

多点同時加速度計測に用いる無線センサネットワークの 時刻同期手法の開発

大成建設(株)	正会員	○志波 由紀夫
大成建設(株)	正会員	澤田 茉伊
東京大学大学院	学生員	竹淵 悟
慶應義塾大学	正会員	小国 健二

1. はじめに

超小型のセンサと無線通信モジュールを組み合わせたセンサノードを多点に展開配置し、それらで計測・検知した情報を無線で収集するシステム(無線センサネットワーク)が、一部の分野で使われ始めている。ケーブルを引き回す必要がないことから、今後土木分野でも広く活用されていくものと予想される。ただし、構造物や地盤の動的挙動を把握するために多点同時の加速度計測を行うことを考えた場合には、共通の時計で結ばれていないセンサノード間の時刻同期(時間軸合わせ)が課題となる¹⁾。そこで本研究では、実用的な時刻同期手法を開発し、実際に無線センサネットワークに実装して実験を行い、その動作状況と精度を検証した。

2. 無線加速度センサネットワークの概要

著者らが試作した無線加速度センサネットワークは、図-1(a)に示すように、サーバ、コマンドノードおよび複数のセンサノードにより構成される。ネットワークの形は、全てのセンサノードが1つのコマンドノードに直接ぶら下がるシングルホップ・スター型である。コマンドノードは、サーバと直結しており、サーバからの指示により、センサノードに対して各種のコマンド(動作指示)のほか、後述するタイムスタンプを無線送信する。また、センサノードに収録されたデータを無線で回収してサーバに伝送する役目をもつ。

センサノードの構成を図-1(b)に示す。センサボードには加速度センサが実装されているほか、AD変換器が組み込まれている。AD/IFボードは、一定のサンプリングレート(例えば100サンプル/秒)で、センサボード上のAD変換器から加速度値をデジタルデータとして読み取り、フラッシュメモリに収録する。無線通信ボードは、コマンドノードとの間で無線データ通信を行う部分である。AD/IFボードとは信号線で結ばれており、コマンドを伝えたり、フラッシュメモリの内容を読み取ることができる。

各センサノードは、コマンドノードから発信された「計測開始」のコマンドを受信すると、一斉に加速度計測を開始し、一定の時間、加速度値をAD変換しながらフラッシュメモリ内に収録する。そして計測終了後、コマンドノードからの「データ送信」コマンドを受信すると、収録したデータをコマンドノード宛に送信する。

3. 時刻同期の手法

センサノードは各々、マイコンで制御されるが、そこに使われているクロックには一般に個体差があり、サンプリングのタイミング、すなわち時間軸にずれが生じてくる。この問題に対応するため、著者らは、コマンドノードが全てのセンサノードに対して一斉送信(ブロードキャスト)するグローバルタイムスタンプ(GTS)と、各々のセンサノードが自己のサンプリング・ペースにしたがって自己用に発行するローカルタイムス

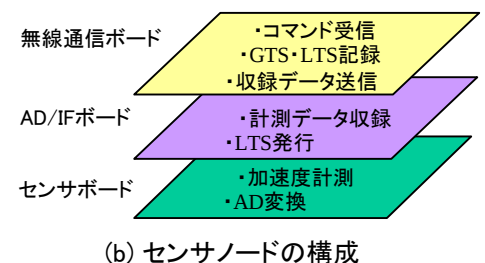
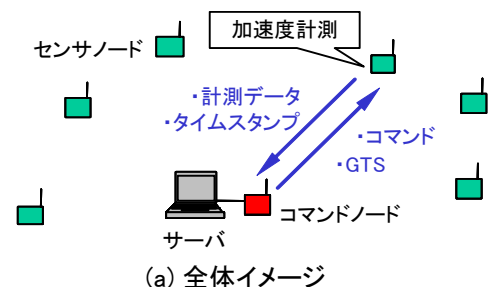


図-1 加速度計測のための
無線センサネットワーク

キーワード 無線センサネットワーク, 時刻同期, 加速度計測, データ通信, タイムスタンプ

連絡先 〒245-0051 神奈川県横浜市戸塚区名瀬町 344-1 大成建設(株) 技術センター TEL 045-814-7231

タンプ (L T S) とを組み合わせた時刻同期の方法を開発した. 具体的な仕組みは, 以下のとおりである.

- ①コマンドノードに「計測開始」コマンドをブロードキャストさせる. この瞬間を, 時間軸の開始点とする.
- ②以後, コマンドノードには正確に一定時間間隔 (例えば 10 秒毎) で G T S をブロードキャストさせ, これをネットワークに共通の時間軸とする.
- ③各センサノードでは, 無線通信ボード上のクロックにタイマ・カウントを刻ませる. そして, G T S を受信した瞬間ごとに, また, A D / I F ボードが一定個数 (例えば 100 個) のサンプリングを終えるごとに L T S として, そのときのタイマ・カウントを無線通信ボード上の同じメモリに記録させる.
- ④計測終了後, メモリに記録された G T S と L T S を読み出し, 両者を関連付けて時間軸の補正を行う.

なお, こうした制御の実現のために, センサノードの A D / I F ボードと無線通信ボードとに各々マイコンを搭載し, 加速度データの A D 変換・書き込み作業とタイムスタンプ記録作業を同時並行して行える設計とした.

4. 検証実験

上述の時刻同期手法について, 実際に前述のセンサネットワークを用いて検証実験を行った. 図-2 に示すように, R C 造地上 7 階建の建物内にセンサノードを 6 個ばらまき, それぞれをファンクションジェネレータにつないだ. ファンクションジェネレータで電気信号を発生させ, それを加速度センサの出力に見立て, A D / I F ボード上のマイコンに内蔵された 10bit A D 変換器により模擬的な加速度計測を行いながら, タイムスタンプの送受信と記録を行った. 模擬加速度波形として, 周波数 1Hz, 振幅 1.5V, 直流成分 2V の sin 波と矩形波を与え, 100 サンプル/秒の計測を 30 秒間, それぞれ 3 回実施した.

試作機の無線通信性能としては, 鉄筋コンクリートの壁や床がある条件にもかかわらず, タイムスタンプと加速度計測値のデータパケットを 99.97% 以上送受信することができた.

図-3 に, 6 個のセンサノードから回収したデータに時刻同期処理を行った結果のうち, 矩形波実験の 1 例を示す (30 秒間のデータのうち 5 秒間を示す). 6 個の波形がほぼ完全に重なっており, データ計測, 時刻同期ともに良好な精度を持つことが分かる. さらに詳細に時刻同期精度を評価するため, 矩形波の立ち上がり, 立ち下がりの部分での計測データに着目してみた. 図-4 は, 矩形波の立ち下がりの時に複数のセンサ・ノードが異なった電圧値を計測した部分を拡大したものである. ファンクションジェネレータの仕様から, 矩形波の立ち下がり時間は 10ns である. これは十分短いので 6 個のノードが同時のイベントを計測したと仮定すると, 検出時刻の誤差は 109 μ 秒となる. 同様の立ち上がり・立ち下がりを検出したイベントがほかにも複数あり, 検出時刻の誤差を調べたところ, 最大誤差は 145 μ 秒であった.

5. まとめ

無線センサネットワークによる加速度計測のための時刻同期手法を開発し, これを実装したシステムを用いて実証実験を行った. その結果, 建物内においてもタイムスタンプの無線通信が安定して行われるとともに, センサノード間の時間軸のずれが数百 μ 秒以下に抑えられ, 本手法の有効性が確認された.

参考文献

- 1) 小国健二, 佐伯昌之, 井上純哉, 菅野高弘, 堀宗朗: 社会基盤センシングのための階層型センサネットワークの位置同定手法の開発, 土木学会論文集, 64, 1, 82-100, 2008

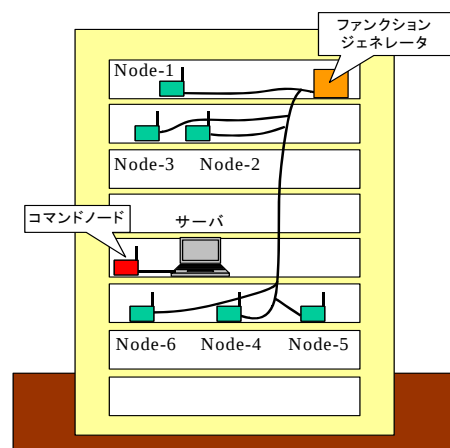


図-2 検証実験におけるノード配置

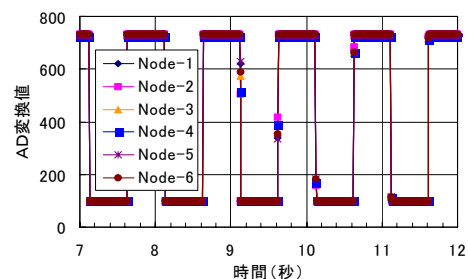


図-3 矩形波の計測データ(時刻同期処理後)

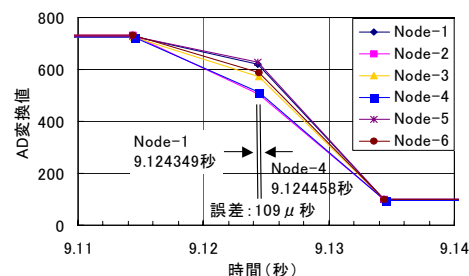


図-4 矩形波の立ち下がり検出