

スマートセンサを用いた多点同期振動計測のためのマルチホップ通信システムの開発

東京大学 学生会員 ○牛田 満士
 東京大学 正会員 長山 智則
 東京大学 フェロー 藤野 陽三

1. 背景

社会基盤構造物の老朽化による劣化が問題となっており、注目を集めている。点検方法として目視検査が主に行われているが、点検者の主観を排除できない、見えない部分の評価が困難、コストが高いなどの問題がある。有線センサを用いた計測システムは客観的な手法として研究されてきたがコストが高く、そのために計測点数も自ずと限られてしまい、それに基づく評価の制約となっていた。これに対しデータ処理能力と無線通信性能を有する安価なスマートセンサは、コストを抑えられるため、容易に多点計測を行うことが出来ると期待されている。しかし無線の通信距離に限りがあり、長大橋など大型構造物の計測においては基地局と各センサが直接通信を行うことが困難である。また通信速度も限られており多くのノードから振動計測データを回収するには、時間コストが膨大になってしまう可能性を内包している。本研究では、振動計測のためのマルチホップ通信スマートセンサネットワークシステムを開発し、通信速度を大幅に向上することを研究の目的とした。

2. 同期振動計測システム

本研究で用いるスマートセンサは、最大 416MHz の高速 CPU と 256kB の SRAM を搭載し、演算能力が高い Imote2 (図 1) である。イリノイ大学を中心として進められているイリノイ構造ヘルスマニタリングプロジェクト (ISHMP) で開発された加速度計測プログラムに、高速マルチホップ通信を実装した。開発したシステムは次に示す流れで計測・データ回収を行う。基地局からの経路作成命令によって、各ノードは基地局への経路を作成する。続いて、Flooding Time Synchronization Protocol (FTSP) により時刻同期を行い、3 軸加速度計測をした後、基地局にデータ転送を刷る。基地局は一時的にデータをフラッシュメモリに保存し、データ転送終了後にパラレルポート経由で PC に送信する。

3. マルチホップ経路探索

全ノードから基地局へのデータ転送を想定して、効率的な多対 1 経路探索法を提案する。Ad hoc On-demand Distance Vector (AODV) 法を採用し Time-To-Live (TTL) 値を 1 とする。基地局までの経路を見つけるまで、各ノードが経路作成要求パケットを繰り返し送信する。転送が限られパケット衝突の恐れが少ない。

4. データ転送における問題点と改善策

データ転送の速度と信頼性向上を目的として 4 つの改善策を提案、実装した。まず、あるノードが通信している場合、近隣ノードはパケット衝突を防ぐために送信を止める必要があり、通信速度の低下を招く。そこで基地局からのホップ数によって通信チャンネルを割り当て、近隣ノードが同時に通信できる方法を提案した。また、1 パケットずつのデータをエンドツーエンドの受信確認で送信する場合、受信確認の待ち時間が長い。リンク毎に全データを一括送信して受信確認をまとめて行い、これをホップ数回繰り返すことで、転送の際の待ち時間を削減した。更に、基地局がボトルネックとなりやすいため、複数の基地局をデータ回収に用いることで基地局のボトルネック化を緩和し、データ回収速度の向上に貢献した。加えて、ノードの設置状況によっては基地局以外のノードもボトルネックとなることがあった。そこで、動的な経路変更を実装し、親ノードが混雑しているときに他の親ノードを探索できるようにした。特に 1 ノードの下に多くの子ノードが存在する場合、ボトルネック解消の影響は大きい。また、電源が落ちるなどの理由でいくつかのノードが反応しなくなった場合にも、別ルートを作成してデータを基地局へ届けることが可能になった。

キーワード スマートセンサ、時刻同期、マルチホップ

連絡先 〒113-8656 東京都文京区本郷 7-3-1 TEL 03-5841-6097

4. 橋梁計測

2010 年 1 月に東京都のレインボーブリッジで、本システムを利用して橋桁の振動計測を行った (図 2)．各ノードは Imote2 と 3 軸加速度計ボード、太陽電池、同軸ケーブル、アンテナからなり、これを 49 組設置した (図 3)．設置と撤去は 3 人で行ったがそれぞれ 90 分、45 分で完了し無線計測の容易さを示すと言える．48 ノードからそれぞれ 432kB のデータを回収するのにかかった時間は 34 分である．計測から得られた固有振動数は、供用前強制加振実験及び地震動観測のデータと一致した．また高次モードの同定に成功した (図 4)．

5. まとめ

高密度配置された多数ノードから高速でデータ回収するシステムを構築し、実橋梁振動計測に適用した．得られたデータは過去の計測と整合的で、また、高次モード形を詳細に同定できることを示した．更なる速度向上と圧縮・分散データ処理による転送量削減により、容易な超高密度計測が実現すると期待される．

謝辞

JIP テクノサイエンス(株)の家入正隆様、狩野正人様、巻幡憲俊様、東京都道路整備保全公社の高木千太郎様、東京都港湾局の落合和夫様に貴重なご意見を頂戴いたしました．ここに深く感謝いたします．

参考文献

- ・牛田満士，長山智則，藤野陽三：スマートセンサを用いた振動計測システムの開発と実構造物への適用，土木学会第 64 回年次学術講演会，I-429，2009．
- ・Nagayama, T. and Spencer, Jr., B. F.: Structural health monitoring using smart sensors. Newmark Structural Engineering Laboratory Report Series 001 <http://hdl.handle.net/2142/3521>, 2007.
- ・和泉公比古，小田桐直幸，荻原充信，八部順一，落合盛人，大垣賀津雄，渡辺保之：ダブルデッキ 2 ヒンジ吊橋の振動実験，構造工学論文集，Vol. 40A，1994. 3.

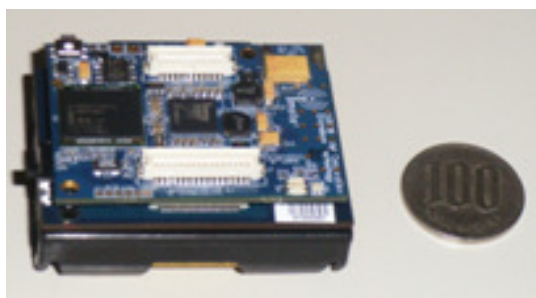


図 1. Imote2

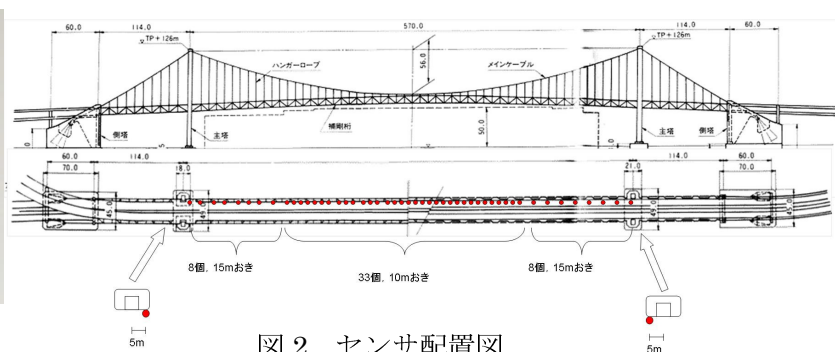


図 2. センサ配置図
13th Mode(4.3791Hz)

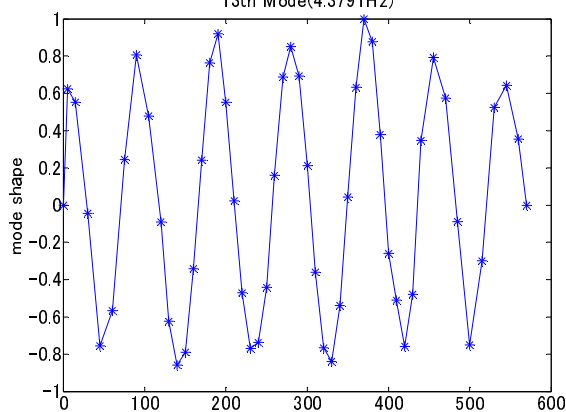


図 4. 本計測結果から計算した”13 次モード”



図 3. Imote2 の設置

表 1. 本計測と過去の計測から求めた固有振動数

	本計測	供用前強制加振実験	地震動観測
1次曲げモード	0.27Hz	0.26Hz	0.26Hz
2次ねじれモード	0.71Hz	0.68Hz	0.70Hz
5次曲げモード	0.86Hz	0.84Hz	0.88Hz