

L-006

斜面防災ネットワークにおけるデータ品質に基づくセンシング間隔最適化 Optimizing Sensing Intervals of Sensor Network based on Mudslide Data Quality

藤井 宣久[†]
Norihisa Fujii

埜口 良太[‡]
Ryota Noguchi

原田史子[†]
Fumiko Harada

島川博光[†]
Hiromitsu Shimakawa

1. はじめに

近年、降雨を原因とする斜面崩壊が日本各地で発生し、深刻な被害をもたらしている [1]。土砂災害対策では斜面崩壊を事前に予測し、警告を出すことが重要である。斜面に無線センサネットワークを構築し、斜面内のデータを分析することで、斜面崩壊の危険性を予測するシステムが研究されている [2]。データを分析し、崩壊を予測するうえでは、データを収集する間隔は短いほうがよい。しかし、一方、短い間隔でのデータ収集はセンサノードの電池に蓄えられた電力を消費してしまう。

本論文では、センサノードが取得したデータからデータ品質を同定し、消費電力とデータ品質から最適センシング間隔を導出する手法を提案する。異なるセンシング間隔でのデータを分析することでデータ品質を同定し、モデル化する。状況に応じて、モデル化したデータを参照することで、最適センシング間隔を導出する。これにより、センシング回数を減らし、保守コストを削減できる。

2. 斜面防災システム

2.1 斜面防災システムの現状と課題

斜面上の各地点に、その地点の各深度の間隙水圧を計測するテンシオメータ群を接続した無線センサノードを設置する。各センサノードは各テンシオメータの定期的なセンシングにより、土壌中の間隙水圧を取得する。間隙水圧のデータはセンサネットワークを介してサーバに送信される。サーバで送られた間隙水圧のデータを分析することにより、斜面崩壊の兆候を検知する。

各センサノードは電池を電力源としており、定期的に電池交換の保守コストがかかる。この保守コストはネットワークの規模に依存し、規模が大きくなればなるほど保守コストが増加する。そのため、電池の消費電力を抑え、保守コストを削減する必要がある。

2.2 電池寿命の長化

センサネットワーク全体の省電力化を目的とした研究は存在する。既存研究 [3] では、センサノードにデータを送るさいの通信経路を変更して、電池残量の少ないセンサノードを回避し、電力消費をネットワーク全体に分散させることで、各センサノードの電池寿命を長化する。この手法では、通信経路を切り替えられた先のセンサノードの消費電力は増加してしまう。他のノードの消費電力を増やすことなく、各ノードの消費電力を削減出来れば、電池寿命をより長化できる。

そこで、本研究ではネットワーク全体ではなく、各センサノードの単位時間あたりのセンシング回数に着目する。各センシングにおいて、テンシオメータへの送電およびデータの送受信による電力消費が発生する。センサ

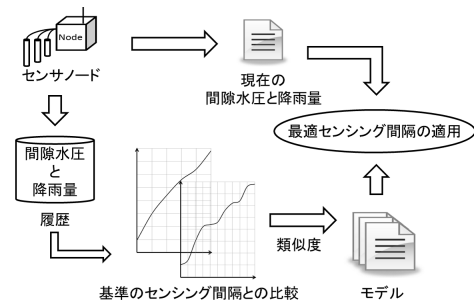


図 1: 手法の概要

はセンシングするさいに消費電力が増えるため、単位時間あたりのセンシング回数を削減することで消費電力を減らすことができる。

2.3 データ品質の考慮

単位時間あたりのセンシング回数低減は、センシング間隔を延ばすことと等価である。センシング間隔を延ばすことにより消費電力は減り、電池寿命を延ばすことができる。しかし、センシング間隔を延ばすことによって、取得できるデータ数が減少するため、斜面崩壊の兆候を検知する精度が落ちるおそれがある。

本論文では、この斜面崩壊の兆候を検知する精度をデータ品質と定義する。消費電力とデータ品質にはトレードオフの関係があるため、消費電力とデータ品質の両方を考慮した最適センシング間隔を見つける必要がある。

3. センシング間隔最適化手法

3.1 手法の概要

本論文では、図 1 のような、消費電力とデータ品質を考慮した最適なセンシング間隔の導出および適用手法を提案する。本手法では、まず状況ごとの最適なセンシング間隔をオフラインでモデル化する。状況とは間隙水圧と降雨量のことを指す。降雨量、間隙水圧とその状況下での最適なセンシング間隔を組としたモデルを作成する。最適なセンシング間隔は、センシング間隔を延ばした場合のデータの欠損度合いを表すデータ品質と、消費電力との関係から導出する。オフラインで取得している降雨量と間隙水圧に対応するモデルを参照することで、現在の最適なセンシング間隔を得、その結果をセンサネットワークに適用する。

3.2 類似度によるデータ品質の算出

データ品質の低下の度合いを示すために、ある目的のセンシング間隔に対するデータ品質を定量化する。本手法では、データ品質を定量化するために類似度を用いる。また、データ品質の低下を示すための基準となる最小限のセンシング間隔を用意する。基準となるセンシング間

[†]立命館大学 情報理工学部

[‡]立命館大学大学院 理工学研究科

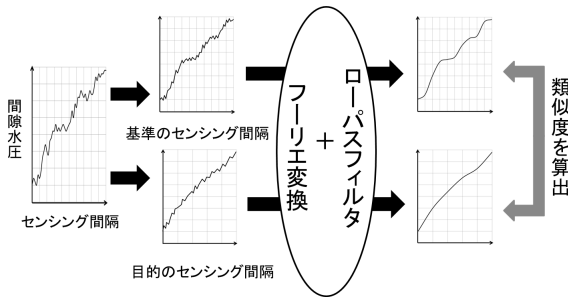


図 2: 類似度の算出

隔と目的のセンシング間隔を伸ばした場合の間隙水圧のデータの類似度を求めることにより、センシング間隔の延長によるデータの欠損度合いを示すことができる。類似度を用いたデータ品質の定量化の流れを図2に示す。

まず、過去の履歴から間隙水圧のデータを抜き出す。抜き出したデータに対して、基準となるセンシング間隔と等しい時間隔で間隙水圧のデータを抜き出し、さらに目的のセンシングと等しい時間隔で間隙水圧のデータを抜き出す。しかし、これらの抜き出したデータにはゆらぎが存在し、これは類似度を算出するさいの妨げとなる。本手法ではフーリエ変換とローパスフィルタを用いることで、ゆらぎを取り除く。これらのゆらぎを取り除いたふたつのデータのコサイン類似度を調べる。データ品質を保つためには、類似度が一定値以上のデータが必要であり、データを取るために最低限の類似度を定める。この最低限の類似度を θ とする。 θ は降雨量と間隙水圧の値によって変更し、雨天時には上げ、晴天時には下げる。基準のセンシング間隔に対する異なるセンシング間隔の類似度を $S \in \{0, 1\}$ とすると、データ品質は以下の式で求められる。

$$Q = \max\left(\frac{s - \theta}{1 - \theta}, 0\right)$$

3.3 センシング間隔最適化

データ品質と消費電力の間にはトレードオフの関係があるため、両方を考慮した最適センシング間隔を求める必要がある。図3はデータ品質と電池寿命とセンシング間隔の関係を示したものである。データ品質のグラフは3.2で求めたデータ品質の下限を0とし上限を1として、プロットしたものである。電池寿命のグラフはセンシング間隔ごとの消費電力を調べることで求められる。また、電池寿命の下限は3.2で上述した基準のセンシング間隔に対応する正規化した電池寿命とし、上限は1日1回としたときのセンシング間隔に対応する正規化した電池寿命とする。データ品質のグラフはセンシング間隔が延びていくとともにデータ品質が下がっており、電池寿命のグラフはセンシング間隔が延びていくとともに電池寿命が延びている。本手法では、2つのグラフの交点を最適なセンシング間隔とする。このグラフの交点はデータ品質と電池寿命の両方がバランスよく保たれていることを示しているため、そのときのセンシング間隔が最適センシング間隔となる。また、データ品質のグラフは降雨量

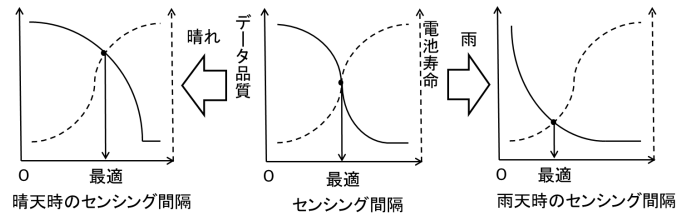


図 3: 最適センシング間隔の導出

と間隙水圧によって変化するため、グラフの交点は天気によって図3のように移動する。このため、晴天時には長く、雨天時には短く最適センシング間隔を変化させることができる。求めた最適センシング間隔と、その過去データの計測時の降雨量と間隙水圧を、組としたモデルを作成する。リアルタイムで取得している降雨量と間隙水圧を条件にこのモデルを参照することで、現在の状況に合わせた最適センシング間隔を求めることができる。

4. 手法の有用性

既存研究 [3] では、通信経路の切り替えにより、センサネットワーク全体の稼働時間を延ばしている。しかし、既存手法では天候が考慮されていないために、センシングを多くおこなない、電力を過度に消費してしまっている場合やセンシング間隔を長くしてデータ品質を下げてしまっている場合がある。降雨を原因とする斜面崩壊では、晴れの日には斜面崩壊の危険性が低い。したがって、晴れの日にはできるだけセンシングをおこなわないことが望ましい。また、降雨量が増加している場合には斜面崩壊の危険性を正確に判断するために取得データ数を増やすことが望ましい。本手法では、過去の降雨量と間隙水圧を考慮したモデルの作成を行っているため、晴れの日にはほとんどセンシングを行わないようになる。また、雨の日には計測している降雨量により、センシング間隔を短くする。そのため、取得データ数が増え、データ品質を保つことができる。

5. おわりに

本論文では、無線センサネットワークにより構築された斜面防災システムのセンシング間隔最適化による保守コスト削減手法を提案した。今後は、本手法の有用性を検証するために、実装と評価を行う予定である。

参考文献

- [1] 国土交通省, “平成21年8月の土砂災害 国土交通省 砂防部”, URL: <http://www.mlit.go.jp/river/sabo/090810doshasaigai.html>, 2010年6月現在。
- [2] 深川良一, “センサネットワークを利用した次世代型 斜面防災システムの構築”, 新道路技術会議, 2009。
- [3] 川合裕司, 木村朋樹, 白須基樹, 筒井康浩, 笹瀬巖, “センサネットワークにおいてセンサノードの電池残量を考慮して2つのシークの一方を選択する改良型 FLAMA プロトコルの提案”, 慶応義塾大学理工学部情報工学科, 社団法人電子情報通信学会, 2006。