

無線センサネットワークにおけるデータ収集法に関する一検討

A study on data aggregation scheme in wireless sensor networks

深堀 哲史[†]中山 英久[†]西山 大樹[‡]加藤 寧[‡]

Tetsushi FUKABORI

Hidehisa NAKAYAMA

Hiroki NISHIYAMA

Nei KATO

1. まえがき

近年、無線通信技術やデータ処理技術の向上を受けてユビキタスネットワークへの感心が高まりつつある。ユビキタスネットワークの応用範囲は医療や農業など多岐に渡るため、アプリケーションによって様々な情報の収集が必要となり、その情報収集の手段としてセンサネットワークが期待を集めている。センサネットワークとは、センサ装置と無線通信装置をつんだ小型デバイスが自律分散的に無線ネットワークを形成し、ノード同士が無線通信を行うことで、計測したデータを受信機であるシンクに転送するネットワークである。通常、センサネットワークで用いられる小型デバイスでは、バッテリーなどの資源に限りがあり、消費電力の抑制や通信量の削減などが重要な課題である。この問題の解決を目指す取り組みの1つとして、モバイルシンクによるデータ収集法の改良が挙げられる。

一般的なセンサネットワークでは、位置が固定されたシンクに向けてノードがデータをリレーするのにに対し、モバイルシンクを用いた方法では、シンクが観測領域内を巡回してデータ収集を行う。これにより、ノードの通信量を低減し、消費電力を抑制することができる。本論文では、モバイルシンクを用いた研究の中でも効率性に優れた手法である KAT Mobility (K-means And Traveling salesman problem Mobility)[1] に着目した。

2. KAT Mobility

KAT Mobility はセンサノードをその座標に従って k -means 法によりクラスタリングし、全クラスタ中心を巡る最短巡回経路を TSP (Traveling Salesman Problem) で求め、その経路に沿って巡回してデータ収集を行う手法である。KAT Mobility は効率性に優れた特徴を持つが、その性能はクラスタリングを行う際のクラスタ数に大きく依存する。このため、KAT Mobility に用いられる k -means 法では、ノード数や分布に応じて適切なクラスタ数を与える必要がある。実際、KAT Mobility には、クラスタ数が固定値であると、偏りのあるノード分布や経時的なノード数の変化に対応できず、性能を十分に発揮できないという問題点がある。本研究ではこの問題点に対して、統計的な手法である情報量規準を用いることで解決を図った。

3. クラスタ数の動的選択

提案手法で用いる情報量規準は統計的なモデル選択の規準である。統計的なモデル選択の方法としては最尤推定法がよく用いられる。最尤推定法とは、あるモデルとデータに対して、モデルとデータがどれだけ適合してい

るかを表す評価関数である尤度関数を設定し、尤度関数を最大(最小)化するようなモデルを選択する方法である。数学的に見れば k -means 法は混合正規分布モデルに対してその平均-データ間の残差平方和 (RSS: Residual Sum of Squares) を尤度関数とする最尤推定法である。しかしながら最尤推定法には、複雑過ぎるモデルを選択してしまう過適合問題が存在し、 k -means 法においてもクラスタ数が未定の場合に尤度関数を拡張すると、過適合が発生する [2]。このため、 k -means 法においては単純に尤度関数を拡張するだけではクラスタ数も含めたモデル選択を行うことは出来ない。

これに対し、モデルの複雑さを考慮に入れてモデル選択を行うための規準が情報量規準である。一般に、情報量規準はモデルを増やすことに対する罰則項を尤度関数に加えることで定義される。最もよく知られている情報量規準である AIC (Akaike's Information Criterion) を k -means 法に適用すると式 (1) のようになる。

$$AIC(k) = \frac{1}{N\sigma^2}RSS(k) + 4k \quad (1)$$

ここで N はノード数、 σ^2 はモデルの分散、 $RSS(k)$ は拡張した k -means 法の尤度関数、 k はクラスタ数であり、第2項がクラスタ数増加に対する罰則項となる。式 (1) から分かる通り、AIC を k -means 法に適用するにはモデル分散 σ^2 を設定する必要がある。提案手法ではこれをサンプリングにより計測する。つまり、提案手法は KAT Mobility において、情報量規準及びモデル分散の設定を用いて適切なクラスタ数の選択を行うものである。

4. 評価実験

提案手法の有効性を確認するため、評価実験を行った。実験1では、5,000[m] × 5,000[m] の観測領域にノードが図1に示されるように分布し、明確なクラスタが存在する環境での提案手法の振る舞いを確認した。実験2では、同様の観測領域にノードがランダムに分布する環境で、既存手法である KAT Mobility との比較実験を行った。KAT Mobility のクラスタ数は文献 [1] に従い 10 とし、評価指標として式 (2) 及び式 (3) で定義される効率性 f_E 及び公平性 f_F を用いた。また、実験2ではノード数を変化させ、各 40 回の実験結果の平均を算出した。

$$f_E = \frac{R}{C \cdot N} \quad (2)$$

$$f_F = \frac{(\sum S_i)^2}{N(\sum S_i^2)} \quad (3)$$

C はノードの総消費電力、 R はシンクの総受信データ量、 S_i はノード i の送信データ量を示している。

[†]東北工業大学 工学部 知能エレクトロニクス学科, Department of Electronics and Intelligent Systems, Faculty of Engineering, Tohoku Institute of Technology

[‡]東北大学 大学院情報科学研究科, Graduate School of Information Sciences, Tohoku University

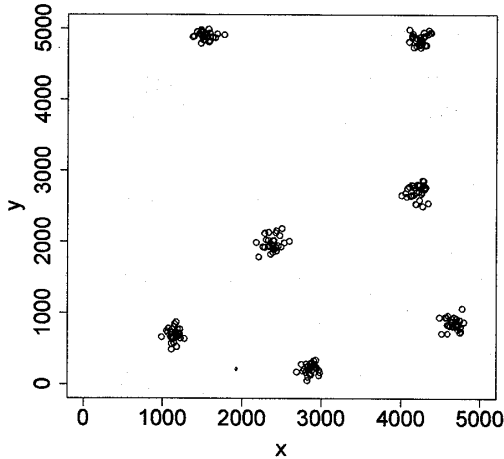
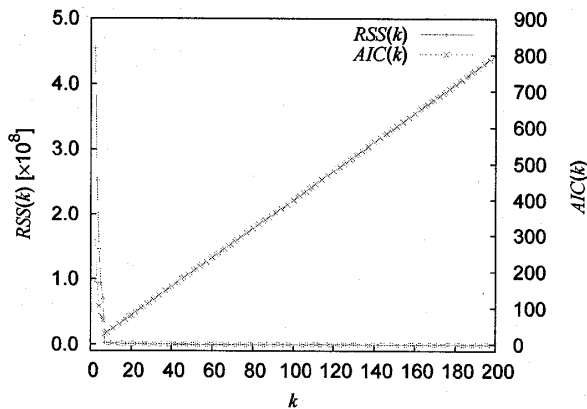
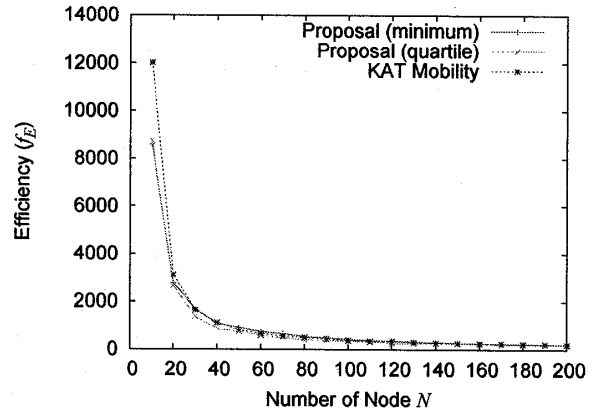
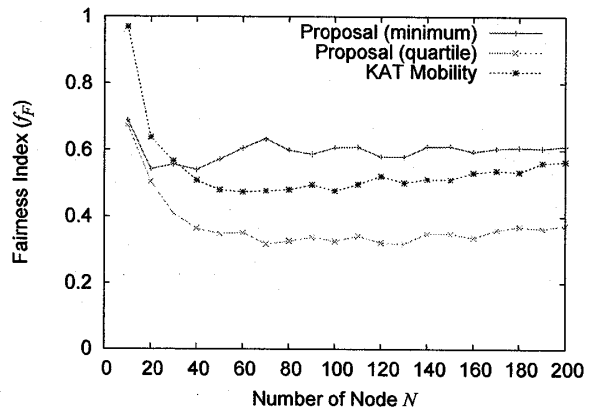


図1: 実験1のノード分布

図2: 実験1の $RSS(k)$ 及び $AIC(k)$ の変動

実験1での k -means 法の尤度関数 $RSS(k)$ 及び情報量規準 $AIC(k)$ の変動を図2に示す。 $AIC(k)$ の導出においては、事前知識としてクラスタの分散が与えられているとした。最尤推定法によるモデル選択ではクラスタ数 $k = 200$ のモデルが選択されて過適合となるが、情報量規準を用いることでクラスタ数 $k = 7$ のモデルを選択出来ている。この結果から、提案手法に適切なモデル分散を与えることで適切なクラスタ数のモデル選択が可能であると言える。

次に、実験2の結果を図3及び図4に示す。実験2では、モデル分散の設定方法としてサンプリングした分散の最小値 (minimum) 及び四分位点値 (quartile) を用いた。図3から、ノード数が40以下において提案手法の効率性は KAT Mobility のそれに僅かに劣るが、ノード数が増えるに従い効率性に差がなくなることが分かる。また、図4から、モデル分散の設定法によって公平性の結果が大きく変わることが分かる。クラスタ数が固定値である KAT Mobility に対し、モデル分散をサンプル四分位点値で設定した提案手法では公平性がノード数に依らず低いが、サンプル最小値で設定した提案手法ではノード数が40以上において提案手法を上回る公平性を示している。この結果から、提案手法に適切なモデル分

図3: 実験2の効率性 f_E の変化図4: 実験2の公平性 f_F の変化

散を与えることで KAT Mobility の性能向上が可能であることが分かる。

5. むすび

ユビキタス社会を構成する技術として近年注目されているセンサネットワークには、リソースの効率利用といった課題が存在する。この問題に対してデータ収集法の点から解決を図る手法としてモバイルシンクを用いる方法が挙げられる。本論文では、モバイルシンクを用いる手法の中でもデータ収集効率に優れた KAT Mobility に着目し、そのクラスタ数決定が困難であるというクラスタリングにおける問題点を指摘した。この問題を解決するため、情報量規準を導入してクラスタ数を決定し、サンプリングによりモデル分散の設定を行う手法を提案した。実験により提案手法と KAT Mobility の効率性及び公平性を評価し、提案手法の有効性を明らかにした。

参考文献

- [1] H. Nakayama, N. Ansari, A. Jamalipour, and N. Kato, "Fault-resilient sensing in wireless sensor networks," Computer Communications archive, vol.30, pp.2375-2384, May 2007.
- [2] C.D. Manning, P. Raghavan, and H. Schütze, "Introduction to information retrieval," Cambridge University Press, 2008.