

災害に強い医療情報ネットワークの開発

見越 大樹¹⁾
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[1][2]が注目されており、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。我々は、センサネットワークにおける経路構築およびデータ収集手法を災害に強い医療情報ネットワークへ適用することを考えている。しかし、端末（以下、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、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。残余電力量をメトリックに用いてCHの選択を行い、CHとシンク間の経路を定期的に再構築することにより、端末負荷の分散を図り、ネットワークの長寿命化を行っている。

しかし、PARCの評価は計算機シミュレータによる検証を行ったのみで、実機の無線デバイスを用いた評価は行っていない。このため、実機実験を行い実環境において利用可能な方式に改良する必要がある。

本稿では、PARCの紹介を行うと共に、実機を用いた通信実験の紹介を行う。

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を受信したノードは、タイマをセットする。タイマ値は、

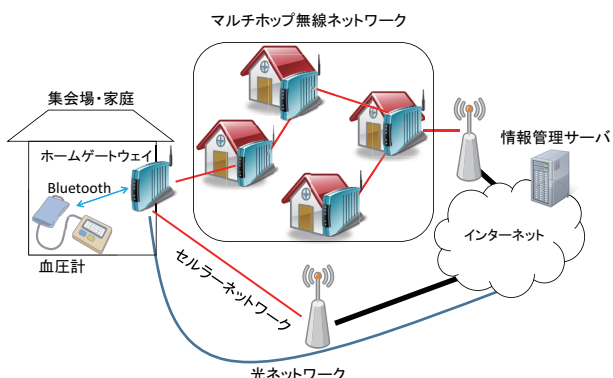


図1 想定するネットワーク形態

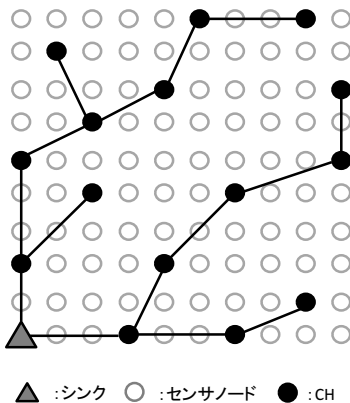


図2 PARCによって構築された経路

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プ制御パケット、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のスレープノードとなり、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のスレープノードとなる。CHが、RREQをフラ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。また、PARCにおいて、一定周期ごとにクラスタの再構築を行うことで特定のノードに負荷が集中することを防いでる。

図2に構築された経路を示す。シンクから各CHを繋いだツリー状のネットワークが構築される。また、CH周辺のセンサノードは近傍のCHへ自身のセンシングデータを送信する。

3 実機による通信実験

通信実験において、現段階では、機器の使用法の調査および簡易的なネットワークの構築まで完了している。以下に、通信機器の詳細および通信実験の詳細を述べる。

3.1 実験機器

通信機器には、図3に示すDigi International社のXBee ZB RF モジュール(以下、XBee モジュール)を用いた。XBee モジュールは幅3cm、長さ4cm、高さ1cm(アンテナ部除く)の小型端末であり、2.4GHz 及び900MHzの帯域にて通信が可能である。また、XBee モジュールは16進数16桁で表現されるユニークなアドレスを保有する。XBee モジュールはATコマンドと呼ばれるメッセージをシリアル通信により投入することで制御可能である。ATコマンドには、通信に使用するチャンネルの



図3 XBee ZB RF モジュール

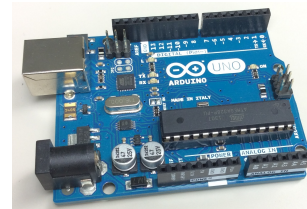


図4 Arduino Uno

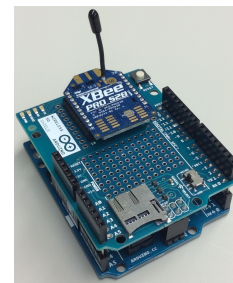


図5 XBee モジュールと Arduino の連結形態

変更、自身のアドレスの取得、他端末へのデータの送信などが用意されている。また、XBee モジュールはAPIモードと呼ばれるモードがあり、APIモードではATコマンドやデータの送信リクエストを各命令のフォーマットに従った形で投入することで命令が実行される。XBee モジュールを制御するデバイスとして、AVR マイコンボードである図4のArduino Unoを用いた。図5に示すように、XBee モジュールはArduino Unoと容易に連結が可能である。Arduino UnoからXBee モジュールを制御するライブラリも用意されており、Arduinoに独自に開発したソフトウェアを実装することで、クラスタリングを行うセンサネットワークを構築可能となる。開発においてはC言語などの高級言語で開発が可能であるため、比較的容易に開発が可能である。

3.2 ネットワーク構築方法

実験において、下記のコマンド及び手順を用いてクラスタリングを行い、ネットワークを構築した。

ATSH: 自身のアドレスの上位8桁を取得

ATSL: 自身のアドレスの下位8桁を取得

ATDB: 直前に受信した信号の電波強度であるRSSI値を取得

ネットワークを構築するために、図6のフォーマットにより構成される中継ノード探索メッセージを定義し

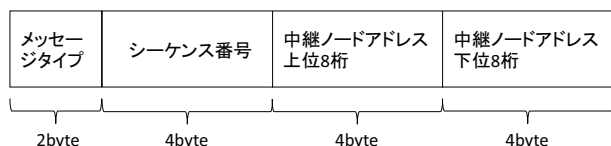


図 6 中継ノード探索メッセージフォーマット

た. メッセージタイプには, 中継ノード探索メッセージを表す値であり, 今回の実験においては 0x000B を設定した. シーケンス番号は処理を管理する通し番号であり 0x00000000~0xFFFFFFFF の値をとる. 中継ノードアドレスには, ATSH や ATSL コマンドにより取得した値を用いる. 実験において行ったネットワークの構築手順を以下に示す.

- 1) シンクが自身のアドレスを設定した中継ノード探索メッセージを送信.
 - 2) 中継ノード探索メッセージを受信したノードは, RSSI を基に以下の (a)-(c) の動作を行う.
 - (a) RSSI が閾値 th_H 以上 : メッセージを送信したノードの子ノードに遷移.
 - (b) RSSI が閾値 th_H 未満かつ th_L 以上 : メッセージを送信したノードの子ノードかつ中継ノードに遷移.
 - (c) RSSI が閾値 th_L 未満 : メッセージを廃棄.
- なお, 閾値は $th_H > th_L$ とする. すでに中継ノードに遷移済みのノードが古いシーケンス番号の中継ノード探索メッセージを受信した場合はメッセージを破棄する.
- 3) 中継ノードに遷移したノードは, 自身のアドレスを設定した中継ノード探索メッセージを送信.
 - 4) 中継ノード探索メッセージを受信するノードがなくなるまで 2)~3) の動作を繰り返す.

3.3 通信実験

通信実験において, XBee モジュールを搭載させた Arduino Uno を配置し, ネットワークを構築した. 11 台を直線状に配置した場合と, 9 台を格子状の配置した場合の 2 通りで評価を行った. 直線状, 格子状のどちらの場合においても 2m 間隔で端末を配置した. なお, 1 台をパソコンに有線接続し, シンクとして動作させた.

図 7 にクラスタの形成成功率を示す. クラスタ形成成功率は, 形成されたクラスタにすべての端末が参加し, かつ, ネットワークに連結性が有る場合は成功とし求めた. 直線状配置の場合は 39 回, 格子状配置の場合は 46 回クラスタ形成を行い評価した. 直線状, 格子状どちらの場合も 40% 以下の成功率となっており, 低い結果となった. これは, 電波環境の問題により電波を受信しにくい端末が存在したためだと考えられる. 図 8 にデータ到達率を示す. データ到達率は 形成したクラスタを用いて端末がデータをシンクへ送信し, シンクへデータが

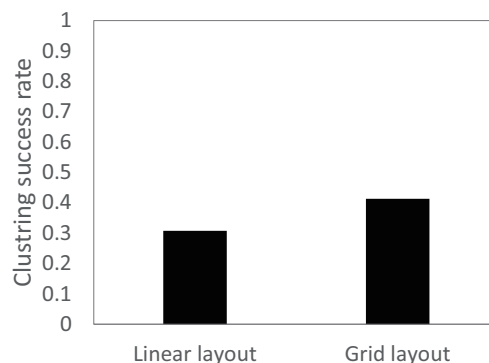


図 7 クラスタ形成成功率

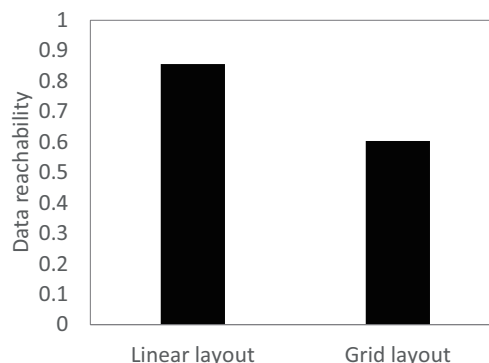


図 8 データ到達率

到達した端末の台数をもとに求めている. 直線状配置では 87%, 格子状配置では 60% のデータ到達率となっている. 格子状配置では, 隣接する端末台数が直線状配置と比較して多いため, 電波干渉により到達率が劣化していると考えられる. この問題については, 再送処理を実装することで解決可能である.

4 むすび

マルチホップ無線ネットワークの一つであるセンサネットワークを紹介すると共に, クラスタリング用いたデータ収集方式として PARC 方式を紹介した. 実機を用いた実験を行い, ネットワークが構築の検証を行った. クラスタ形成率が劣化しているため, 形成率を向上させる手法を検討する必要がある. データ送信に再送処理を実装する必要がある. また, 今後は, 端末数を 50 台程度に増やし検証を行う.

参考文献

- [1] K. Yanagihara, et. al. , "EACLE : Energy-Aware Clustering Scheme with Transmission Power Control for Sensor Networks," Wireless Personal Commun. , Vol. 40, No. 3, pp.401-415, Feb. 2007.
- [2] T. Mikoshi, et. al. , "PARC:Power Aware Routing and Clustering Scheme for Wireless Sensor Networks", IEICE Trans. Vol. E94-B, No. 12, pp.3471-3479.
- [3] 鈴木旭, 見越大樹, 西園敏弘, "センサネットワークにおける省電力クラスタリング手法の実装," 電子情報通信学会ソサイエティ大会, B-6-70, 2016 年 8 月.