

無線センサネットワークにおける電波到達特性の実測を用いたスニファ群の配置位置決定手法

神崎 映光 磯部 達郎 原 隆浩 西尾 章治郎

大阪大学大学院情報科学研究科

1 はじめに

無線センサネットワークでは、運用時にノードの故障等が発生した場合、基地局に収集された情報のみでは、問題発生箇所等の詳細情報を把握できず、発生した問題の解決が困難となる。このような集計情報を容易に収集する方法として、ノード間で交換されるパケットを傍受するスニファと呼ばれる端末を用いることが有効である[2, 3]。スニファを用いてネットワーク全体の集計情報を収集するためには、各ノードに対し一つ以上のスニファによって通信を傍受する必要がある。一方、スニファの設置にかかるコストを削減するためには、設置するスニファ数を最小限に抑えることが望ましい。しかし、実環境ではノードが発信した信号が複雑な伝播特性を示すため、単純な電波伝搬モデル等を用いてスニファの配置位置を決定すると、スニファによって通信を傍受されないノードが発生してしまう可能性がある。

そこで本研究では、実環境における電波伝播特性に基づき、最小限のスニファ数で全ノードが発信したパケットを傍受できるスニファ群の配置位置決定手法を提案する。提案手法では、ノード間で予め測定した電波到達特性を利用して、スニファの初期位置を決定する。また、設置したスニファにおいても各ノードからの電波到達特性を測定し、これに基づいてスニファの位置を調整する。これにより、実環境における電波到達特性に応じて、効率良くパケットを傍受できる位置にスニファを配置する。

2 提案手法

提案手法では、 N 個のノード $\{n_1, n_2, \dots, n_N\}$ が設置済みであり、各ノードの位置が既知である環境を想定する。各スニファ s_i は、ノードと同様の無線通信機能を備えているものとする。

本研究では、送信側ノードにおいて発信されたパケットのうち、受信側ノードまたはスニファにおいて受信できたものの割合をパケット受信率 (PRR) と定義する。本研究の目的は、任意の

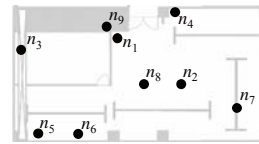


図 1 測定環境

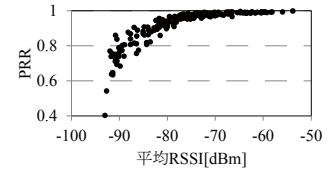


図 2: 平均 RSSI と PRR

ノードに対し、そのノードからいずれかのスニファへの PRR が閾値 R 以上となるよう、スニファを配置することである。本稿では、いずれかのスニファからの PRR が R 以上である場合、そのノードは傍受されていると表現する。

提案手法は、まずノード間で測定した電波到達特性を用いて、一つ目のスニファ s_1 の初期位置を決定する。その後、 s_1 においても周辺ノードからの電波到達特性を測定し、その位置を調整する。 s_1 により傍受されていないノードが存在する場合は、同様の手順により新たなスニファを一つ配置し、その位置を決定する。以上の操作を、全ノードが傍受されるまで繰り返す。以下では、提案手法で用いる電波到達特性について述べた後、スニファの配置位置を決定する手順について詳述する。

2.1 電波到達特性

一般に PRR は、受信電波強度 (RSSI) と相関があることが知られている。このことを検証するため、図 1 に示すように室内に 9 個のノードを設置し、各ノード間における PRR と、受信側で受信できたパケットにおいて観測された RSSI の平均値 (平均 RSSI) との関係性を測定した。結果を図 2 に示す。測定結果より、RSSI がある値を下回ると、PRR が大きく低下することがわかる。このように、ある PRR を保証する最低限の RSSI が存在することがわかる。本研究では、PRR が R 以上となることを保証するために必要な RSSI を信頼 RSSI と定義し、平均 RSSI および信頼 RSSI を用いて、スニファの配置位置を決定する。

2.2 電波到達特性の測定

提案手法では、スニファの配置に先立ち、配置済みのノード間において測定用のパケットを交換し、全ノード間の PRR および平均 RSSI を測定する。次に、測定結果を基地局に収集し、図 2 に示したような関係性から、 R 以上の PRR を保証

A Sniffer Placement Method Using Measured Characteristics of Radio Signal Arrival in Wireless Sensor Networks

Akimitsu KANZAKI, Osaka University

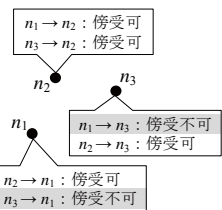


図3：初期位置の決定

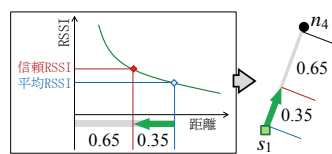


図4：ベクトル長の決定

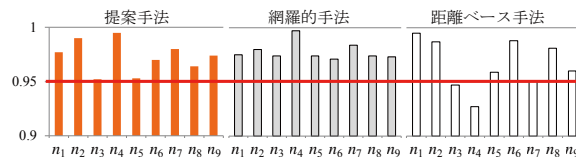


図5：各ノードからのPRR

する信頼RSSIを導出する。

2.3 スニファの初期位置の決定

基地局において、この時点でスニファによって傍受されていないノード群を対象に、新たなスニファ s_k の初期配置位置を決定する。具体的には、各ノード n_i において、傍受できる他ノード数を調査し、その数が最大となるノードの位置を s_k の初期位置に設定する。

図3は、スニファによって傍受されていないノード $\{n_1, n_2, n_3\}$ において、他ノードが傍受可能かどうかを表している。この場合、ノード n_2 における傍受ノード数が最大であるため、この位置がスニファの初期位置となる。

2.4 スニファの位置調整

上記の手順で決定した初期配置では、スニファにおけるPRRが R に満たないノードが存在する可能性がある。これらのノードを傍受可能にするため、スニファの位置を調整する。そのために、PRRが R に満たない各ノードの方向に対し、スニファを移動させるベクトルを付与する。このベクトルの長さは、図4に示すように、現在対象としているノードに対して観測されている平均RSSIと、信頼RSSIを用いて導出する。具体的には、既存の電波伝搬モデルにおいて、平均RSSIおよび信頼RSSIを達成するノード間の距離を導出し、これらの差分の前者に対する比率を算出する。この比率と、現在のスニファと対象ノードとの距離を掛け合わせたものを、ベクトルの大きさに設定する。次に、PRRが R に満たない各ノードに付与したベクトルを合成し、得られたベクトルに対応する方向および距離だけスニファを移動させる。

以上の操作を、スニファの移動量が十分に小さくなるまで繰り返し、位置を決定する。

3 性能評価

提案手法の有効性を検証するため、図1の環境において実験を行った。ノードおよびスニファにはMEMSIC社製のIris Mote[1]を用い、各ノードが -17.0 [dBm] の送信電力にて、1秒ごとに測定用パケットを送信するものとした。閾値 R は 0.95 とした。比較手法としては、室内を格子状に区切った57箇所において電波到達特性を測定

し、この結果を基にスニファの配置位置を決定する手法（網羅的手法）、および、与えられたスニファ数に対して、各スニファとノードとの距離の総和を最小化する位置にスニファを配置する手法（距離ベース手法）を用いた。なお、提案手法および網羅的手法では、配置されたスニファ数がともに4であったため、距離ベース手法において与えるスニファ数も4とした。

各手法において、各ノードが発信したパケットのうち、いずれかのスニファにおいて受信できたものの割合であるPRRを図5に示す。結果より、距離ベース手法では、PRRが R を下回るノードが発生することがわかる。一方、提案手法および網羅的手法では、全ノードにおけるPRRが R 以上となっている。なお、配置位置決定のためにスニファを用いて電波到達特性を測定した地点数は、提案手法は8、網羅的手法は57であった。以上より、提案手法は、スニファの適切な配置位置を容易に決定できることが確認できた。

4 おわりに

本研究では、無線センサネットワークにおいて、電波到達特性の実測に基づき、スニファ群の配置位置を決定する手法を提案した。

提案手法では、スニファが任意の位置に設置できることを想定している。今後は、実環境におけるスニファの配置に関する制約も考慮した手法について検討する予定である。

謝辞 本研究の一部は、文部科学省科学研究費補助金・基盤研究(S) (21220002) および日本学術振興会科学研究費補助金・若手研究(B) (2370078) による成果である。ここに記して謝意を示す。

参考文献

[1] MEMSIC: <http://memsic.com/>
 [2] Romer, K. and Ma, J.: PDA: passive distributed assertions for sensor networks, Proc. IPSN 2009, pp.337-348 (2009).
 [3] Zeng, W., Chen, X., Kim, Y., Bu, Z., Wei, W., and Shi, Z.: Delay monitoring for wireless sensor networks: an architecture using air sniffer, Proc. MILCOM 2009, pp.1-8 (2009).