

# 無線センサネットワーク伝送のための地震加速度データ解析手法の検討

内糸春樹<sup>†</sup>, 藤原孝洋<sup>‡</sup>

<sup>†</sup>函館工業高等専門学校情報工学科

<sup>‡</sup>函館工業高等専門学校生産システム工学科

## 1. はじめに

温度や湿度, 光量等の観測に利用される無線センサネットワーク (WSN) を地震加速度の観測に応用するモニタリングシステムについて, 様々な検討が行われてきた[1,2]. その地震加速度をセンシングするサンプリングレートとして, 200spsが要求される[3]. しかし, WSNの各ノードの処理能力と通信性能の限界のため, 多数のノードからマルチホップで加速度データを同時に収集することは容易でないことが報告されている[2]. その報告では, 100spsでサンプリングしたデータを2台のノードがSINKノードに1ホップで伝送することが限界であった. そして, その実行伝送レートは28,800 bpsと低速であった.

そこで本研究では, 地震加速度の圧縮伝送について検討し, 送信されるデータトラフィックを軽減して, 多数のセンサノードから加速度情報を収集することを目的とする. 図1は, 想定する地震加速度モニタリングシステムの基本構成である. 各センサノード(S)で検出された加速度データは, 隣接ノードを経由してシンクノード(SINK)に転送される. SINKに収集されたデータは, コアネットワークを経て, データ管理局に収集される. 本稿では, 離散フーリエ変換とフィルタリング処理を活用した伝送方法を提案し, その効果について報告する.

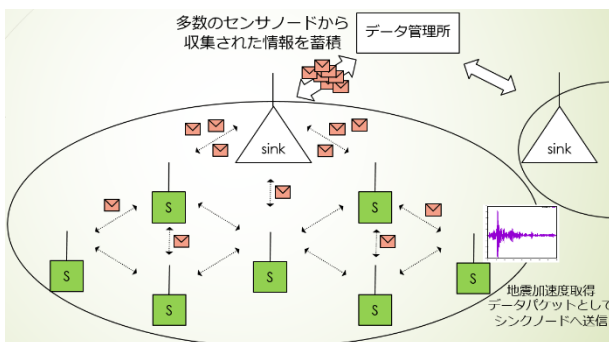


図1 地震加速度モニタリングシステム基本構成

A Study on Data Analysis to Transmit Seismic Acceleration Data in Wireless Sensor Networks

<sup>†</sup>Haruki Uchiito, Dept. of Computer Engineering, National Institute of Technology, Hakodate College

<sup>‡</sup>Takahiro Fujiwara, Dept. of Production Systems Engineering, National Institute of Technology, Hakodate College

## 2. 地震加速度の特徴

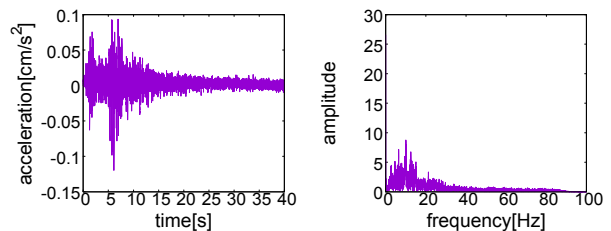
地震加速度の帯域は50Hz程度であるので, サンプリングする場合, 通常100~200spsのサンプリングレートが求められる[3]. また, カリフォルニア大学アーバイン校(UC-I)で記録された2008年のチノ・ヒルズ地震の加速度では, 加速度のピーク加速度が約40cm/s<sup>2</sup>, 帯域が約30Hzであること, 構造物の固有振動によって, 上層部では約3Hzの振動となることを知見として得た[4]. この加速度の様子を図2に示す. この地震加速度の特性に着目し, バンドパスフィルタによって有効なデータを抽出して伝送し, 送信先で復元する方式について検討する.

## 3. データ削減方法

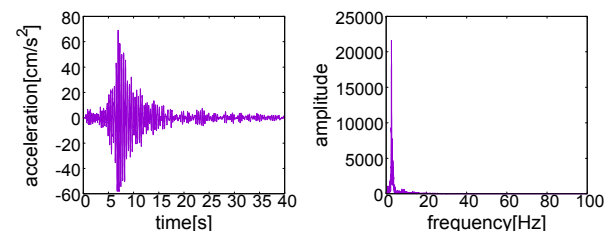
WSNで伝送する通信量を削減するため, 地震加速度信号を周波数領域に変換し, バンドパスフィルタ(BPF)によって有効な信号を含む帯域成分のみを抽出して伝送する. そのため, サンプリング数Nの加速度信号f[k]を式(1)の離散フーリエ変換によってデータ列F[x]を求める.

$$F[x] = \sum_{k=0}^{N-1} f[k] e^{-i \frac{2\pi kx}{N}} \quad (1)$$

このデータ列に対して, BPF処理の帯域幅に相当するデータ列をR, その中心値をCとして, BPF処理の出力B[x]を式(2)で表す.



(a) 建物1階加速度計の時間データと周波数データ



(b) 建物4階加速度計の時間データと周波数データ

図2 地震加速度の時間領域と周波数領域データ。

$$B[x] = \begin{cases} 0 & (x = 0 \sim C - \frac{R}{2}) \\ F[x] & (x = C - \frac{R}{2} + 1 \sim C + \frac{R}{2}) \\ 0 & (x = C + \frac{R}{2} + 1 \sim N - 1) \end{cases} \quad (2)$$

$B[x] = 0$  以外の成分だけを伝送し、受信局で式(3)に示す離散フーリエ逆変換によって時間領域に信号を復元する。

$$f'(k) = \frac{1}{N} \sum_{x=0}^{N-1} B[x] e^{i\frac{2\pi kx}{N}} \quad (3)$$

#### 4. 評価実験

##### (1) 実験方法

提案するデータ削減方法について、表1の手順でシミュレーション実験し、復元結果と元の信号との誤差を調べる。なお、データ削減条件として、 $R=4096 \sim 128$  (圧縮率:  $1 \sim 1/32$ ) に設定する。

表1. データ削減処理手順

手順	内容
1	任意の加速度データ系列を読み込む。
2	データ系列に対し、Fast Fourier Transform(FFT) アルゴリズムにより離散フーリエ変換処理を行う。
3	初期値として $R=4096$ に設定する。
4	手順2の結果に対して BPF 処理を行う。
5	手順4の結果に対して、Inverse FFT アルゴリズムで離散フーリエ逆変換し、加速度系列を復元する。

##### (2) 復元誤差の評価

元の信号系列と復元信号系列の誤差を評価するため、信号のピーク値でデータを正規化し、元のデータ列と復元データ列をそれぞれ  $f_n[k]$ ,  $f'_n[k]$  とし、その平均正規化復元誤差  $\bar{\epsilon}_n$  を式(4)に表す。

$$\bar{\epsilon}_n = \frac{1}{N} \sum |f_n[k] - f'_n[k]| \quad (4)$$

##### (3) 実験結果

建物1階で計測された図2(a)に示す加速度データを BPF 処理で  $1/8$  ( $R=512$ ) に圧縮し、離散フーリエ逆変換で復元して、時間領域と周波数領域の結果を図3に示す。その他の  $R$  についても同様に処理し、それらの復元誤差を求めて図4に示す。この結果から、建物上層部の加速度のように狭帯

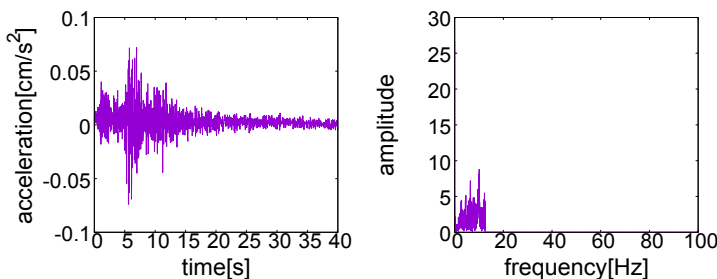


図3 BPF 処理後のデータに対する離散フーリエ逆変換

域の場合、BPF による圧縮で十分に圧縮可能で、その復元誤差が十分に小さいことを示した。

#### 5. まとめ

地震加速度を圧縮して伝送するため、構造物の加速度の帯域に着目し、離散フーリエ変換とバンドパスフィルタによってデータを削減し、逆変換によって信号を復元する方式を提案した。地震加速度データを用いたシミュレーション実験から、平均正規化誤差が十分小さくなる可能性を示した。センサネットワークに本方式を適用することによって、伝送量を抑えた地震加速度の収集が期待できる。

今後の課題として、図4の結果のように、加速度の帯域が広い場合、圧縮効率を上げると誤差が増加するので、これに対する改善が必要である。

#### 謝辞

地震加速度データは、UCアーバインの Prof. Feng (現コロンビア大学教授) から提供されたデータを使用した。また、本研究の成果の一部は、JSPS 科研費基盤研究(B)26292103の研究助成を受けて実施した。

#### 参考文献

- [1] 堀江信吾, 猿渡俊介, 倉田成人, 森川博之, 青山友紀, "無線センサネットワークを用いた地震モニタリングにおける同期性能の評価," 電子情報通信学会技術研究報告, 第2回センサネットワーク研究会, SN2005-10, pp.41-47, June 2005.
- [2] 神能孝誠, 中村優吾, 松原拓, 藤原孝洋, 上原秀幸, "無線センサネットワークを適用した加速度データ収集システムに関する一検討," 電子情報通信学会信学技報, Vol. 113, No. 132, ASN2013-74, pp. 147-152, July 2013.
- [3] U.S. Geological Survey and ANSS National Implementation Committee, "Instrumentation Guidelines for the Advanced National Seismic System," [http://earthquake.usgs.gov/monitoring/anss/docs/ANSS\\_WGD\\_InstrGuideline\\_June2007.pdf](http://earthquake.usgs.gov/monitoring/anss/docs/ANSS_WGD_InstrGuideline_June2007.pdf), June 2007.
- [4] Takahiro Fujiwara, Maria Q. Feng, "Earthquake Acceleration Analysis in a Structure for Wireless Sensor Networks," 電子情報通信学会信学技報, AN2011-69, Vol.111, No.385, pp.83-88, Jan. 2012.

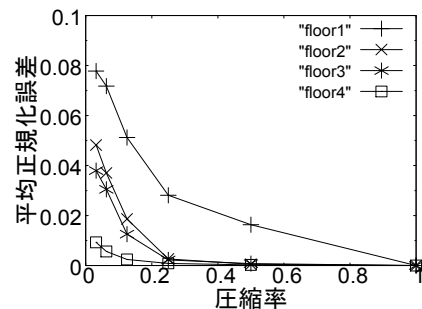


図4 圧縮率に対する平均正規化誤差  
Floor 1 - 4 はセンサの設置階を示す。