

地すべり検知を志向したセンサネットワークのための Dynamic Routing Protocol の提案

平山陽彦[†] 岩井将行[‡] 瀬崎薫^{*}

[†] 東京大学大学院 情報理工学系研究科 [‡] 東京大学 生産技術研究所

^{*} 東京大学 空間情報科学研究センター

1 背景と目的

無線デバイスの小型化や高性能化を背景に高度の機能を備えた無線センサネットワークを構成できるようになり、その貢献先として災害対策が挙げられている。特に、地すべりや降雨による斜面崩落の人的・物的被害は甚大だが、汎用的なプロトコルではその状況の変化に柔軟に対応できない。本稿では、地すべり検知に特化されたセンサネットワークを想定し、より効果的な運用を行うためのプロトコルの提案を行った。

2 提案手法

2.1 概要

センシングデータに異常が見られず、状況が安定している場合には、クラスタベースのルーティングを行い、省電力に努める。地すべりが検知された場合には、下層への一刻も早い警告が求められるため、フラッディングベースのルーティングを行う。状況が安定した後には再度クラスタリングを行い、二次災害への備えに移行する。

2.2 前提条件

設置された各ノードは自身の位置情報をあらかじめ取得しているものとする。これは設置時に外部からデータを入力しておくほか、GPS 機能を組み込むことによって果たすことができると考えられる。また、各ノードの隣接情報は RSSI によって電波的な距離を計測することによって為し、各ノードは自身の三軸加速度をセンシングする。

2.3 地すべりのフェーズ分けとその動作

状況に応じた対応を取るため、地すべりを 4 つフェーズに分割し、それぞれを安定期・部分的検知期・崩落開始期・崩落安定期と呼称する。

```

1: //// SN(i) で微動検知
2: if SN(i).status = detected then
3:   SN(i).sensingFreq ← MiddleFreq
4:   SN(i).broadcast("DETECTED")
5:   if dist(i, j) < const. then
6:     SN(j).sensingFreq ← MiddleFreq
7:   end if
8: end if
9: //// SN(i) で微動消滅
10: if SN(i).status = normal then
11:   ∀j dist(i, j) < const.
12:   if SN(j).status = normal then
13:     SN(i).sensingFreq ← LowFreq
14:   end if
15: end if

```

図 1: 部分的検知期のアルゴリズム

2.3.1 安定期の動作

まず立ち上がり、ローカライゼーションと、それによって得た隣接情報と RSSI を元に、クラスタリングを行う。センサネットワークの領域において BVR[1] のようなルーティング手法や HEED[3] に挙げられるようなクラスタリング手法の研究が活発に行われており、この段階ではそれら既存手法に倣う。

2.3.2 部分的検知期の動作

本段階において、微動を検知したノードは崩落に備え密なセンシングと送信を行う。周囲のノードでも崩落が始まるおそれがあるため、検知したノードはクラスタ構造とは関係なしに周囲へ警告を発し、周囲のセンシングレート、データ送信レートを上昇させる。データ集積は規定されたルーティング手法に従い安定期と変わらない形で行われ、微動が収まれば安定期の動作へと戻る。あるセンサノード $SN(i)$ に対し、 $SN(i).status$ を安定状態の normal、微動検知状態の detected、崩落中の fallen の 3 つの値を持つ崩落状態とし、疑似コードを図 1 に示す。なお、以下のアルゴリズムにおいて一般のセンシングデータのアップロードは省略してある。

A Proposal of Dynamic Routing Protocol for Wireless Sensor Networks Intentioning Slope Failure Detection
Akihiko Hirayama[†], Masayuki Iwai[‡] and Kaoru Sezaki^{*}

[†] Graduate school of Information Science and Technology, the University of Tokyo

[‡] Institute of Industrial Science, the University of Tokyo

^{*} Center for Spatial Information Science, the University of Tokyo

```

1: //// SN(i) で崩落検知
2: if SN(i).status = fallen then
3:   SN(i).sensingFreq ← HighFreq
4:   SN(i).releaseHead() // ヘッドであれば委譲
5:   SN(i).role gets free // クラスタ離脱
6:   SN(i).broadcast("FALLEN")
7:   if dist(i, j) < const. then
8:     if SN(j).status = normal then
9:       SN(j).sensingFreq ← MiddleFreq
10:    end if
11:  end if
12:  if SN(i).latitude > SN(j).latitude then
13:    SN(i).broadcast("SLOPEFAILURE")
14:  end if
15: end if

```

図 2: 崩落開始期のアルゴリズム

2.3.3 崩落開始期の動作

実際に崩落が始まった場合、下層へのリアルタイム通知が最優先されるべきである。このときクラスタヘッドを経由した効率的なルーティングではなく、個々がフラッディングを行う。fallen の情報を受け取ったノードは、送信元のノードより自身が下層に存在した場合、同様に下層へのフラッディングを行う。崩落中のノードは自身がクラスタヘッドであればその機能を周囲のノードに託し、崩落に係わらないエリアでは通常通りのルーティング手法によってデータ転送が行われている。疑似コードを図 2 に示す。

2.3.4 崩落安定期

自身の状態が静止したノードは余計なデータフローを抑えるため、データ送信レートを落とす。このとき崩落が落ち着いたノードは、周囲にクラスタヘッドが存在すればそのクラスタに帰属するが、そうではない場合には自身がクラスタヘッドとして動作し、モニタリングを開始する。こうして暫定的な処置をした後、すべてのノードでの静止が確認できた暁には、再度 0 からのローカライゼーションを経たのち、クラスタリングを開始する。

このときのクラスタリングには従来の手法を用いることがもちろん可能であるが、崩落の再発のおそれから、より崩落エリアを重視したクラスタ作成手法が望まれる。今回は、動的な崩落エリアの検出、さらにはそれを考慮したクラスタ作成手法を今後の課題とする。疑似コードを図 3 に示す。

3 課題とむすび

本稿では対応が難しいセンサネットワークでの地すべり検知をより効果的に行うため、プロトコルの提案を行った。しかし依然として考慮できていない部分は

```

1: //// SN(i) が静止
2: if SN(i).status = normal then
3:    $\forall_j dist(i, j) < const.$ 
4:   if SN(j).status = normal then
5:     SN(i).sensingFreq ← LowFreq
6:     if SN(i).joinCluster() = false then
7:       SN(i).role = head // 自身がヘッドに
8:     end if
9:   else
10:    SN(i).sensingFreq ← MiddleFreq
11:  end if
12: end if
13: if SN(ALL).status = normal then
14:   SN(ALL).reClustering()
15: end if

```

図 3: 崩落安定期のアルゴリズム

多く、センサネットワーク全体が抱えている電力消費削減および補給問題の他にも、実際に導入される場合には、現場の地層や凹凸面などを考慮し最適配置を考えることも可能であるはずである。また、地すべりの要因の多くを占める雨量に着目すれば、そのセンシングによって、加速度のセンシングレートを操作することも現実的なアプリケーションである。

さらにはクラスタヘッドの崩落によるヘッド機能の委譲についても、適応型トポロジに分類される GAF[2] の思想をもとにより効果的なチューニングが可能であると思われる。

最後に、今後の課題と位置付けた二度目の崩落へ向けたクラスタリングを行う際には、崩落範囲の動的検出が求められる。この課題については崩落履歴を保持し周囲と比較することで、崩落範囲のエッジを検出する手法を考えており、取り組み中である。

参考文献

- [1] R. Fonseca, S. Ratnasamy, J. Zhao, C.T. Ee, D. Culler, S. Shenker, and I. Stoica. Beacon vector routing: Scalable point-to-point routing in wireless sensor networks. In *Proceedings of the 2nd Symposium on Networked Systems Design and Implementation*, 2005.
- [2] Y. Xu, J. Heidemann, and D. Estrin. Geography-informed energy conservation for ad hoc routing. In *Proceedings of the 7th annual international conference on Mobile computing and networking*, p. 84. ACM, 2001.
- [3] O. Younis and S. Fahmy. Distributed clustering in ad hoc sensor networks: A hybrid, energy-efficient approach. In *IEEE INFOCOM*, Vol. 1, pp. 629–640. Citeseer, 2004.