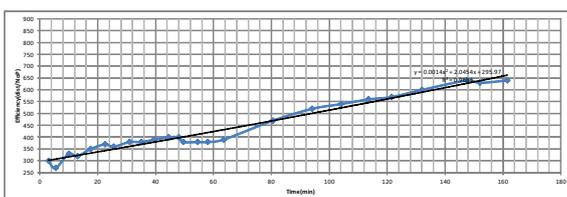


図 12 比較的効率の悪いユーザ ($User_8$) の効率 (1ポイントあたりに要した移動距離)

3.4 ポイント巡回ストラテジー比較

本稿では二つのストラテジを実装した。

- (S1) ナイブストラテジ
- (S1) 事前グリッドフィルストラテジ

ナイブストラテジはユーザが探索するポイントを調整せずに行うストラテジで、事前グリッドストラテジはあらかじめユーザごとに探索するポイントをあらかじめグリッド状に分けて行うストラテジである。

以下のパラメータでシミュレータを行った。

- エリア: 10km x 6km
- 早歩き可能な人物: 33.3% 分速 100m
- 中速歩き可能な人物: 33.3% 分速 80m
- 遅歩き可能な人物: 33.3% 分速 60m
- 巡回点: 200 ポイント
- 人数 10 人

グリッド分けを行わないナイブストラテジの場合には最大距離が 20,550m となり最小は 4,230m で極端にまた平均は 6,246m であった。

事前グリッドフィルストラテジの平均移動距離は 5,997m であり、最大は 16,150m 最小は 7,620m となり平均移動距離は約-4%に最大距離は約-22%に減少させることに成功した。

4. おわり

本シミュレータにより、参加ユーザが事前に計測すべきグリッドを分ける戦略として事前グリッドフィルストラテジと、事前に調整しないナイブストラテジを構築し評価をとった。ユーザ参加型センシングの参加者は平均移動距離は約-4%に最大距離は約-22%に減少させることに成功した。

今後は、次計測ポイントの探索アルゴリズムの見直しや、ユーザのパラメータを増やしより複雑なシミュレーションが行えるよう改善していきたい。

謝辞 本研究の一部は、総務省戦略的情報通信研究開発制度 (SCOPE) 若手 ICT(受付番号:142103025) の一環、また平成 26 年度科研費若手研究 (A) (代表者:岩井将行, 課題番号:25700007) の一部によりて実施されたものである。ここに記して謝意を表す。

参考文献

- [1] N. D. Lane, E. Miluzzo, L. Hong, D. Peebles, T. Choudhury, and A. T. Campbell, "A Survey of Mobile Phone Sensing," IEEE Communications Magazine, vol. 48, no. 9, pp. 140-150, 2010.
- [2] T. Zimmerman and C. Robson, "Monitoring Residential Noise for Prospective Home Owners and renters," 9th International Conference, Pervasive 2011, pp. 34-49, 2011.
- [3] S. Santini, B. Ostermaier, and R. Adelman, "On the Use of Sensor Nodes and Mobile Phones for the Assessment of Noise Pollution Levels in Urban Environments,"

- 6th International Conference on Networked Sensing Systems 2009(INSS), pp.1-8, 2009.
- [4] E. D'Hondt, M. Stevens, and A. Jacobs, "Participatory noise mapping works! An evaluation of participatory sensing as an alternative to standard techniques for environmental monitoring," *Pervasive and Mobile Computing*(2012), doi: 10.10.16/j.pmcj.2012.09.002.
 - [5] N. Maisonneuve, M. Stevens, and B. Ochab, "Participatory noise pollution monitoring using mobile phones," *Information Polity*, Vol. 15, No. 1-2, pp. 51-71 (2010).
 - [6] H. Lu, W. Pan, N. D. Lane, T. Choudhury, and A. T. Campbell, "SoundSense: Scalable Sound Sensing for People-Centric Applications on Mobile Phones," in *Proc. of the 7th ACM Int. Conf. on Mobile Systems, Applications, and Services*(MobiSys '09), pp. 165-178, 2009.
 - [7] S. P. Tarzia, P. A. Dinda, R. P. Dick, and G. Memik, "Indoor Localization without Infrastructure using the Acoustic Background Spectrum," in *Proc. of the 9th ACM Int. Conf. on Mobile Systems, Applications, and Services*(MobiSys '11), pp.155-168, 2011.
 - [8] Y. Chon, D. Lane, F. Li, H. Cha, and F. Zhao, "Automatically Characterizing Places with Opportunistic CrowdSensing using Smartphones," in *Proc. of the 2012 ACM Int. Conf. on Ubiquitous Computing*(UbiComp '12), pp. 481-490, 2012.
 - [9] Rana, R. K., Chou, C. T., Kanhere, S. S., Bulusu, N. and Hu, W.: Ear-Phone: An End-to-End Participatory Urban Noise Mapping System *Proc. The 9th ACM/IEEE International Conference on Information Processings in Sensor Networks*(IPSN 2010), pp.105-116 (2010).
 - [10] ISO, "ISO 266:1997 acoustics - preferred frequencies," 1997.