

構造物ヘルスマニタリングシステムのためのデータバックアップ機構

Data Backup Mechanism for Structural Health Monitoring System

80817318 松柴由直(Yoshinao Matsushiba) Supervisor 西宏章(Hiroaki Nishi)

1. 緒 論

センサネットワークを利用したシステムの一つに、架橋などのインフラや建築物などの構造物にセンサネットワークを構築した構造物ヘルスマニタリング(SHM: Structural Health Monitoring)システムがある。現在、様々な SHM システムに関する研究が行われている。しかし、従来の研究では、システムの故障から生じるデータ損失を考慮していない。本研究では、損傷データや倒壊データの損失を防ぐために、センサノード同士で互いのデータを共有し合いバックアップを行う機構を提案する。

2. 構造物ヘルスマニタリングシステム

構造物の破壊は、材料への過大荷重などが原因となって引き起こされる。破壊を外部から判断できる場合、修理により容易にリスクを低減することが可能である。しかし、構造物内に起こった亀裂などは、気がつかないうちに拡大し、いつしか大規模な破壊を迎える。そこで、構造物にセンサを取り付け、その構造物が「いつ損傷したのか」、「どこに損傷が発生したか」、「どのようなタイプの損傷なのか」などの情報を定量的に取得する技術である SHM システムが必要である。

本研究では、センサと CPU を実装したセンサノードを用いた SHM システムを研究対象としている。また、取得するデータは、加速度である。以下に SHM システムの手順を示す。

- (1) 対象物に設置したセンサノードを用いて加速度データを取得する。
- (2) センサノードで取得したデータをサーバへ送信する。
- (3) 受信したデータから構造物の特徴を導出する。
- (4) 導出結果より構造物の診断を行う。

3. 構造物ヘルスマニタリングシステムの課題

現在、SHM システムに関して様々な研究開発が行われている。しかしながら、SHM システムが普及しているとはいえない。SHM システムを普及させるためには、様々な課題がある。本研究では、課題の一つである構造物の損傷データや倒壊時のデータの取得に関して研究を行う。

SHM システムの分野では、損傷や倒壊の事例が少ないため、構造物の損傷パターンは明確ではない。損傷データの取得の事例として、E-Defense のプロジェクトで実際に建物を倒壊させて、その振動データを取得する研究がある。しかしながら、実寸大の構造物を倒壊させ損傷データを取得するためには、長い期間と莫大な資金が必要となる。今後、SHM システムの普及のためには、損傷や倒壊時のデータを取得し、損傷パターンを明確にする必要がある。

上記で述べたように、損傷や倒壊時のデータを取得していく必要があるが、既存の SHM システムや現在行われている研究は、突発的な地震から生じる可能性があるセンサノードやサーバの故障、また、リンクの切断を考慮していない。その結果、これらの故障が原因となり損傷や倒壊時のデータが損失する恐れがある。

本研究では、SHM システムにおいて、突発的な地震による故障から生じる取得した損傷データや倒壊データの損失を防ぐために、センサノード同士でデータを共有するデータバックアップ機構を提案する。

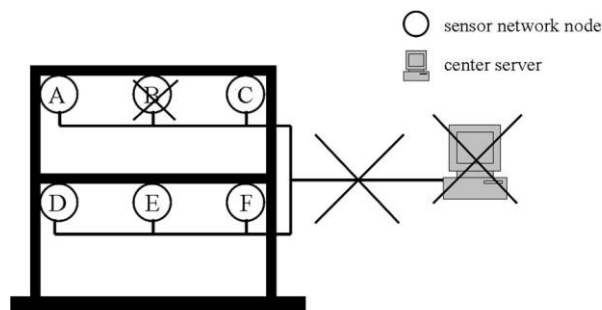


図1 突発的な地震による故障

4. 提案システム

提案システムのセンサノードは二種類に分類される。バックアップを行うために取得したデータを送信する送信ノードと、そのデータを受信するバックアップノードである。提案システムのイメージを図2に示す。

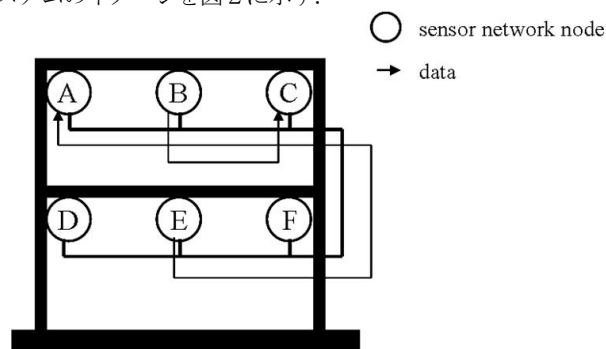


図2 提案システムのイメージ

バックアップを行うために、提案システムには次の三つの機能が存在する。

- (1) ノード発見機能: 送信ノードは、まず SHM システムのセンサネットワーク内から、稼働しているバックアップノードの候補となるセンサノード(以下、候補ノード)を見つける。この機能のために PING(Packet InterNet Groper)を用いる。
- (2) バックアップノード選択機能: 候補ノード発見後、送信ノードは、三つの情報を用いバックアップノードを選択する。その情報は、PING によって計測されるパケットの往復時間、候補ノードのバックアップデータを保存するためのメモリ使用量、そして加速度の絶対値和である。
- (3) バックアップデータ送信機能: 送信ノードは、バックアップノードを選択後、TCP/IP(Transmission Control Protocol/Internet Protocol)ソケット通信を用いてバックアップデータを送信する。

文献[1]と[2]で、ノード発見機能、及び「往復時間」と「メモリ使用量」を用いたバックアップノード選択機能の動作チェックを行っている。本研究では、「加速度の絶対値和」を基にしたバックアップノード選択機能に着目し、5章ではこの選択機能の評価を行う。

提案システムはシステムの信頼性を上げるために、安全なエリアに設置されているバックアップノードにデータを送信する必要がある。この要求を満たすために提案システムでは、損傷エリアを表す指標の一つである加速度の絶対値和の情報

を用いる。送信ノードは、送信ノードが計算した絶対値とより、候補ノードが計算した絶対値和が大きいエリアは損傷が激しいと判断し、そのエリアに設置されている候補ノードはバックアップノードの候補から除外する。

5. 実験

本実験では、「加速度の絶対値和」を基にしたバックアップノード選択機能の動作確認を行う。また、提案システムの性能評価を行う。

5.1 予備実験：加速度データの取得

上記で述べた動作確認実験を行う前に、あらかじめ図3に示してある高さ155cmの鉄筋模型と、1軸サーボ型加速度計を用いて加速度データを計測した。加速度データはサーボ型加速度計をそれぞれのフロアに設置し計測した。そして最上階をハンマーで加振した。この時のサンプリング周波数は100[Hz]であり、1分間のデータを計測した。また、損傷などの危険があるエリアを作るために、3階と4階の間の柱を他のフロアよりも細い柱に代えた。動作確認実験にはこれらのデータを用い加速度の絶対値和を計算した。



図3 鉄筋模型

表1 加速度の絶対値和

フロア	加速度の絶対値和 [cm/s ²]
1F	55.69
2F	388.44
3F	353.10
4F	1005.11
5F	729.50
6F	1047.51

計測したデータを基に計算した各フロアの1分間の加速度の絶対値和を表1に示す。この表より、4階の値が大きくなっていることがわかる。これは、3階と4階の間の柱を細い柱に代えたためである。本実験では、この測定値より4階を危険なエリアとする。また、6階の値が大きいのは、加振をする際、6階にハンマーで衝撃を加えたためである。そのため、構造的な問題ではないため、6階は危険なエリアとはみなさない。

5.2 実験端末

テストベッドとして株式会社アットマークテクノのArmadillo-220を用い実験を行った。Armadillo-220は、ARMコアプロセッサを搭載した小型ネットワークコンピュータであり、OSにはLinuxを搭載している。6台のArmadilloに5.1章で述べたデータを持たせて実験を行った。バックアップデータはバックアップノードに取り付けたUSBフラッシュメモリに保存される。

5.3 「加速度の絶対値和」を基にしたバックアップノード選択機能の動作確認実験

この実験では、送信ノードは5階に設置してあるとみなす。そして、候補ノードのバックアップデータが保存されるUSBフラッシュメモリのメモリ使用量をバックアップ実行前とバックアップ実行後に計測することにより、提案した選択機能が動作し、危険なエリアをさけてバックアップノードを選択しているか調査した。表2にこの実験結果を示す。表2より、

危険エリアの4階の候補ノードと、インパクトを加えた6階の候補ノード以外のUSBフラッシュメモリ使用量が増加しているのがわかる。つまり、これは5階の送信ノードが提案手法を基に危険なエリアを避けて、バックアップを行ったことを意味する。

表2 動作確認実験の実験結果

ノードナンバー	使用したデータのフロア	メモリ使用量 [Kbyte]	
		実行前	実行後
No.1:候補ノード	1F	228	284
No.2:候補ノード	2F	96	152
No.3:候補ノード	3F	96	152
No.4:候補ノード	4F (危険エリア)	228	228
No.5:送信ノード	5F		
No.6:候補ノード	6F	228	228

5.4 提案したバックアップ機構の性能評価

この実験では、提案システムが4章で述べた全ての機能を実行してバックアップを行った時に、倒壊などにより故障する前にバックアップが行えるかの性能評価を行った。実験では、候補ノードの数を換え、その時の送信ノードがバックアップを行うそれぞれの実行時間計測した。なお、候補ノードはノード発見機能で稼働していると判断し、バックアップノード選択機能で除外されずに選択されている。送信ノードは5.1章で述べた1分間のデータを送信する。

構造物が倒壊する時間は一定ではないが、損傷が発生し始めてから約3秒で損傷が大きくなった振動実験がある。本実験では、3秒という値を構造物が倒壊する、もしくは損傷が激しくなる時間とする。表3に実験結果を示す。この結果より、候補ノードが4個までであれば、倒壊の発生や損傷が大きくなる3秒前に、バックアップを行うことが十分可能であることが証明された。

表3 送信ノードの実行時間

	候補ノードの数				
	1	2	3	4	5
実行時間[s]	0.97	1.64	2.31	2.96	3.63

6. 結論

本研究では、SHMシステムのためのデータバックアップ機構を提案した。そして実験では、提案システムの一つの機能である「加速度の絶対値和」を基にしたバックアップノード選択機能の動作確認と、提案システムの性能評価をおこなった。その結果、上記の選択機能の動作は証明され、提案システムは、候補ノード及びバックアップノードの個数と送信するデータ量に依存するが倒壊や損傷が拡大する前にバックアップを行うことができることが証明された。

参考文献

- [1] Y. Matsushiba, H.Nishi, "Structural Health Monitoring System considering fault-tolerance", 6th IEEE International Conference on Industrial Informatics, (INDIN 2008), pp.330 – 335, July 13 – 16, 2008.
- [2] Y. Matsushiba, H.Nishi, "Lightweight Data Duplication for Fault Tolerant Structural Health Monitoring System", 8th IFAC International Conference on Fieldbuses & Embedded Systems (FeT'2009), pp.255 – 258, May 20 – 22, 2009.