

参加型センシングにおける カバレッジと質を考慮したノード選択手法の検討

坂本 敬太[†] 青木 俊介[†] 伊藤 昌毅[†] 瀬崎 薫^{†,††}

[†] 東京大学生産技術研究所 〒153-8505 東京都目黒区駒場 4-6-1

^{††} 東京大学空間情報科学研究センター

あらまし 一般ユーザの持つスマートフォンに代表されるモバイルデバイスを用いてセンシングを行う参加型センシングにおいて収集されるデータの質やカバレッジはそのデータの利用価値に直結するため非常に重要だが、それらは参加ユーザに依存してしまうという問題がある。そのため、データ収集の際に質やカバレッジを考慮したノード選択を行う必要がある。本稿では、データの質・位置・収集コストのそれぞれがバラバラなデータ群に対して、総コスト一定の条件下でデータの質・カバレッジを総合的に評価した最適なノード選択を行う手法を提案する。この手法により、参加型センシングだけでなく、クオリティコントロールが求められる様々な分野においてより利用価値の高いデータ収集の実現が期待できる。

キーワード モバイルセンシング 参加型センシング ノード選択

A Node Selection Scheme Considering Coverage and Quality of Data for Participatory Sensing

Keita SAKAMOTO[†], Shunsuke AOKI[†], Masaki ITO[†], and Kaoru SEZAKI^{†,††}

[†] Institute of Industrial Science the University of Tokyo 4-6-1 Komaba, Meguro-ku, Tokyo 153-8505, JAPAN

^{††} Center for Spatial Information Science the University of Tokyo

Abstract In participatory sensing using mobile device of general users, quality and coverage of data are important factors because these directly affect the utility of data, but at the same time depend on the users. So it is necessary to select nodes considering quality and coverage of the data when collecting it. In this paper, we discuss about a node selection scheme considering quality and coverage of data with a given fixed budget. This scheme can improve the utility of data collection not only in participatory sensing but also in various fields that require quality control.

Key words Mobile Sensing, Participatory Sensing, Node Selection

1. はじめに

近年、スマートフォンの急速な普及が進んでいる。技術の進歩によって、その小さな端末には多くの機能が詰め込まれており、人々の生活を豊かにしている。特に、センサー類は加速度センサ・デジタルコンパス・ジャイロセンサ・気圧センサ・GPS受信機など多種多様であり、様々なアプリケーションに利用されている [1]。中でも、一般のユーザがスマートフォン内蔵センサで収集したデータを統合・解析し、環境モニタリングや交通状況の監視、ヘルスケアや世論調査など幅広い分野に利用する参加型センシングが期待されている [2]~[11]。参加型センシングには設置等のコストを必要とせず一般のユーザを社会インフラとして利用できるという大きな利点がある。

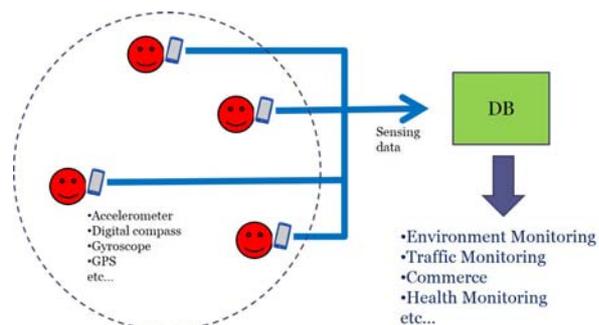


図1 参加型センシングの概要

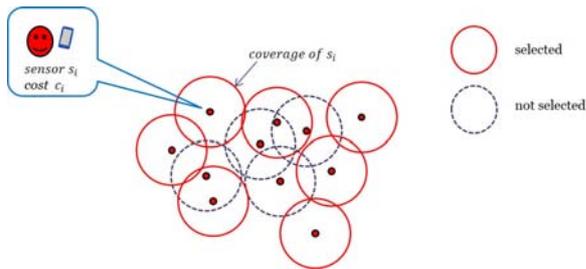


図2 GBMC アルゴリズムにおけるノードの決定法

しかし、参加型センシングには従来のセンサネットワーク技術に比べていくつかの課題が存在する。データ収集が参加ユーザに委ねられているがゆえにデータの質やカバレッジが安定しないという課題 [3], [4] や、一定以上の参加ユーザ数を保つためのインセンティブを確保しなければならないという課題 [5] が代表的である。特にデータの質やカバレッジはそのデータの利用価値に直結するものであり、場合によってはせっかく収集したデータのアプリケーション等への利用が不可能になってしまうことから非常に重要な課題として先行研究でも議論されている [3], [4]。データの質やカバレッジを安定させるためには、データ収集の対象とするノード（ユーザ）を取捨選択することが考えられる。また、参加ユーザに報酬を与える事でインセンティブの確保を行う手法 [5], [7] が存在することも踏まえると、データの質とカバレッジだけではなくコスト面でも効率的なノード選択を行うようなアルゴリズムが望ましい。

本稿ではまず参加型センシングにおけるノード選択の関連研究として GBMC アルゴリズム [4] について紹介をして、その問題点を明らかにした後、新たなノード選択手法の提案を行う。

2. GBMC アルゴリズム

参加型センシングにおいてセンサノードの位置は参加ユーザの移動に合わせて動的に変化する。そのため、収集したデータのカバレッジを安定させるためには、動的なノード選択を行う必要がある。そのような選択を行う既存研究として GBMC (Greedy Budgeted Maximum Coverage) アルゴリズム [4] を紹介する。

GBMC アルゴリズムは、コスト一定の条件化で収集するデータのカバレッジを出来る限り大きくするようなノード選択を行う近似アルゴリズムである。GBMC アルゴリズムでは、各センサノードを中心とした円を描き、それをそのノードのカバレッジとして定義する。また簡単のため、ここで言うカバレッジとは円の面積ではなくその内部に含まれるノードの数と定義している。そしてコスト一定の条件下で全体のカバレッジを最大にするようなノード選択を目指す (図 2)。

しかしこれはよく知られた NP 困難な問題である [12]。この問題を解決するため、GBMC アルゴリズムは以下の手順でノード選択を行い、近似解を導き出す。

(1) まだ選んでいないノードの中から、(そのノードを選択することによって増加するカバレッジ) ÷ そのノードの収集コスト

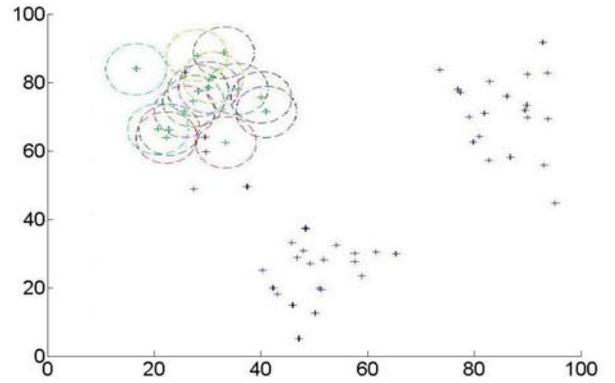


図3 GBMC アルゴリズムのカバレッジのシミュレーション結果 1

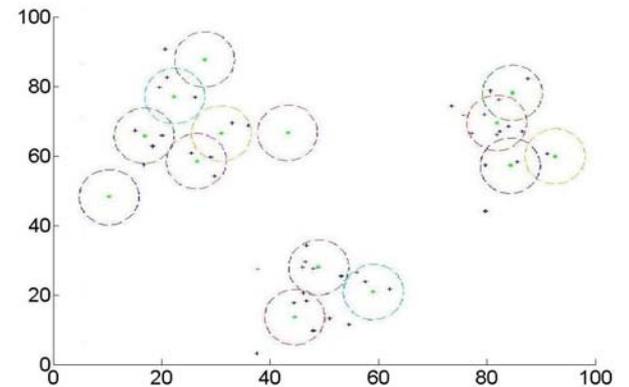


図4 GBMC アルゴリズムのカバレッジのシミュレーション結果 2

ト) を最大にするノードを選択する、という手順をゼロから総コストが規定値に達するまで繰り返す。

(2) まだ選んでいないノードの中から、(そのノードを選択することによって増加するカバレッジ) を最大にするノードを選択する、という手順をゼロから総コストが規定値に達するまで繰り返す。

(3) (1), (2) の結果を比べ、カバレッジの大きいものを最終的な結果として出力する。

このように、GBMC アルゴリズムは二種類の評価値を使用した貪欲法を比較して結果が良い方を選択することにより、貪欲法の欠点を緩和し、より近似した解を求めるよう工夫がされている。実際、既存手法に比べカバレッジが改善された事がシミュレーションによって示されている (図 3, 図 4)。GBMC アルゴリズムを使用しない場合のシミュレーション結果 (図 3) に比べて GBMC アルゴリズムを使用した場合のシミュレーション結果 (図 4) の方が選択されるノードが広範囲に散らばっており、全体のカバレッジが改善されているのが分かる。

しかし、この手法ではデータの質が考慮されていないという問題がある。データの質は参加型センシングを利用したアプリケーションの性能を左右する非常に重要な要素であり、いくつかの関連研究でも評価の対象となっている [3], [7]。そのため、GBMC アルゴリズムは参加型センシングにおけるノード選択の手法としては不十分であるといえる。

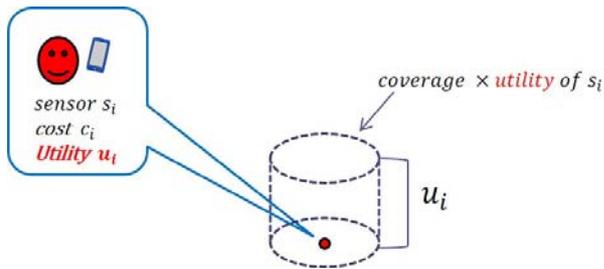


図5 提案手法におけるカバレッジを底面、質を高さとした円柱を用いた評価値

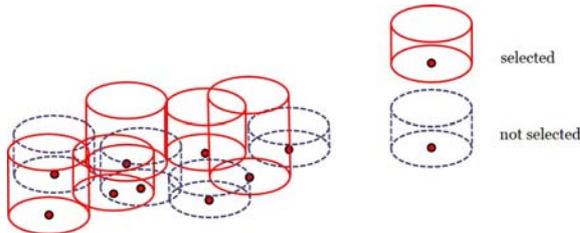


図6 提案手法：カバレッジと質を総合的に考慮したノード選択

3. データの質とカバレッジを考慮したノード選択手法の提案と検討

参加型センシングで収集するデータの質を評価する指標は収集するデータの種類によって変化すると考えられるが、例えば収集するデータが写真である関連研究 [7] では写真の写り具合や写真に付加情報として付けられたタグの数が指標となっている。更に、そのユーザが持つセンサデバイスの単純な機械的性能や、収集されたデータの種類の多さ等もデータの質を計る指標となる。その他では、長期的にセンシングが行われる場合、ネットオークションにおける出品者の評価のように過去の収集データの精度からユーザ毎に評価を付け、そのユーザの評価とデータの質を結びつけるような方法も考えられる。関連研究においてもこれらの指標を用いてデータの質が評価されており、データの質の重要性が示されているといえる [3], [7].

以上のような方法を用いてデータの質をデジタル化した場合に、データの質とカバレッジの両方を考慮したノード選択が可能な手法を提案する。本稿では、GBMC アルゴリズムの考え方を拡張して、各センサノードを中心としデータの質を高さとする立体的な円柱を考え、その体積を評価値として扱うことを考える (図5)。この体積をより大きくするようなノード選択を行うことで、データのカバレッジと質を総合的に高めるような選択が期待できる (図6)。この手法は参加型センシングだけに限らず、クオリティコントロールが求められるデータ収集を行う様々な分野に応用が可能であり、幅広い可能性を秘めているといえる。

以下に、筆者らが提案する近似アルゴリズムによるノード選択手法の概要を示す。

(1) まだ選んでいないノードの中から、(そのノードを選択することによって増加するカバレッジ×そのノードの質÷その

ノードの収集コスト) を最大にするノードを選択する、という手順をゼロから総コストが規定値に達するまで繰り返す。

(2) まだ選んでいないノードの中から、(そのノードを選択することによって増加するカバレッジ×そのノードの質) を最大にするノードを選択する、という手順をゼロから総コストが規定値に達するまで繰り返す。

(3) (1), (2) の結果を比べ、カバレッジの大きいものを最終的な結果として出力する。

この近似アルゴリズムによるノード選択の近似性能に対しての理論的な検証やシミュレーションによる性能評価が今後の課題である。更に、より質の高い参加型センシングのデータ収集機構を実現するため、アルゴリズムの理論的な改良も今後の課題となっている。

4. おわりに

本稿では、参加型センシングにおけるデータの質とカバレッジの重要性について関連研究を絡めて議論し、その両方を考慮したノード選択が可能なアルゴリズムの提案を行った。既存研究である GBMC アルゴリズムを拡張して新たな評価軸を設けることによってデータのカバレッジと質の両方を考慮したノード選択が可能になり、参加型センシングだけでなく幅広い分野でのより利用価値の高いデータ収集の実現が期待できる。今後の課題として、筆者らはこの近似アルゴリズムによるノード選択の近似性能に対して理論とシミュレーションの双方による検討を行う予定である。

文献

- [1] N.D. Lane, E. Miluzzo, H. Lu, D. Peebles, T. Choudhury, and A.T. Campbell, "A survey of mobile phone sensing," *Communications Magazine, IEEE*, vol.48, no.9, pp.140–150, 2010.
- [2] 青木俊介, 岩井将行, 瀬崎 薫, "参加型環境センシングを用いた統計情報構築のためのプライバシー保護手法," *電子情報通信学会 論文誌 B*, vol.J97-B, no.1, pp.41–50, 2014.
- [3] S. Reddy, J. Burke, D. Estrin, M. Hansen, and M. Srivastava, "A framework for data quality and feedback in participatory sensing," *Proceedings of the 5th international conference on Embedded networked sensor systemsACM*, pp.417–418 2007.
- [4] L.G. Jaimes, I. Vergara-Laurens, and M.A. Labrador, "A location-based incentive mechanism for participatory sensing systems with budget constraints," *Pervasive Computing and Communications (PerCom), 2012 IEEE International Conference onIEEE*, pp.103–108 2012.
- [5] J.-S. Lee and B. Hoh, "Dynamic pricing incentive for participatory sensing," *Pervasive and Mobile Computing*, vol.6, no.6, pp.693–708, 2010.
- [6] D. Yang, G. Xue, X. Fang, and J. Tang, "Crowdsourcing to smartphones: incentive mechanism design for mobile phone sensing," *Proceedings of the 18th annual international conference on Mobile computing and networkingACM*, pp.173–184 2012.
- [7] S. Reddy, D. Estrin, M. Hansen, and M. Srivastava, "Examining micro-payments for participatory sensing data collections," *Proceedings of the 12th ACM international conference on Ubiquitous computingACM*, pp.33–36 2010.
- [8] M. Musthag, A. Raji, D. Ganesan, S. Kumar, and S. Shiffman, "Exploring micro-incentive strategies for partici-

- pant compensation in high-burden studies,” Proceedings of the 13th international conference on Ubiquitous computingACM, pp.435–444 2011.
- [9] M. Von Kaenel, P. Sommer, and R. Wattenhofer, “Ikarus: large-scale participatory sensing at high altitudes,” Proceedings of the 12th Workshop on Mobile Computing Systems and ApplicationsACM, pp.63–68 2011.
- [10] P. Mohan, V.N. Padmanabhan, and R. Ramjee, “Nericell: rich monitoring of road and traffic conditions using mobile smartphones,” Proceedings of the 6th ACM conference on Embedded network sensor systemsACM, pp.323–336 2008.
- [11] E. Kanjo, J. Bacon, D. Roberts, and P. Landshoff, “Mob-sens: Making smart phones smarter,” Pervasive Computing, IEEE, vol.8, no.4, pp.50–57, 2009.
- [12] S. Khuller, A. Moss, and J.S. Naor, “The budgeted maximum coverage problem,” Information Processing Letters, vol.70, no.1, pp.39–45, 1999.