

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 9 月 14 日現在

機関番号：32601

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25330113

研究課題名(和文) インセンティブを考慮した実時間実世界情報ユーザ参加型センシング

研究課題名(英文) Real-Time and Real-World Participatory Sensing Considering Incentives

研究代表者

戸辺 義人 (Tobe, Yoshito)

青山学院大学・理工学部・教授

研究者番号：60327666

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、実世界の多くの人から情報を収集する効率的なプラットフォームとしてインセンティブを与える仕組みの確立を目指したものである。シミュレータを完成させ、さまざまな事例のシミュレーションが可能となった。また、自転車で走行する人から路面情報を抽出する具体的なユーザ参加型センシングプラットフォームにおいては、自転車走行車が身体に装着する携帯電話の加速度信号から、路面に由来する信号と体の揺れに由来する信号を、独立成分分析にて2つの加速度信号を分離して路面情報のみ抽出した。以上、シミュレーションと実際のプラットフォームの両方で、ユーザ参加型センシングの挙動を調査する基盤を形成することができた。

研究成果の概要(英文)：This research has aimed at establishing a mechanism of providing incentives to the participants of user-participatory sensing using mobile devices. We have developed a simulator called SenseUtil which can simulate a variety of scenarios with difference incentive mechanisms. The basic policy of providing incentive is defining utility; the utility is set to zero when data at the sensing point is taken and it increases as time passes until it reaches the maximum value. As creating a sensing platform, we have developed a system to extract the surface signal of road using independent component analysis. The method can separate the signal resulting from a human body and the signal corresponding to the road surface. We have also used wavelet analysis for further classification. The sensing platform combined with the incentive model has worked well. As conclusion, this research has achieved establishment of incentive mechanism and development of sensing platform to detect the damages of road.

研究分野：モバイルコンピューティング

キーワード：参加型センシング 携帯電話 加速度

1. 研究開始当初の背景

(1) 無線デバイスとセンサの小型化により、1990年代後半から、無線センサネットワークの研究開発が進んできた。様々な取組みがされたがインフラとして動作するには、コスト面での制約もあり、適用領域が限定的であることも明らかになってきた一方で、スマートフォン内蔵のセンサを利用したり、スマートフォンと近距離無線で接続可能な可搬型センサを用いて、スマートフォンを保持する人が、センシングした情報を通信回線上の packets で送出することが可能となることが期待されていた。

(2) しかし、こうしたユーザ参加型センシングには、3つの課題が認識されていた。

1. 省電力
2. 網羅性
3. 参加インセンティブ

これら3つの課題は、密接に関連しており、参加ユーザの数が高まれば、網羅性を高めることにつながる可能性があった。また、利用価値が少ない地点が予め把握できれば、その地点におけるセンシング動作が減り、システム全体としての消費電力を削減できることも示唆された。

2. 研究の目的

(1) 参加インセンティブの与え方により、データ供給者の動きがいかに変化し、ユーザ参加型センシングのシステム全体としてデータ収集効率がいかになるかを示す。

(2) 参加インセンティブと連動させてスマートフォンのアプリケーションソフトウェアとして使える、簡便なユーザ参加型センシングプラットフォームを構築する。とくに、スマートフォンを人の身体に装着させるだけで、特別な操作を必要としない方式を考案する。

3. 研究の方法

(1) ユーザ参加型センシングにおけるインセンティブを、非負値のユーティリティとして定義し、ユーティリティを変化させることにより、データプロバイダの行動がいかになるかシミュレーションで確認させる。データ観測地点単体でのユーティリティだけでなく、複数地点での空間相関性、時間相関性を加味してユーティリティを定義する。シミュレータにおいては、モデル都市だけでなく、実際の都市をモデリングする。

(2) スマートフォンに内蔵される加速度センサから値を取り出し、自転車ユーザから路面状態を推定するアルゴリズムを開発する。実際に路面状態が取れるようになったら、アプリケーションとして使用できるようにし、(1)で定義したインセンティブモデルと連動させる。

4. 研究成果

(1) ユーザ参加型センシングのモデルを、図1に示すように、Consumer、Server、Producerの3エンティティに分離し、エンティティ間

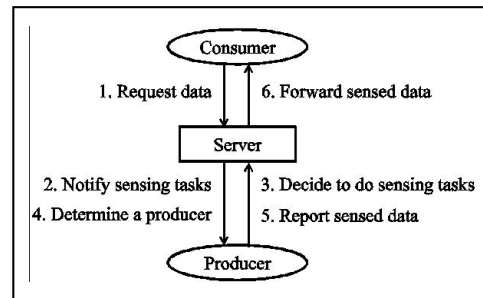


図1 ユーザ参加型センシングエンティティ

のメッセージを明確にし、サーバにおける状態、アルゴリズムを独立設計できるようにした。

(2) 基本的なユーティリティ関数を定義した。POI (Point of Interest) i におけるユーティリティを U_i としたときに、

$$U_i = \max(U_{min}, \min(U_{max}, (t - T_n)))$$

とする。ただし、 U_{min} 、 U_{max} はシステムで定める最小値、最大値であり、 t は時刻、 T_n は前回にセンシング動作を完了した時刻、 α は比例係数である。これにより、Producerのセンシング動作インセンティブは、 U_i の値の大きなPOIを選択することと定義づけられる。時間に依存するので、これは時間相関性を考慮したモデルとなる。

これを基本関数として、単一のPOIだけではなく、空間上の近接性を加味し、近隣の U_i が、注文するPOIに重みづけ加算される形で定義する、空間相関性を考慮したモデルを確立した。

(3) 以上のモデルを、Javaで動作するシミュレータとして完成させた。その結果、各種シナリオでのインセンティブの影響を調べることが可能となった。

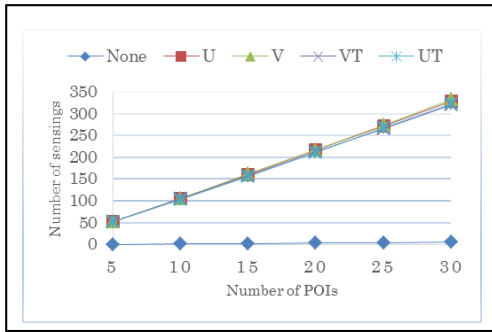


図 2 センシング回数 (None はインセンティブなし)

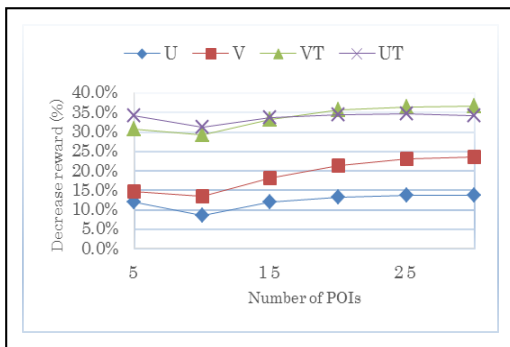


図 3 インセンティブの減少の影響

図 2、図 3 は、U、V、UT、VT は、各々、空間相関性のない基本モデル、空間相関性モデル、空間相関性がなくて Producer が相関性に関する知識を有する場合、空間相関性があり Producer が相関性に関する知識を有する場合としたときの、センシング回数と、インセンティブ減少の影響をシミュレーションした結果である。これにより、空間相関性があり Producer が相関性に関する知識を有する場合にすぐれた特性が示されることがわかった。

(4) 独立成分分析 (ICA)を用いて、スマートフォンを用いて自転車から路面情報を抽出するアルゴリズムを確立した。 t を時間とし、複数の確率変数の観測値の集合 ($\mathbf{x1}(t), \mathbf{x2}(t), \dots, \mathbf{xn}(t)$) が与えられているとすると、信号源の集合 ($\mathbf{s1}(t), \mathbf{s2}(t), \dots, \mathbf{sn}(t)$) は観測信号に対する分離行列 W を用いて次のように表される。

$$\mathbf{s}(t) = W\mathbf{x}(t)$$

$\mathbf{s}(t)$ が互いに最も独立になるように W を反復計算によって求めることで、信号源 $\mathbf{s}(t)$ を推定することが可能となった。

(5) 自転車から路面の状態を推定するとき単なるへこみだけでなく、凹凸を検出する

ことを可能とした。分類のフローチャートを図 4 に示す。スマートフォンの加速度センサ x, y 軸を観測信号として取得し、ICAを行う。ICAにより分離された信号に対し、FFTを行うことにより路面信号 ($R(t)$) とペダリング信号 ($P(t)$) の判定を行う。周波数特性の高い方をペダリング信号とし、路面信号を取得する。また、ICAにより分離された加速度信号は正負が反転している場合があるため、路面信号と x 軸の加速度信号と比較することにより判定し、正しい方向に修正する。こうして取得した路面信号に対して分類を行う。

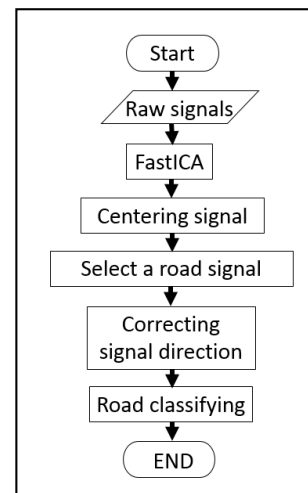


図 4 路面状態分類

(6) ICAに加えて、FFT、ウェーブレットを組み合わせ、精度を向上させることが可能となった。このアルゴリズムを、Android上に実装し、インセンティブと組み合わせた総合実証を行うことができた。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 2 件)

[1] Teemu Leppänen, Jose Alvarez Lacasia, Yoshito Tobe, Kaoru Sezaki, Jukka Rieki, "Mobile Crowdsensing with Mobile Agents," Autonomous Agents and Multi-agent Systems, Springer, ISSN 1387-2532, DOI:10.1007/s10458-015-9311-7, (2015) 査読有

[2] Niwat Thepvilojanapong, Tomoya Tsujimori, Yoshikatsu Ohta, Yunlong Zhao and Yoshito Tobe, "Incentive Models for People-Centric Urban Sensing," International Journal of Software

〔学会発表〕(計 13 件)

[1] 小花 祐輔, 高橋 淳二, 狐崎 直文, 戸辺 義人, ギヨーム ロペズ “ 自転車を利用した道路モニタリング-独立成分分析を用いた路面情報の抽出と分析- ” ロボティクス・メカトロニクス講演会(2015.5) 開催地: 京都

[2] Yoshito Tobe, Itaru Usami, Yusuke Kobana, Niwat Thepvilojanapong, Junji Takahashi, Guillaume Florian Lopez, “ vCity Map: Crowdsensing Towards Visible Cities ” , DOI: 10.1109/ICSENS.2014.6984921 Conference: IEEE Sensors, Nov. 2014. 開催地: スペイン

[3] 小花 祐輔, 高橋 淳二, 宇佐美 格, 狐崎 直文, 戸辺 義人, ロペズ ギヨーム, “ 自転車走行による路面状態推定の試み ” , 第 31 回センシングフォーラム , (2014.9) 開催地: 佐賀

[4] Yusuke Kobana, Junji Takahashi, Itaru Usami, Naofumi Kitsunozaki, Yoshito Tobe, Guillaume Lopez “ Detection of Road Damage using Signals of Smartphone-Embedded Accelerometer while Cycling ” IWWISS2014(2014.9) 開催地: フランス

[5] 小花 祐輔, 高橋 淳二, 宇佐美 格, 狐崎 直文, 戸辺 義人, ギヨーム ロペズ “ 自転車走行時の路面情報抽出:基本検討および実測定 ” 第 71 回 SIG-MBL 研究発表会 (2014.5) 開催地: 沖縄

[6] 小花 祐輔, 高橋 淳二, 狐崎 直文, 戸辺 義人, Guillaume Lopez “ スマートフォンを用いた自転車走行時の路面信号抽出機構の設計 ” 第 76 回情報処理学会全国大会 (2014.3) 開催地: 東京

[7] 小花祐輔, 高橋淳二, 狐崎直文, 戸辺義人, ロペズギヨーム, “ 加速度センサを用いた自転車走行時の路面信号抽出に関する研究 ” , 第 16 回人間情報学会講演会オーラルセッション, (2013.12) 開催地: 東京

[8] Niwat Thepvilojanapong, Kai Zhang,

Tomoya Tsujimori, Yoshikatsu Ohta, Yunlong Zhao, and Yoshito Tobe, “ Participation-Aware Incentive for Active Crowd Sensing ” , The 15th IEEE International Conference on High Performance Computing and Communications (HPCC 2013) Zhangjiajie, China, November 13-15, 2013.

[9] Guangwen Liu, Masayuki Iwai, Yoshito Tobe and Kaoru Sezaki, “ REPSense:On-line Sensor Data Reduction While Preserving Data Diversity for MobileSensing ” , The 9th IEEE International Conference on Wireless and MobileComputing, Networking and Communications (WiMob 013), Oct. 2013 開催地: フランス

[10] Niwat Thepvilojanapong, Tomoya Tsujimori, Hao Wang, Yoshikatsu Ohta, Yunlong Zhao, and Yoshito Tobe, “ Impact of Incentive Mechanism in Participatory Sensing Environment ” , proc. The Second International Conference on Smart Systems, Devices and Technologies, June 2013. 開催地: イタリア

〔その他〕
ホームページ等
http://rcl.it.aoyama.ac.jp/?page_id=53

6 . 研究組織

(1)研究代表者

戸辺 義人 (TOBE Yoshito)
青山学院大学・理工学部・教授
研究者番号 : 60327666