

ユーザ参加型環境センシングの正確性を向上する ゲーミフィケーションシステムの提案

重田 航平[†] 田島 誠也[†] 中下 岬[†] 岩井 将行[†]

[†] 東京電機大学未来科学部情報メディア学科 〒120-8551 東京都足立区千住旭町5

あらまし 我々は世田谷区という広範囲で実際にユーザ参加型センシングを行うプロジェクトの企画, 実装, 運用を行った. ユーザ参加型センシングにおいて, 計測者の人為的ミスによってデータの欠損や重複が起きることを解明し誤計測のパターンを4つに分類した. 人為的ミスを防ぐためのアプローチとして参加型センシングにゲーミフィケーションを応用することを考察する.

キーワード ユーザ参加型センシング, 環境センシング, スマートフォン, ゲーミフィケーション, ヒューマンエラー

A Proposal of Participatory Environmental Sensing Applying Gamification Method

Kohei SHIGETA[†], Seiya TAJIMA[†], Misaki NAKATUKA[†], and Masayuki IWAI[†]

[†] Tokyo Denki University, School of Science and Technology for Future Life, Department of Information Systems and Multimedia Design

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]~[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[8]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[7]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[9].

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[10]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 章では今回行った世田谷センシング実験についての説明を行う。第 3 章では、ユーザ参加型センシングにおける誤計測パターンの分類。第 4 章では、ユーザ参加型センシングにゲーミフィケーションを応用する提案。第 5 章では、提案するゲーミフィケーションの説明を行う。第 6 章では、今後の展望を述べ、本論文をまとめる。

2. ユーザ参加型センシングによる環境騒音調査

本章では、本研究で行ったスマートフォンによる大規模騒音センシング実験のためのセンシングシステムの概要と実装について述べ、次に総面積約 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述べる。

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 [11] 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。

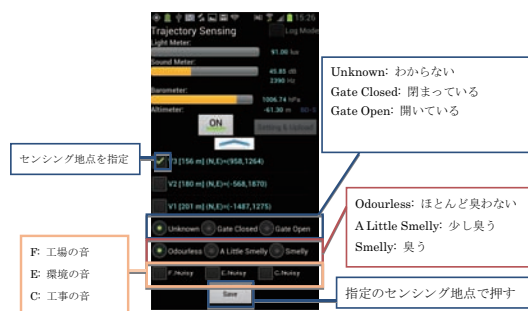


図 1 明示的な計測点指示による測定方法



図 2 世田谷区内全域の騒音センシングのデータ

2.4 経験から抽出された問題点:データ欠損

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。両者とも計測者のミスによる欠損と考えら

れる。今回のセンシングの結果，調査してもらう人に十分に説明した後センシングを行ってもらったが人為的なミスが一定の割合で起きることがわかった。ミスが起きるケースとしては、ポイントが密集している場所での単純な計測ボタンの押し忘れや、該当ポイントを計測すべきことを気づかなかったこと、端末側での操作ミスなどが考えられる。このようなミスはセンシングの際にユーザが意識して注意すれば簡単に防げるはずである。本論文では、ゲーミフィケーションを応用することでユーザのセンシングへのモチベーションを向上させ人為的なミスを防ぎ手法を考察する。

3. ユーザ参加型センシングにおける誤計測パターン

正常の測定経路の場合は図3に示す様に $route(A_i B_i C)$ の順番に計測していく図中の A, B, C は目標計測点を表し，必ず目的計測点 (英語大文字) と実計測点 (英語小文字) との間は計測距離誤差 $dist(A, a), dist(B, b), dist(C, c)$ となる。測定距離誤差は住宅や道路事情により近づけない場合があるため必ず 0 とは成らないが小さい値の方が目標点に近いため好ましい。

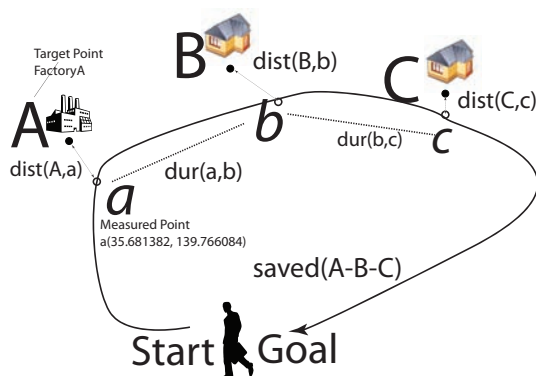


図3 正常時の巡回経路の例

一方計測者自信も人間であるため長期間に渡る明示的な入力が必要とするユーザ参加型センシングでは問題も多く発生する。主には以下に示す4種類であることが経験的にわかった。

- X: 目標計測地点忘却
- Y: 多重計測
- Z: 連続誤計測
- W: 計測点認識間違い

図4には目標計測地点忘却の例を示す。計測参加者はB地点の計測を失念し地点Cに向かってしまったため，B地点の正確なデータが存在しない。経路としては $route(A-C)$ となる。

図5では多重計測の例を示す。測定参加者がA-B地点を計測後に誤って目標計測点Aに戻り再度実計測点 a' を計測してしまった場合の例である。経路は $route(A-B-A-C)$ となりAが多重にデータ取得されている。

図6に連続誤計測の例を示す。目標計測点A付近のaにて実計測後，押し間違いや勘違いなどにより a' を再度計測してしまう事象である。計測参加者が連続して対象点を調査してしまう問題であり前回計測点からの入力間隔時間 ($dur(a, a')$) が極

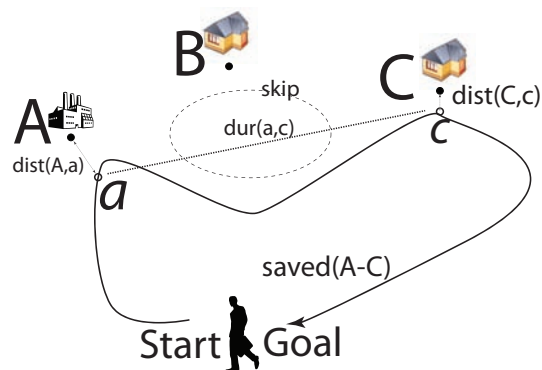


図4 X: 目標計測地点忘却の例

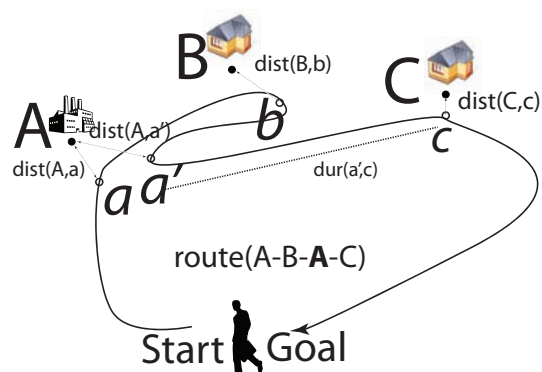


図5 Y: 多重計測の例

端に短くなる傾向にある。

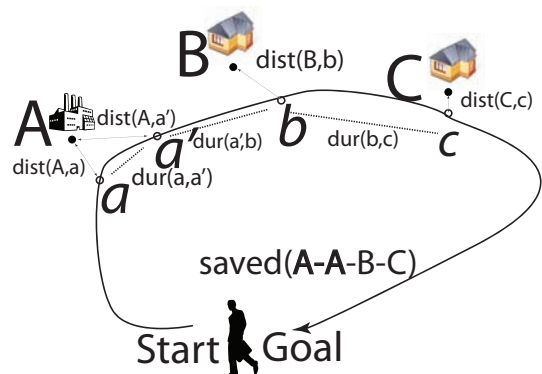


図6 Z: 連続誤計測の例

図7は本来Bとして計測する地点をCとして入力してしまった例でありCをBに変更するように修正を掛けなければ成らない。計測点と目標点との距離に特徴が現れる。

4. ゲーミフィケーションへの応用

今回の実験では計測者に計測を行ってもらう地域を割り当て，午前と午後に時間を区切りその地域の計測を行ってもらった。割り当てられた地域のポイントの分布や交通状態，地形にも影響するが計測の早いユーザでも2時間前後，遅いユーザでは時間内に終わらず午前に始めたにも関わらず，午後になら計測が食い込み4時間に及ぶこともあった。このように長時間に渡る計測によってユーザにも疲労がたまり集中力が低下し，結果と

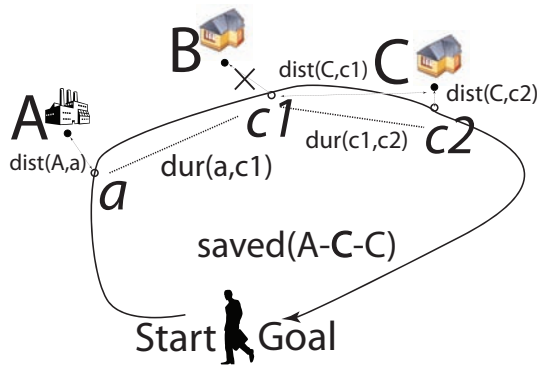


図 7 W:計測点付け間違い

してセンシングアプリの誤操作などによってデータの欠損、重複につながってしまったと考えられる。

長時間集中力を維持し続けることは不可能でも、ユーザの主観によるセンシング時に注意を促すことでアプリの誤操作などのミスは防げると考えられる。しかし、ただ事務的な注意を促したところでユーザは時間が経つにつれそれに慣れてしまい効果が薄れてしまう。そこでユーザを活性化し、ユーザを飽きさせないなどといったゲームの特性を利用したゲーミフィケーションの技法を用いることでユーザのモチベーションの維持、向上する手段を考察する。

ゲーミフィケーションの技法の代表的なものとしてグラフィカルであることや競争、報酬などといった点があげられる。

まず、グラフィカルであるということについては、より現状のアプリケーションは必要最低限の機能が備えてあるだけで視覚的にセンシングの進捗や、センサデータが正しく取れているかどうかわかりにくく、ユーザのモチベーションの低下につながる。現在の進捗などをグラフィカルに一目で理解できるようにするなどの工夫が必要である。また、計測したデータも現状では数値のみなのでユーザ側には達成感が沸きづらく、計測ミスにも気付きにくい。進捗をプログレスバーで表示する、計測データを簡易グラフにして表示するなどといった改善方法が考えられる。

次に競争だが、今回の世田谷センシングでは計測区域をユーザごとに割り振って行った。しかし、計測ポイントは多いが密集している区域や、逆に計測ポイントは少ないがポイントが分散している区域、他にも道が入り組んでいる、坂が多いなどに区域ごとに様々な差があった。ユーザ同士を競争させてユーザの特性を明確にすることで、有限である人的リソースを最適な場所を割り振ることが可能となる。またユーザ自身にも特定の特性に優れているということを示すことでユーザのモチベーションの向上につながる。

最後に報酬について、ゲーミフィケーションではゲーム内通貨や達成感、バッジと呼ばれるアイコン画像を獲得などさまざまな形の報酬があるが最もわかりやすいものとして金銭的報酬が上げられる。本実験でも計測参加者には金銭的報酬を払っている。しかし、本実験では計測の成果に関わらず一定の報酬を払っている。計測の成果に応じた報酬、つまりより良いデータを収集しようと努力した人が努力していない人に比べて多く報

酬がもらえるということにすればユーザはより良いデータの収集を目指してくれるはずである。そこでより良いデータを収集しようとするかどうかが判別する手法が必要である。次章にて説明する。

5. 個人の計測スキルポイント制の導入

誤計測の少ない計測者の方がより良いデータの収集に努力したと考えられる。誤計測の多い計測者は再計測を必要にさせたりとセンシングにとって迷惑になるとも考えられる。第3章の誤計測パターンの分類から、誤計測には計測対象点と計測実行点間の距離、計測点間の時間、計測回数の3点が関わっていることがわかる。上記の3点に数値化し、基準を設ける。計測を行うごとに、基準によって誤計測の「疑わしさ」のポイントを加算していき、最終的に計測回数で割り「疑わしさ」の平均を求める。ユーザごとに誤計測の「疑わしさ」の平均値をもとめることで、ユーザがどのくらい計測に対して「疑わしい」行動をしているかどうかを比較することが可能になる。以下にどのようにポイントを振っていくかを説明する。

5.1 計測対象点と計測実行点間の距離 $dist(A, a)$

計測方法で述べたように計測対象点と計測実行点間の距離は短い方が理想である、道路事情から入れないなどの理由から25m以内で計測できなかったデータも存在する。また、計測実行点が計測対象点から遠いということは別の計測対象点と誤って保存されている可能性なども考えられるため不確定さは大きく、逆に計測実行点が計測対象点に近ければ近いほど不確定は小さいと考えられる。今回計測した全ての目標計測点とそれに対する計測実行点の距離をグラフ化したものを図2に示す。

図8の分布から計測実行点と計測対象点間の距離を基にしたデータの疑惑の大きさの重み付けとして、偏差値を算出し、100で割った値を誤計測の疑惑の大きさとした。値は[0-1]間で1に近いほど誤計測疑惑が大きく、0に近いほど誤計測疑惑が小さいとみなす。

目標計測点—実計測点間距離の分布

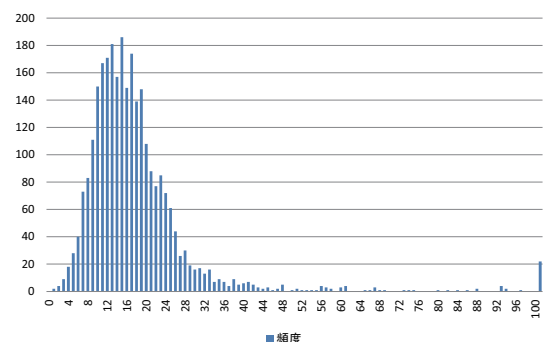


図 8 計測対象-計測実行点間距離の分布 $dist(A,a)$

疑惑計測点—正規計測点間距離

items n

distance $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$

distance average m_{dist}

$$\sigma_{dist} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - m_{dist})^2}{n}}$$

$$T_{dist} = 50 + \frac{10 \times (x_i - m_{dist})}{\sigma_{dist}} (i : items)$$

5.2 計測時間間隔 $dur(a, b)$

計測を開始してから 10 秒間のセンシングを行うことを考えると開始から 10 秒以上の間隔が必要である。また、地点を計測した後、通常であれば次の地点の計測まで移動などを考えるとある程度の時間間隔が空くことが考えられる。時間間隔が極端に短い場合、セーブボタンの 2 度押しや、チェックの付け間違いなどの理由でセンシングを複数回行い重複データが発生している可能性高いと考えられる。また次の地点へ移動している場合でも時間間隔が極端に短い場合には距離的にも次の地点と近いと考えられるため計測地点を誤っている可能性が他の地点に比べて高いと考えられる。そのため時間間隔が短いほど計測データの不確定さは大きいと考えられる。本計測した全ての計測地点間の時間間隔をグラフ化したものが図 9 である。

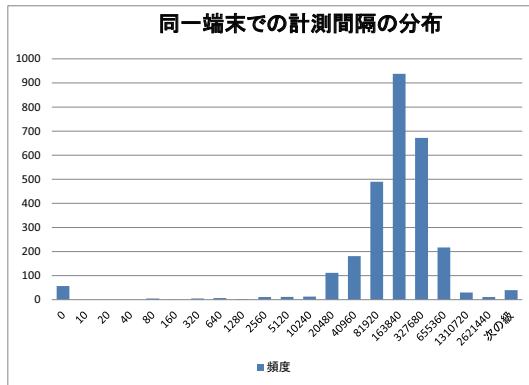


図 9 計測時間間隔 $dur(a, b)$ の分布

計測時間間隔も、計測対象点と計測実行点間の距離と同様に偏差値を出し、1 から偏差値を引き 100 で割った値を疑惑の大きさとした。値は [0-1] 間で 1 に近いほど疑惑が大きくなり、0 に近いほど疑惑が小さいとみなす。

計測時間間隔

items n

duration $y_1, y_2, y_3, \dots, y_n$

duration average m_{dur}

$$\sigma_{dur} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - m_{dur})^2}{n}}$$

$$T_{dur} = 50 + \frac{10 \times (y_i - m_{dur})}{\sigma_{dur}} (i : items)$$

5.3 同一目標地点計測回数 $times$

計測回数は、2 回以上計測を行っているものは別の計測地点と間違っセーブした場合や、チェックの付け間違いなどの理由でセンシングを複数回の訪問により、複数回行っている可能性がある。そのため計測回数が多いほどデータに対する疑惑は大きいと考えられる。計測回数に対する重み付けも計測対象点と計測実行点間の距離、計測時間間隔に対する重み付けに合わせて偏差値を出し、100 で割った値を疑惑の大きさとした。値

は 0 1 間で 1 に近いほど疑惑が大きくなり、0 に近いほど疑惑が小さいとみなす。図 10 に重複回数の分布を示す。計測回数 items n

visit $z_1, z_2, z_3, \dots, z_n$

visit average m_{visit}

$$\sigma_{visit} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (z_i - m_{visit})^2}{n}}$$

$$T_{visit} = 50 + \frac{10 \times (z_i - m_{visit})}{\sigma_{visit}} (i : items)$$

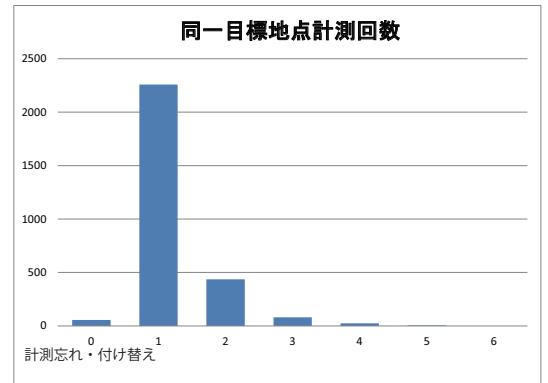


図 10 同一目標地点の訪問回数の分布

以上の式からそのユーザの計測に関する信頼性のスコアを次の式で定義する。

$$score = \frac{skill_{dis} + skill_{dur} + skill_{times}}{3}$$

$$skill_{dis} = \frac{\sigma_{dist}}{n}, \quad skill_{dur} = \frac{\sigma_{dur}}{n}, \quad skill_{times} = \frac{\sigma_{times}}{n}$$

ポイント制にすることでユーザのセンシングへの真面目さが数値として分かるようになり、よりセンシングに意欲的な人にはより多く報酬をだせるようになり、調査員全体のセンシングへの意欲の向上繋げることができる。

また、ポイント制にすることでユーザの特性がわかるようになり、ユーザの特性にあった地域を割り当てることができるようになる。例えば計測対象点と計測実行点間の距離について優秀なユーザであれば、比較的歩行距離が長い地域を担当してもらっても可能な限り目標ポイントに接近を目指してくれることが期待できる。同一目標地点の訪問回数について優秀なユーザであれば、ポイントが密集している地域であってももしっかり誤計測をしないよう意識して計測してくれることが期待出来る。

6. まとめ・展望

我々は、モバイル端末(スマートフォン)を用いた環境センシングを実装し、世田谷区内全域において歩行センシングを行うことによって騒音情報を大量に収集した。今回の実験では世田谷区という範囲でセンシングを行ったが、データ数が膨大になるにつれ、計測参加者自身のヒューマンエラーによりミスが数

多く発生することが判明した。本論文でゲーミフィケーションを応用することで人為的なミスを防ぐ手法の考察・評価を行った。今後は提案したものを実装し、実際にセンシングを行い評価を行う。

謝辞 本研究は H25 科研費若手研究 (A)(代表者:岩井将行, 課題番号:25700007) の一部により行われている。

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] 財団法人日本規格協会, “JIS Z 8731 環境騒音の表示・測定方法,” 1999.
- [7] 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.
- [8] 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.
- [9] Y. Chon, D. Lane, F. Li, H. Cha, and F. Zhao, “Automatically Characterizing Places with Opportunistic Crowd-Sensing using Smartphones,” in *Proc. of the 2012 ACM Int. Conf. on Ubiquitous Computing*(UbiComp ’12), pp. 481-490, 2012.
- [10] 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).
- [11] ISO, “ISO 266:1997 acoustics - preferred frequencies,” 1997.
- [12] Audacity, <http://audacity.sourceforge.net/>