

観測 QoS と通信 QoS に基づく移動センサノードの自律的位置変更手法

東京電機大学 理工学部 情報システム工学科*
平井 亮太 小杉 正昭 岡 啓明己 桧垣 博章†‡

1 はじめに

センサネットワークは、無線通信機能を備えたセンサノードの観測データを他のセンサノードを中継ノードとする無線マルチホップ配送によってシンクノードに収集する無線ネットワークである。センサノードの製造、設置、維持管理、撤去のコストが小さく、適用対象領域が比較的狭い場合には、センサノードを高密度に配置することによって、常時、観測対象をいずれかのセンサノードの観測可能領域に含め、観測データをシンクノードに無線マルチホップ配送することが可能である。しかし、センサノードに要するコストが大きく、適用対象領域が比較的広い場合には、対象領域全体をセンサノードの観測可能領域で被覆するほど高密度に配置することは困難である。そこで、自律的に移動可能なセンサノード [2] を低密度に配置することで、適切な費用対効果が得られるセンサネットワークを構築することが考えられる。ここでは、移動センサノードで観測可能な領域の適用対象領域全体に対する面積比率は大きくないことから、観測対象の移動に対してセンサノードが追従することが求められる (図 1)。このとき、観測データを保持し続けるために十分な記憶領域を移動センサノードが備えていないこと、観測データのシンクノードへの配送遅延を要求値以下とすることが求められることから、移動センサノードとシンクノードとの間の無線マルチホップ接続性を高く維持することが求められる。本論文では、移動センサノード群からシンクノードへのマルチホップ配送木が構成済みであることを前提として、観測対象の移動に対して、観測データの品質と無線マルチホップ通信の品質とを考慮して各センサネットワークの移動方法を決定する手法を提案する。ここでは、広域分布する大規模センサネットワークを対象とすることから、移動センサノード位置を集中管理せず、局所的な通信とネットワークトポロジ変更を行なうこととする。

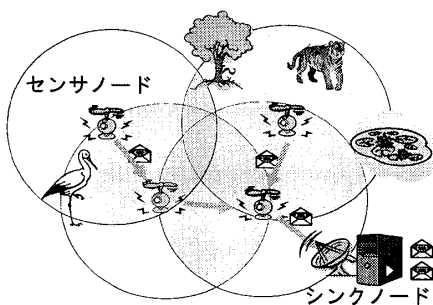


図 1: 観測対象の移動する移動センサネットワーク

2 関連研究

対象領域全体を稼働中のすべてのセンサノードの観測可能領域で被覆することを目的としてセンサノード

の配置を決定する、あるいは各センサノードにおけるスリープ/ウェイクアップのスケジュールを定めるセンサネットワークのトポロジコントロール手法が提案されている [1]。ここでは、観測対象の有無に関わらず対象領域全体を観測可能とする程度以上にセンサノードの分布密度が高い環境を適用対象として想定している。このとき、一般に各センサノードの観測可能領域は無線信号到達領域に内包されることから、すべてのセンサノードがいずれかのシンクノードに無線マルチホップ配送で観測データを到達させることができる。

一方、論文 [4] では、移動センサノードが観測データを保持したままいずれかのシンクノードへと無線マルチホップ配送可能な位置まで移動することを基礎とするセンサデータ収集手法が提案されている。ここでは、大部分のセンサノードが観測データ取得位置では観測データをシンクノードまで無線マルチホップ配送することができない程度にセンサノード分布密度が低い環境を適用対象として想定している。ただし、観測データを保持するすべてのセンサノードはいずれかのシンクノードの方向へと移動することから、シンクノードの近隣では移動センサノードの分布密度が高くなり、シンクノードへの無線マルチホップ配送経路が構築可能となる。そこで、移動センサノードはシンクノードへの無線マルチホップ配送が可能であると判断した時点で移動を終了し、観測データを無線マルチホップ配送することによって、移動距離と観測データ配送遅延を短縮する。

本論文では、観測対象の分布密度が領域全体において比較的低い環境を対象として、対象領域全体を被覆する程度には高密度にセンサノードを配置せず、センサノードの移動オーバーヘッドが通信オーバーヘッドに対して相対的に大きい、あるいは、観測データの配送遅延の短縮が要求される状況を想定する。この場合、観測データを取得したセンサノードからいずれかのシンクノードまでの高い無線マルチホップ接続性が求められるが、センサノードの配置密度が限られていることから、観測対象の移動に対してネットワークトポロジの変化が追従することが求められる。すなわち、観測対象が移動した場合でも、観測対象をいずれかのセンサノードの観測可能領域に含みつつ、このセンサノードからいずれかのシンクノードまでの無線マルチホップ配送経路が存在し続けることが求められる。論文 [4] では、アドホックネットワークに含まれるある無線ノードの移動に対して、接続性が維持されるように他の無線ノード位置を変更するバネモデルが提案されている。ただし、接続性を維持するために移動を要求される無線ノードは無条件にその位置を変更することが可能であることを前提としている。しかし、センサネットワークでは、各センサノードが他のセンサノードが取得した観測データの無線マルチホップ配送経路の中継ノードの役割りを担うとともに、自身も観測を行なうことから、接続性を維持するための移動と自身の観測のための移動とが相反することがあるという問題がある。

*Tokyo Denki University

†Ryota Hirai, Masaaki Kosugi, Hiroaki Oka, Hiroaki Higaki

‡{hirai, kosugi, oka, hig}@higlab.net

3 提案手法

3.1 観測 QoS と通信 QoS

各センサノードの移動戦略を構成するためには、観測対象位置とセンサノード位置とで定まる観測データの品質とシンクノードへの無線マルチホップ配送の品質とを評価しなければならない。

観測対象とセンサノードとの位置関係によって観測データの品質、すなわち、観測 QoS を定めることができる。観測 QoS に影響を与えるパラメータには、距離、角度、遮蔽物の有無等の多数のものが考えられるが、本論文は距離に注目する。距離に対する観測 QoS の変化を分類すると図 2 に挙げるものが考えられる。図 2(a) は、観測対象位置でのみ観測可能となるものであり、接触型温度センサ等がある。図 2(b) は、観測対象位置から一定距離までは同質の観測データが得られるものの、閾値を越える距離では観測が不可能となるものである。赤外線による非接触温度センサが一例である。図 2(c) は、距離の増加に対して観測データ品質が単調減少するもののうち、距離による影響が比較的小さく、上に凸のグラフとなるものである。湿度センサや気圧センサが相当する。図 2(d) は、(b) と (c) の性質を合わせ持つものであり、ガスセンサ等がある。図 2(e) は、(c) と同様に距離に対して観測データ品質が単調減少するもののうち、距離による影響が比較的大きく、下に凸のグラフとなるものである。放射線センサやフォトセンサがこの性質を持つ。観測データの品質が距離に対して単調減少せず、極大値を持つものがある。マイクやカメラでは、観測対象に対して閾値以上に近づくと逆に品質が低下する。これを表したのが図 2(f) である。

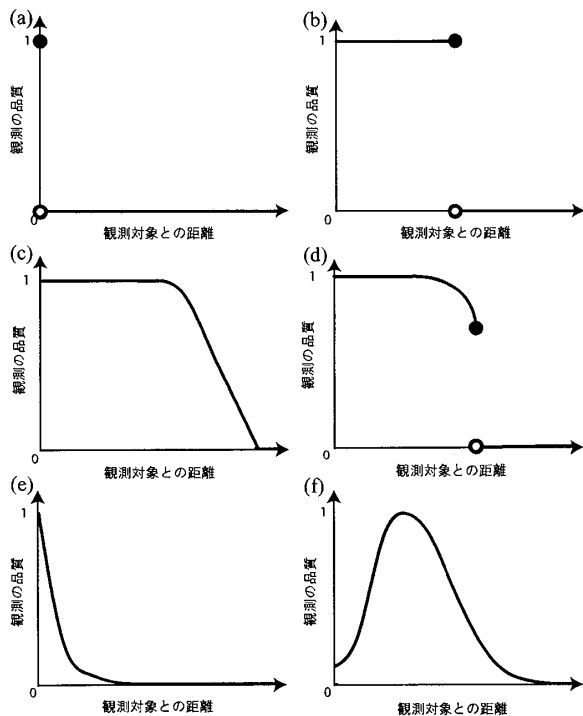


図 2: 観測対象とセンサノードとの距離と観測 QoS

シンクノードを根とする無線マルチホップ配送木上で隣接する移動センサノード間の無線通信の品質、すなわち、通信 QoS には、配送遅延、スループット、信頼性 (紛失率) 等が考えられるが、いずれも隣接移動セ

ンサノード間の距離の影響が大きく、距離の増加に対して単調減少する。

3.2 局所的な位置変更プロトコル

観測対象の移動によって観測 QoS が低下した場合、観測対象の相対位置を要求 QoS 以上が得られるものとするためにセンサノードが移動し、かつ、このとき通信 QoS および他のセンサノードにおける観測 QoS も要求 QoS を満足する場合にのみ、これを満たす位置へと局所的にセンサノードの移動を行なう 3 相からなるプロトコルを設計する。ここで、移動ノード M_i の位置 x_i における観測品質を $Qo(x_i)$ 、 x_j に位置する隣接ノード M_j との間の無線通信リンクの通信品質を $Qc(x_i, x_j)$ とする。

[位置変更プロトコル (概略)] 1) センサデータ配送木上の隣接移動センサノード $M_{n'}$ から x_n^t への移動要求メッセージ $Mreq$ を受信した移動無線ノード M_i は、要求通信 QoS RQc に対して $Qc(x_n^t, x_i^t) > RQc$ を満足し、自身の要求観測 QoS RQo_i に対して $Qo(x_i^t) > RQo_i$ を満足する位置 x_i^t のうち、現在位置 x_i^c からの距離 $|x_i^t - x_i^c|$ が最小となるものを求める。もし、そのような x_i^t を求めることができないならば、 M_i は $M_{n'}$ に否定応答メッセージ $Mnack$ を返送する。2) $M_{n'}$ を除くセンサデータ配送木上の M_i のすべての隣接移動センサノード M_n について、その現在位置を x_n^c とするとき、 $Qc(x_n^c, x_i^t) > RQc$ を満足するならば、 M_i は肯定応答メッセージ $Mack$ を M_n に返送する。満足しない隣接移動センサノード $M_{n''}$ が存在するならば M_i は $M_{n''}$ に $Mreq$ メッセージを送信する。このとき、すべての送信先 $M_{n''}$ から $Mack$ を受信したならば、 M_i は $M_{n'}$ に $Mack$ を返送する。いずれかの送信先 $M_{n''}$ から $Mnack$ を受信したならば、 M_i は $M_{n'}$ に $Mnack$ を返送する。□

4 まとめ

本論文では、比較的低密度に分布する移動センサノードから構成される無線移動センサネットワークにおいて、観測対象の移動にともなってネットワークプロトコルを動的に変更する手法を提案した。ここでは、観測 QoS と通信 QoS のふたつの評価指標のもとに局所的なセンサノード位置変更を行なう手法を提案し、その実現プロトコルの概要を示した。今後は、提案プロトコルの詳細を検討し、実験評価によってその有効性を示す。

参考文献

- [1] Meguerdichian, S., Koushanfar, F., Potkonjak, M. and Srivastava, M.B., "Coverage Problems in Wireless Ad-Hoc Sensor Networks," Proc. of the 20th IEEE INFOCOM, pp. 1380-1387 (2001).
- [2] Sibley, G.T., Rahimi, M.H. and Sukhatme, G.S., "Robomote: A Timy Mobile Robot Platform for Large-Scale Ad-Hoc Sensor Networks," Proc. of IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation, pp. 1143-1148 (2003).
- [3] 荻野, 佐藤, "移動ノードを含むワイヤレスセンサネットワークにおける通信経路の維持方式の提案," 情報処理学会第 16 回マルチメディア通信と分散処理ワークショップ論文集, pp. 247-248 (2008).
- [4] 新城, 北島, 小川, 原, 西尾, "移動型センサネットワークにおけるノードの故障を考慮したノードの移動制御手法," 情報処理学会第 16 回マルチメディア通信と分散処理ワークショップ論文集, pp. 297-302 (2008).