

# 災害に強い医療情報ネットワークの開発

見越 大樹<sup>1)</sup> 竹中 豊文<sup>1)</sup>

1) 日大工・情報

## 1 はじめに

近年、無線端末をマルチホップで接続することで、地理的に離れた無線端末間の通信を実現するマルチホップ無線ネットワークが注目されている。マルチホップ無線ネットワークは、端末間をマルチホップで中継することで目的地までデータを届けるため、災害時において通信インフラが断絶した場合においても通信が可能であり、耐故障性に対して優れたネットワークである。

我々は災害に強い医療情報ネットワークの実現のために、マルチホップ無線ネットワークを利用する。図1に想定するネットワーク形態を示す。集会所や家庭に血圧計などの医療機器と無線端末（ホームゲートウェイ）があり、医療機器にはBluetoothが搭載されている。ホームゲートウェイはBluetoothで医療機器から情報を受信して、インターネット上の情報管理サーバに情報を送信する。ホームゲートウェイから情報管理サーバへの接続は3つの形態を想定している。1つ目は光ネットワーク、2つ目はセルラーネットワーク、3つ目はマルチホップ無線ネットワークである。光ネットワークとセルラーネットワークは、通常時の接続形態であり、マルチホップ無線ネットワークは非常時の接続形態である。なお、光ネットワークとセルラーネットワークについては、既設の通信インフラを利用して接続される。一方、マルチホップ無線ネットワークについては、ネットワークを新たに開発する必要がある。

マルチホップ無線ネットワークの適用例としてセンサネットワークが注目されており、我々は、センサネットワークを医療情報ネットワークへ適用することを考えており、本稿では、センサネットワークの長寿命化を実現するための手法を提案する。センサネットワークでは、無線通信機能を有したバッテリー駆動型センサ端末（以下、ノード）により、温度・湿度といった環境情報等をモニタリングする。ノードはバッテリーで駆動しているため、データ送受信時における消費電力を低減し、センサネッ

トワークの稼働時間を長くすることが重要な課題である。特に、マルチホップ通信を行うセンサネットワークでは、データ中継回数の多いノードほど、多くの電力が消費される。そのため、データ中継回数の削減を図れるクラスタリング手法 [1] が提案されている。

クラスタリング手法では、隣接ノード間でクラスタを形成し、クラスタ内の代表ノードであるクラスタヘッド（以下、CH）を決定する。CHは、クラスタ内のノードからセンサデータを収集し、CH間でマルチホップ通信を行い、シンク（基地局）にセンサデータを送信することで、センサネットワーク全体で消費される電力の低減を図っている。

クラスタリングの実現手法として、我々はこれまでにPARC (Power Aware Routing and Clustering scheme for wireless sensor networks)[2] を提案した。PARCでは、クラスタリングとルーチングを同時に行うことで、制御パケットによる消費電力の削減を図っている。しかし、PARCにおいてもCH間は、マルチホップ通信によりデータの中継を行うため、シンク付近のCHはホットスポット問題が発生する。

我々は、この問題点を解決するため、PARCに移動シンクを導入する方式を提案する [3]。提案方式では、データを収集するための停止地点を予め複数箇所選択し、各停止地点で移動シンクはPARCによりデータを収集する。更に、各停止地点での収集回数を最適化することにより、収集地点の近傍のノードの負荷の均一化を図り、ネットワークの長寿命化を図っている。

## 2 PARC

PARCは、CHをネットワーク内に均一に配置し、CH間の負荷分散を図るとともに、クラスタリングによるデータの集約によりデータ中継回数を削減し、消費電力の削減を図っている。以下に、PARCのクラスタリング・ルーチング手法を説明する。

### 2.1 クラスタリング・ルーチング手法

各ラウンド（クラスタリング構築周期）開始時、シンクは出力小の電波で、スレーブ制御パケットを送信する。スレーブ制御パケットには、シンクのノードIDが含まれている。スレーブ制御パケットを受信したノードは、シンクのスレーブノードとなり、電力の消費を抑えるため即座に送受信機の電源を切る。シンクは、出力小でスレーブ制御パケットを送信した後、即座に出力大でRREQ (RouteRequest) パケットを送信する。RREQには、送信元ノードID、parentID（転送元ノードID）、中継ホップ数、シーケンス番号が含まれている。RREQ

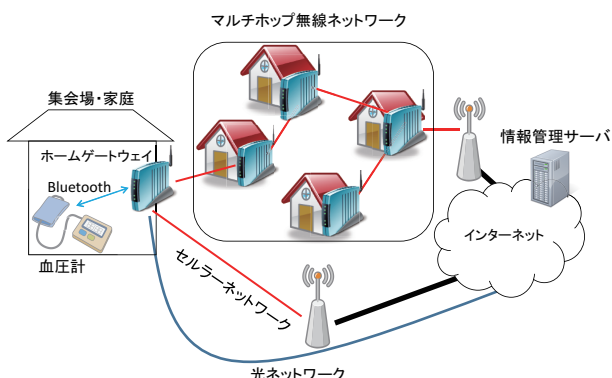


図1 想定するネットワーク形態

を受信したノードは、タイマをセットする。タイマ値は、初期バッテリー量と自身の残余電力量の比率となる。このタイマが最初にタイムアウトしたノードが CH となる。CH となったノードは、シンクと同様にスレーブ制御パケット、RREQ を送信する。もしタイマ稼働中のノードが、CH となったノードからの同一シーケンス番号の RREQ を受信した場合、当該ノードは、RREQ を送信した CH のスレーブノードとなり、タイマをリセットする。また、同一シーケンス番号の RREQ を複数受信した場合、最も早く受信した CH のスレーブノードとなる。CH が、RREQ をフラッディングしてから一定時間経過後、同一シーケンス番号の RREQ を再度受信しない場合、その CH は外縁 CH となり、RREP (RouteREply) をシンクまで返送する。各 CH は、自身の保持する parentID ノードに RREP を返送していくことにより、sink から外縁 CH までの経路が構築される。

## 2.2 PARC の問題点

PARC では、シンクに向けてマルチホップでデータを送信するため、シンク付近の CH は、他の CH よりもデータパケットの中継回数が多くなる。そのため、シンク付近の CH はホットスポット問題によりバッテリーが早期に枯渇し、シンクへデータを送信できなくなってしまう。一方、外縁 CH は、親 CH に向けて集約したデータを送信するだけで、他の CH からのデータの中継を行わないため、シンク付近の CH より消費電力が少ない。このノード間の消費電力の不均一は、ネットワーク寿命低減の原因となっている。

## 3 提案方式

本稿では、PARC におけるホットスポット問題を解決するため、PARC に移動シンク方式を導入する。提案方式における移動シンクは、ネットワーク領域の外周部を巡回する。ネットワーク領域の外周部において、停止地点を一定間隔に選択する。このとき、すべての停止地点における移動シンクの電波範囲がネットワークの外周部を覆い、かつ、電波範囲が被覆しないように、停止地点を決定する。これは、停止地点の電波範囲が被覆する区域内に存在するノードは、CH となる頻度が増え、バッテリーが早期に枯渇してしまい、ネットワークの寿命を劣化させる原因となるためである。停止地点を選択した後、各停止地点でのデータ収集ラウンド数を各停止地点での電波範囲内のノード数に応じて決定する。次節にデータ収集ラウンド数の決定手法を説明する。

### 3.1 各停止地点でのデータ収集ラウンド数の最適化

移動シンクがデータ収集を行う際、各停止地点のデータ収集ラウンド数は各停止地点の電波範囲内のノード数によって決定される。これは、各停止地点の周囲のノード数に大きな差が生じている環境で、すべての停止地点のデータ収集ラウンド数が同一の場合、ホットスポット問題が発生するためである。以下に、各停止地点での

データ収集ラウンド数を決定するアルゴリズムを記す。

- 1) 初期状態において、移動シンクは各停止地点を巡回し、各停止地点にて移動シンクとノード間で HELLO メッセージを交換し、各停止地点のノード数を求める。
- 2) 移動シンクは以下の式を使用し、すべての停止地点でのデータ収集ラウンド数を計算する。

$$ROUND \left( \frac{d_i}{\min_{k \in N} d_k} \right) \quad (1)$$

$d_i$ : 停止地点のノード数

$N$ : 停止地点数

## 4 性能評価

PARC と提案方式の性能を比較評価する。評価環境を以下に示す。

- 1) ノードの台数は 500 台。
- 2) ネットワーク領域は  $100\text{m}^2$  とし、ノード配置は格子状配置とランダム配置の 2 通り。
- 3) RREQ の情報量を 1000bit、スレーブ制御パケットの情報量を 500bit とする。ノードの 1 回の収集データ量を 12bit とする。
- 4) 出力大の通信範囲は 22.36m とし、出力小の通信範囲を 11.18m とする。
- 5) 1 ラウンド毎のデータ収集回数を、事前のシミュレーション実験の結果を考慮して 100 とする。
- 6) シミュレーション終了条件は、データ到達率が 0 になった時点とする。

### 4.1 格子状配置での評価

格子状配置における提案方式では、各停止地点の電波範囲内のノード数に差がほとんどないため、すべての停止地点の最適な収集回数は 1 となった。

図 2 に、格子状配置でのデータ到達率を示す。PARC では、データ収集回数が 46,000 を過ぎてから急激にデータ到達率が低下した。これは、固定シンクの周囲でホットスポット問題が発生したためである。そのため、シンクの周囲のノードのバッテリーは枯渇し、シンクはデータ収集が不可能となった。一方、提案方式によるデータ到達率 100% 期間は約 165,000 まで続き、提案方式は PARC に比べネットワーク寿命が約 4 倍に延びている。これは、移動シンクを導入することによりホットスポット問題を軽減したためである。

### 4.2 ランダム配置での評価

ランダム配置における提案方式では、各停止地点の電波範囲内のノード数によって、各停止地点のデータ収集ラウンド数が変化している。また、今回データ収集ラウンド数の最適化を行った場合と、最適化を行わなかった場合の両方の性能も評価した。最適化を行わなかった場合では、すべての停止地点でのデータ収集ラウンド数は 1 とする。

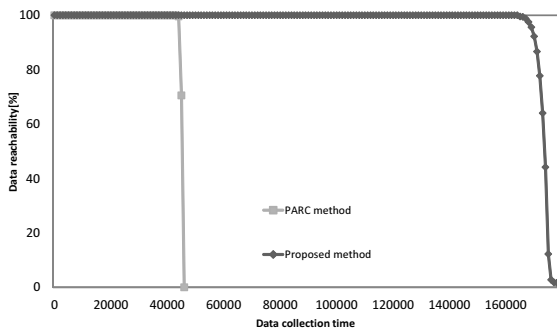


図2 データ到達率 (配置:格子状)

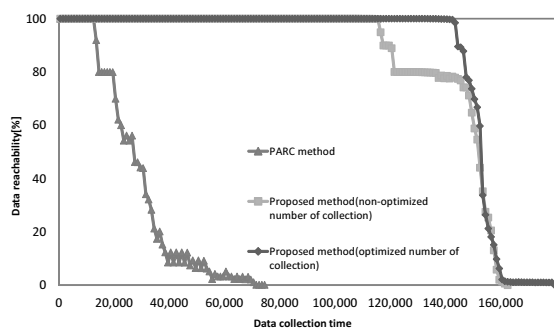


図3 データ到達率 (配置:ランダム)

図3に、ランダム配置におけるデータ到達率を示す。PARCでは、データ収集回数が13,000以降データ到達率が低下しており、ランダム配置でのPARCにおけるデータ到達率は、格子状配置でのPARCにおけるデータ到達率よりも劣化している。これは、ランダム配置時の固定シンクの周囲のノードの数は、格子状配置における固定シンクの周囲のノードよりも少ない。これにより、ランダム配置時におけるデータ到達率の劣化が格子状配置におけるデータ到達率よりも早くなった。最適化を行わなかった場合の提案方式では、データ到達率100%維持期間がデータ収集回数約109,000まで継続した。これは、移動シンク方式によりホットスポット問題が軽減されたためである。しかし、データ収集回数110,000周辺でデータ到達率が徐々に低下している。これは、データ収集ラウンド数が、各停止地点における電波範囲内のノードの数に応じて最適化されていないためである。最適化を行った場合の提案方式では、データ収集回数133,000までデータ到達率100%維持期間が継続され、すべての方式の中で最長のネットワーク寿命となっている。これは、各停止地点のデータ収集ラウンド数の最適化によって停止地点の周囲のノード間の負荷が分散したためである。

## 5 システムの開発状況

医療情報を収集するシステムとして、心拍情報をセルラーネットワークを通じて収集するシステムを開発した。心拍情報を検知する機器としてユニオンツール株式会社の心拍センサ WHS-2 [4] を利用した。また、ホームゲー

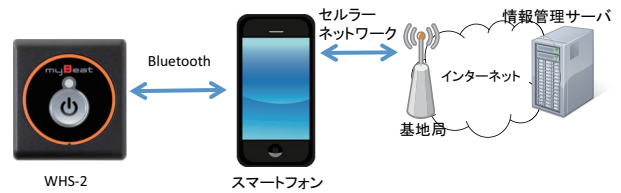


図4 心拍情報収集システム

トウェイとしてスマートフォンを利用した。WHS-2は、小型の心拍センサであり、Bluetooth通信に対応している。スマートフォンの画面に心拍、体表温を表示可能である。開発したシステムを図4に示す。WHS-2とスマートフォン間はBluetoothで通信を行う。スマートフォンはセルラーネットワークを利用して、情報管理サーバへ心拍情報を送信する。現段階では、情報管理サーバで心拍情報を保存するのみであり、保存された情報を表示するシステムは今後の課題である。

## 6 むすび

PARCにおけるホットスポット問題を解決するために、PARC手法に移動シンク方式を導入する方式を提案した。提案方式では、移動シンクがデータを収集するための停止地点を複数選択し、各停止地点の電波範囲内のノード数に応じてデータ収集ラウンド数の最適化を行うことで、ホットスポット問題を軽減し、ノード間の負荷を均一にした。シミュレーション結果により格子状、ランダムどちらにおいても提案手法の有効性を示した。

また、小型の心拍センサとスマートフォンを用いて、心拍情報を収集するネットワークを開発した。今後は、マルチホップ無線ネットワークで心拍情報を送信するネットワークの開発を行う。

## 参考文献

- [1] W. R. Heinzelman, A. P. Chandrakasan, H. Balakrishnan "An Application Specific Protocol Architecture for Wireless Microsensor Networks," IEEE Transactions on Wireless Communications, pp.660-670, 2002.
- [2] Taiju MIKOSHI, Shinichi MOMMA, and Toyofumi TAKENAKA, "PARC: Power Aware Routing and Clustering Scheme for Wireless Sensor Networks", IEICE Trans. Vol.E94-B, No.12, pp.3471-3479.
- [3] 渡辺拓実, 見越大樹, 竹中豊文, "移動シンクによるPARCを用いた無線センサネットワークの長寿命化," 電子情報通信学会論文誌 B, J98-B no. 5, pp. 442-447, 2015年5月
- [4] 心拍センサ WHS-2, <http://www.uniontool.co.jp/product/sensor/index.html>