

無線センサーネットワークにおける柔軟な動的機能割り当て法

小林広治† 宮崎敏明†

会津大学コンピュータ理工学部†

1. はじめに

近年盛んに研究が行われている無線センサーネットワーク (WSN) において、観測領域内の環境変化に合わせて各センサーノードに、適切な機能を動的に割り当てることは、大規模な WSN を構築・運用する上で非常に重要である。過去、機能割り当てに関して、いくつかの手法が提案されているが、それらは非現実的な前提条件を仮定している場合が多かった。本稿では、実環境を想定したより実用的な機能割り当て手法の提案と、シミュレーションによる評価結果を示す。

2. WSN における機能割り当て

固定的なネットワークインフラが設置困難な、山間奥地や災害現場などの環境観測を行うために WSN が注目されている [1]。WSN は、観測領域に、センサー、無線通信モジュール、CPU、およびそれらを駆動するバッテリーを搭載したセンサーノードと呼ぶ小型無線端末を複数設置し、自律的にセンサーノード間をつなぐ無線ネットワークを構築する。各センサーノードが取得した環境データを、その無線ネットワークを通じて取得することにより、観測領域で発生した物理現象をリアルタイムに把握することができる。ここで、観測領域内の環境は時間とともに変化するため、各センサーノードに環境変化に合わせて、適切な機能を動的に割り当てることが望まれる [2][3][4]。これにより、柔軟性のある観測が可能となり、大規模な WSN であっても、その設置や運用が効率的に行えるようになる。

論文 [5][6] では、上記目的に適用可能な動的機能割り当て手法を提案しているが、具体的な環境変化に対応した各センサーノードへの機能割り当て方法や、センサーノード自身の振る舞いに曖昧さが残り、実環境で同手法を適用するには、さらなる配慮が必要である。

3. 提案手法

2章の考察から、本稿では、論文 [5][6] の機能割り当て手法が扱う Coverage 問題に関して、火災などの具体的な物理現象が観測された時、適切な機能割り当てが動的に実行されるように、同手法の枠組みを使用しつつ、実環境に適用するための改善を加えた柔軟な動的機能割り当て法を提案する。

3.1 動的機能割り当て法

論文 [5][6] の手法では、各センサーノードは、自分が保持している property directory と呼ぶ情報を、その情報に変化する度に、ブロードキャストし、近隣センサーノードに知らせる。表 1 は property directory の一例である。動的機能割り当ては、各センサーノード自身および近隣センサーノードから得た property directory の情報に基づき、各条件下でどの機能を発火するかを指定する形で、ユーザが予め与えた動作仕様から、現在起動すべき機能を各センサーノードが自律的に選択することにより実現する。

An approach to flexible and dynamic role assignment in wireless sensor networks

†Koji Kobayashi, †Toshiaki Miyazaki

†School of Computer Science and Engineering, The University of Aizu

表 1: Property directory の例

Property	Value
バッテリー容量: Battery	60%
位置: Pos	(30.1, 11.8)
近隣ノード数: N	4
温度センサー機能: Tfunc	true
温度センシング: Tsens	ON
火災: Fire	true
パケット送信レート: PR	60 sec

3.2 Coverage 問題点

動的機能割り当ての一例として、観測領域に対して面的に過不足のないセンシング機能を動的に割り当てる問題がある。これを Coverage 問題と呼ぶ。前述した動的機能割り当て法を用いることにより、状況に合わせて、一つ一つのセンサーノードにユーザがセンシング機能を割り当てることなく、WSN 全体としてユーザの望むセンシング機能が実現できる。また、センシング範囲が重複するセンサーノードは、機能を停止することにより、ネットワーク寿命を延ばすことも可能となる。しかし、論文 [5][6] の手法では、例えば「火災の発生など、急激な環境の変化が起きた時に、その事象を集中的に観測するために、事象発生を検知した複数のセンサーノード同士が協調動作し、必要十分なセンシングデータを頻繁にユーザに送付する」といった複雑な動作シナリオをいかに定義するか言及されていない。

3.3 動的機能割り当て手順の改善

ここでは、前述した動作シナリオとそれに沿った動的機能割り当ての手順を、図 1 を例として具体的に示す。図 1 は、観測領域の中心地点で火災が起こったことを想定している。ランダムにばら撒かれたセンサーノード (以下、単にノードと呼ぶ) によりネットワークを形成する。ただし、通信範囲により、ネットワークに参加しないノードも存在する。また、火災地点を中心として一点鎖線で示した範囲内にあるノードは、温度センサーの値が閾値以上になったとし、センシングデータのパケット送信レート PR を速くする。ここで、PR は一律に速くするのではなく、近隣ノード数により、速くする度合いを変えることにする。これを協調動作と呼ぶ。

各ノードの具体的な動作仕様は、図 2 の通りである。動作仕様は、平常時 (LowRateNode)、非常時 (HighRateNode)、未送信 (OFF) の三つの動作状態からなる。平常時 (LowRateNode) とは、温度センサーを搭載しており、かつ、バッテリー容量が規定 (threshold) 以上であり、かつ、センシング機能が ON であるノードが、自分とセンシング領域が重なる範囲に存在しない場合である。この条件を満たした時、PR を 60 秒として、温度センシングを実行する。これは、通常の Coverage 問題を解くことを意識した動作である。一方、非常時 (HighRateNode) での振る舞いは、平常時と同様であるが、火災が発生したことを示すイベント $Fire == true$ の場合であり、温度センシングを行っている 1hop 内のノード数 N を求め、 $(N+1)*10$ 秒として PR をセットする。例えば、 $N=2$ であれば、PR は 30 秒となり、平常時に比べ、2 倍のパケット送信レートでセンシングデータを基地局へ送ることになる。上記の、平常時と非常時のどちらにも条件が当てはまらない場合、温度センシングは OFF となり、デ

ータパケットの送信を行わない。

文献[5][6]では、動作仕様として、対応する動作の発火条件のみを記載するようになっていたが、本稿では、変数の定義とそれを用いた代入式、条件式の記述も可能とした。これにより、前述した協調動作や連係動作の定義が可能となった。

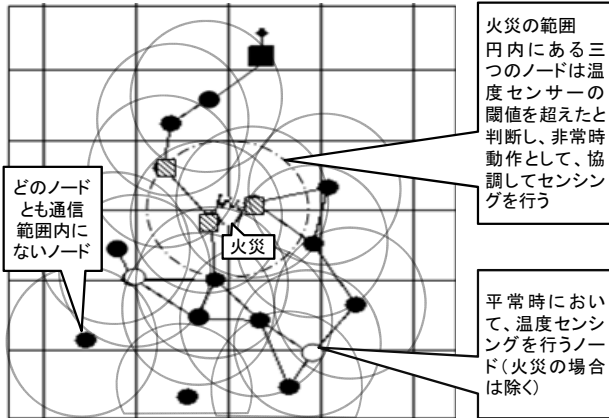


図 1: 火災時の動作シナリオ

```

1 LowRateNode :: { // 平常時の動作
2   Fire == false &&
3   Tfunc == true && Battery >= threshold &&
4   count(2 hop){
5     Tsens == ON &&
6     dist(super.pos,pos) <= sensing-range
7   } <= 1;
8   PR = 60; // 固定送信レート
9 }

10 HighRateNode :: { // 非常時の動作
11   Fire == true &&
12   Tfunc == true && Battery >= threshold &&
13   N = count(1 hop){ // 温度センシングしている近隣
14     // ノード数
15     Tsens == ON
16   };
17   PR = (N + 1) * 10; // 自ノードを含めた近隣ノード数
18   // の10倍の送信レート
19 }

20 OFF :: else // パケット送信動作停止
    
```

図 2: 動的機能割り当てのアルゴリズム

4. 検証

図 1 で示した環境下で、(1)火災イベントが起こらない平常時の Coverage を重視した動的機能割り当て法 (2)火災のイベントがあった非常時の場合、隣接ノードが協調動作する場合 (3)火災のイベントがあった非常時の場合でも、隣接ノードが協調動作しない場合 の三つの場合におけるパケットの総送出数をシミュレーションにより求めた。ここで、協調しない場合とは、図 2 の 13-15 行目の温度センシングが ON の数を数えて、パケット送信レートを変数とするという条件を外した場合であり、PR は平常時と同じ 60 秒とした。投入したノード数は 17 個である。結果を図 3 と表 2 に示す。図 3 は、横軸に時間経過を取り、縦軸に 17 個のノードから送出されるセンシングパケットの総累積送出数を示している。ここで、火災が発生する場合は、0 秒の時点で発生したと仮定している。表 2 は、各ノードの 1 分当たりの平均パケット

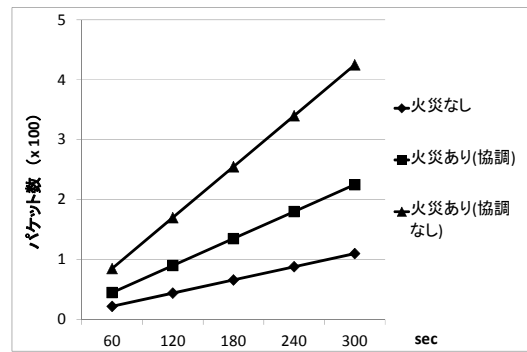


図 3: パケットの総送出数

表 2: 各センサーノードの 1 分当たりの平均パケット送出数の比較

	火災なし	火災あり(協調)	火災あり(協調なし)
平均パケット送出数	22	45	85

送出数である。図 3 と表 2 から分かるように、本稿が提案するノード間の協調動作を入れることにより、協調動作をしない場合に比べ、火災が発生した場合でも、ノードからのパケット送出数が抑えられていることが分かる。これは、平常時は、Coverage とネットワーク寿命を考慮したセンシングを行いつつ、火災などの非常時には、パケット衝突を回避しつつ、突発的に発生した事象を集中的にセンシングできることを意味する。

5. おわりに

平常時は、ネットワーク寿命に配慮し、面的に過不足ないセンシングを行いつつ、突発的な事象が発生した場合には、そのイベントを集中的にセンシングするために、近隣のセンサーノード同士が協調動作し、適切なセンサーノードがサンプリングレートを速くし、センシングデータをユーザに送信する動的機能割り当て法を提案した。シミュレーションにより、センシングパケット送出数を抑えつつ、突発事象のセンシングデータを的確に送れることを確認した。今後は、実機による評価を行い、今回提案した動的機能割り当ての実用性を検証する。

謝辞

本研究の一部は、栢森情報科学振興財団の助成による。

参考文献

[1] I.F Akyldiz, W. Su, Y. Sankarasubramaniam, E. Cayirci, "Wireless Sensor Network:A Survey," Comp. Networks J, vol.38,no. 4, pp. 393-422, March 2002
 [2] W. B. Heinzelman, A. L. Murphy, H.S. Carvalho, and M.A. Perillo, "Middleware to Support Sensor Network Applications," IEEE Network, vol. 18, no. 1, pp. 6-14, Jan-Feb 2004
 [3] P. J. Marr'on, A. Lachenmann, D. Minder, J. Hahner, R. Sauter, and K.Rothermel, "Tinycubus: A flexible and adaptive framework for sensor networks," Proceedings of EWSN'05, pp. 278-289, Istanbul, Turkey, January 2005
 [4] A. Ulbrich, T.Weis, G. Muhl, and K.Geihls, "Application Development for Actuator and Sensor Networks," Proceedings of GI Workshop on Sensor Networks, pp.38-43, ETH Zurich, Switzerland, March 2005
 [5] K. Romer, C. Frank, P. J. Marron, and C. Becker, "Generic role assignment for wireless sensor networks," Proceedings of the 11th workshop on ACM SIGOPS European workshop, pp. 7-12, 2004
 [6] C. Frank, and K.Romer, "Algorithms for Generic Role Assinment in Wireless Sensor Networks," Proceedings of ACM Conference on Embedded Network Sensor Systems (SenSys'05), pp. 230-242, San Diego, CA, USA, November 02-04, 2005