

センサネットワークにおけるセンシング機能割り当ておよび効率的データ集約の同時最適化手法の提案

川野 亮平[†] 宮崎 敏明[†]

会津大学大学院コンピュータ理工学研究科[†]

1 はじめに

センサネットワークでは、温度や光度などの情報を監視領域全体から過不足無く取得するために、面的に偏りなくセンシング機能を分散させることが必要である。また、センシングした情報を監視者に効率的に集約することも重要である。本稿では、これら 2 つの問題を同時に最適化する手法を提案し、シミュレーション実験により、本提案手法の有効性を示す。

2 センサネットワークモデル

本稿では、災害現場や山中などのインフラ整備が困難な場所に多数のセンサノード(以下、ノードと略す)をばら撒き、ノードの協同作業により自律分散ネットワークを構築するワイヤレスセンサネットワーク(WSN)システムを想定する[1]。図 1 に我々が想定する WSN を示す。提案手法では、面的に偏りのないセンシング機能の割り当てと、パケット衝突を回避するために TDMA 通信で用いる動的タイムスロット割り当ての 2 つの問題を同時に最適化する。また、温度や光度などの環境情報の集約を効率的に行なうために、基地局を根とするデータ集約木を構築し、効率的にデータ転送を行う方法も併せて提案する。

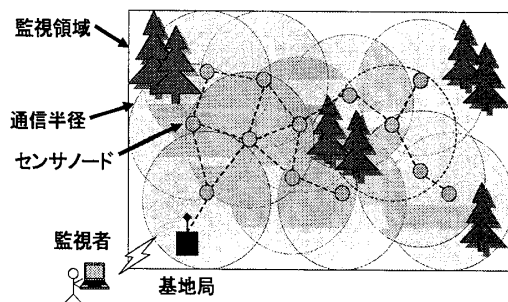


図 1: センサネットワーク

3 提案手法

最初に本稿で使用する変数と定数を図 2 で定義し、図 3 に提案アルゴリズムの概要を示す。提案手法は、制御期間とデータ集約期間の 2 つの期間から構成され、周期的に交互に繰り返し実行される。また、パケットを受信した場合は現在の処理を中断しリスト P に受信したパケットの情報を追加する。

データ集約期間では、割り当てたセンサ機能を用いてセンシングを行ない、決定したタイムスロットに基づいて、親ノードに対して、パケットの送信を行なう。制御期間では、センシング機能とタイムスロットの割り当てを行なう。また、親ノードの選択をし、木構造を構築する。これら処理の詳細を以下に述べる。

センシング機能割り当て

監視領域全体に対して、偏りなくセンシング機能を分散させるために、著者等が以前提案した分散彩色アルゴリズム[2]を、“oneHopColoringAlgorithm()”として使用する。

Dual optimization method for dynamic sensor allocation and effective data aggregation in wireless sensor networks

[†] Ryouhei Kawano, [†] Toshiaki Miyazaki

[†] Graduate School of Computer Science and Engineering, The University of Aizu

注記:

self: 処理を行なうノード自身。

length: リストの要素数

V : 近隣ノード情報のリスト($v[0], v[1], \dots, v[|V| - 1]$)

P : 受信したパケットのリスト。パケットの受信時に更新される。
($p[0], p[1], \dots, p[|P| - 1]$)

ID: 各ノードを識別する数字。この値は重複しない。

parent: 親ノード

level: ノードのレベル

timeslot: タイムスロット。 $0 \leq \text{timeslot} < \text{numOfSlots}$

sensorID: センサ ID。 $0 \leq \text{sensorID} < \text{numOfSensors}$ 。

numOfFrames: 1 周期辺りのフレーム数

numOfSlots: 1 フレーム辺りのスロット数

numOfSensors: センシング機能の数

oneSlotTime: 1 スロット辺りの時間

ctrlPeriodTime: 制御期間の時間

図 2: 提案手法で使用する変数と定数

procedure algorithm(M, T, S) {

self->timeslot = 0;

self->sensorID = 0;

P .clear();

// もしパケットを受信したら、メインの処理を中断し
// List P に受信したパケットの情報を追加する
setupPacketReceiveHandler();

while(true){
 runCtrlPeriod();

 for(j = 0; j < numOfFrames; j++){
 for(k = 0; k < numOfSlots; k++){
 if(*self*->color == k) { (親ノードにデータ送信);
 listen(oneSlotTime);
 }
 }
}

procedure runCtrlPeriod(){

 int begin = random(ctrlPeriodTime);

 listen(begin);

self->sensorID = oneHopColoringAlgorithm();

self->timeslot = twoHopColoringAlgorithm();

 treeConstructionAlgorithm();

 (近隣にデータをブロードキャストする);

 listen(ctrlPeriodTime - begin);

}

図 3: 提案アルゴリズム

TDMA 通信のためのタイムスロット割り当て

提案手法ではパケット衝突の問題を TDMA (Time Division Multiple Access) 通信を実現することで解決する。TDMA では一定の時間周期で多数のタイムスロットと

呼ばれる時間単位に分割し、各ノードに近隣ノードと通信のタイミングが重ならないようにタイムスロットを割り当てる。各ノードは、割り当てられたタイムスロットに基づいてパケットの送信を行なう。図4にタイムスロット割り当ての例を示す。図4のノードAの2ホップ内のノードに同一のタイムスロットを割り当てているノードが存在しないため、衝突が無く通信が行える。

このタイムスロット割り当てを実現するために、上述の分散彩色アルゴリズムに変更を加えて適用する。TDMA通信を実現するためには全てのタイムスロットに別々の色を割り当てる必要がある。つまり、各ノードは2ホップ以内のノードとは異なるタイムスロットを割り当てるべきである。図3中、"twoHopColoringAlgorithm()"は、本処理を実行する部分である。

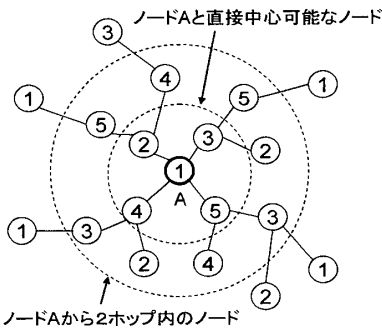


図4：タイムスロット割り当て。各数字はタイムスロットを示す

データ集約木の構築

データを効率的に集約するために、基地局を根とするデータ集約木を構築する。提案手法は、木の深さを示す level と親ノードを示す parent を設定し、木構造を構築する。図5に、提案手法の擬似コードを示す。

```

procedure treeConstructionAlgorithm(){
  int i, minLevel = ∞;
  double rand;
  create list L;

  for(i = 0; i < V->length; i++){
    if(minLevel > v[i]->level){
      minLevel = v[i]->level;
      L.clear();
      L.add(v[i]->ID);
    }else if(minLevel == v[i]->level){
      L.add(v[i]->ID);
    }
  }
  if(minLevel < ∞){
    rand = generateRandomVariable(); // 0 ≤ rand < L->length
    self->level = minLevel + 1;
    self->parent = L.get(rand);
  }
}

```

図5：データ集約木構築アルゴリズム

4 性能評価

提案手法の有効性を評価するために、提案手法と、データ集約木の構築のみを行ないデータ集約自体は構築した木の経路に従ってランダムに行う手法（以降、ランダム手法とよぶ）の2つの場合に関してシミュレーション実験を行なった。実験では、4種類の異なるノード数を持つグラフに対して各10回試行し、その平均値を算出した。各試行を十分な時間シミュレーション後、評価を行なった。

まず、センサの分散度合を評価する実験を行なった。センサ機能がより分散して割り当てられることを評価す

るために、ノードを固定の空間にランダムにばらまいた。ここで、空間全体を細かい領域に区切り、領域毎に分散を求め、求めた領域毎の分散の総和を評価値とした。本評価値がより小さいほど満遍なくセンサ機能が分布していることを示している。図6に評価結果を示す。x軸は配置したノード総数を示し、y軸はセンシング機能の分散の和を示している。各棒グラフは、手法の違いを表している。図6より、ノード数によらず、データ集約に関して何も制御しないランダム手法に比べて、提案手法では、センシング機能がより平均的に分散していることが分かる。特に、ノード数が100の時は、ランダム手法の2倍程度の値となり、効果が大きいことが分かる。これより、提案手法は、機能の分散配置の点で、効果的であるといえる。

次に、基地局が受信した総パケット数に関して評価した。結果を図7に示す。x軸はノード総数を示し、y軸は基地局が受信した総パケット数を示す。図より、提案手法は、ランダム手法の、最大約18倍のパケットを取得できており、安定したデータ集約が行なわれていることがわかる。

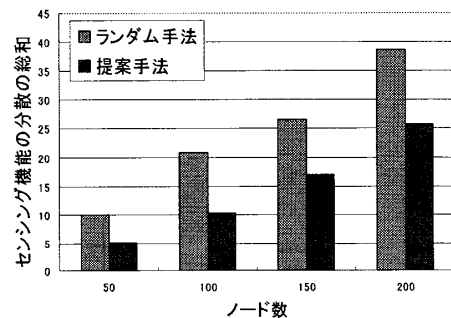


図6：センサ機能分散

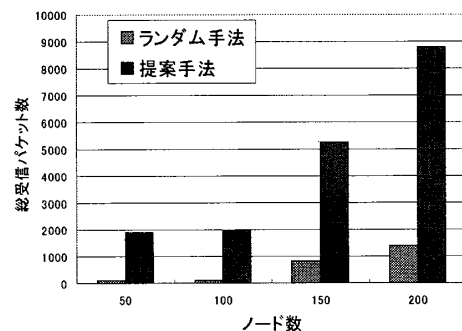


図7：基地局が受信した総パケット数

5 おわりに

彩色アルゴリズムを使用して、センシング機能とタイムスロットの割り当てを同時に行なう手法を提案した。また、シミュレーションにより、提案手法は、面的に偏りのないセンシング機能割り当てと効率の良いデータ集約を同時に最適化できることを示した。今後は実機による評価を行う。

謝辞

本研究の一部は、日本学術振興会科学研究費助成金(課題番号:18500060)による。

参考文献

- [1] I.F. Akyldiz et al, "Wireless Sensor Network: A Survey", Comp. Networks J, vol.38, no.4, pp.393-422, Mar. 2002
- [2] R. Kawano, and T. Miyazaki, "Distributed Coloring Algorithm for Wireless Sensor Networks and Its Applications," Proc. 7th IEEE International Conference on Computer and Information Technology (CIT2007), Oct. 2007.