

橋梁の振動解析のためのセンシングネットワーク適用の可能性

茨城大学 学生会員 齋藤 修
茨城大学 正会員 安原 一哉

1. はじめに

ユビキタスという言葉が盛んに市場をにぎわすようになってきた。ユビキタスとはどこでも存在するコンピュータを示しているが、そのユビキタス実現のキーワードは高速な通信速度でそのエリアが常に拡大するネットワークインフラと小型化したコンピュータ技術、そしてさらに小さくなった RFID(Radio Frequency Identification:無線 IC タグ)である。特に RFID の小型化・省電力化はネットワークを利用した広域な情報測定を可能とする技術である。

また近年、センサ自体の高性能化や省電力化、低価格化は著しく進み RFID との組み合わせで長寿命な測定期間を実現できるようになり、低価格でありながら大規模なセンシングネットワークが実現できる。今回、橋梁の環境情報、特に振動解析を目的とした低価格なセンシングネットワークシステムの構築手法を検討し、その有効性と応用の可能性について検討した。

2. RFID

RFID の種類を表 1 に示す。パッシブタグは小型化が可能であり、物流管理やトレサビリティに利用される。電池を内蔵せず 1 m 以下の近距離で通信させる。電源を持たないことから、読み取り器(受信機、アクセスポイント)のアンテナが放つ電波で電磁誘導作用を起こすなどの方法で駆動し電波の送受信を行う。電池をもたないことから長寿命で低価格が実現できる。アクティブタグは電池を内蔵して自ら電波を出すものである。電源内蔵で電波を出すため、読み取り器との通信距離が長く取れる。数十 m の送受信が可能である。これらの RFID はもともと ID(Identification)をデータとして送信するものだが、さらに高機能を追求しセンサのインターフェイスを備えて接続を可能にした RFID として高機能タグが存在する。

表 1 RFID の種類と用途

種類	方式	通信距離	周波数	用途
アクティブ	電池内蔵	~数10m	300MHz~400MHz	人の動き、動くものへの応用
パッシブ	電磁誘導	~1m	125kHz~135kHz	物流管理・トレサビリティ
	電磁誘導	~1m	13.56MHz	
	マイクロ波	~2m	2.45GHz	
	マイクロ波	~5m	860MHz~960MHz	

高機能タグはプログラミングが可能で、さまざまなセンサやアクチュエータと接続が可能である。また無線通信の信頼性を重視したものである。高機能タグ(以下センサタグ)の例を図 1 に示す。

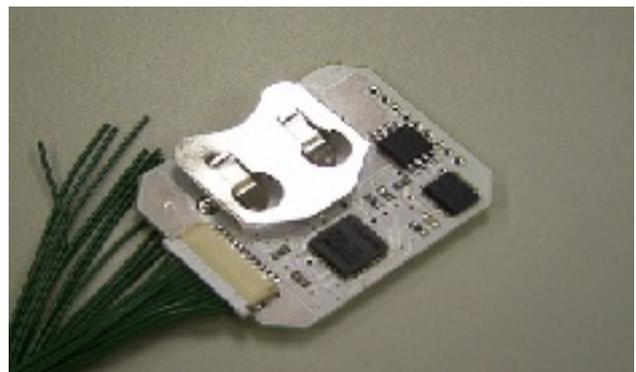


図 1 高機能タグの例

3. 高機能タグの選択

本研究では橋梁の震度に着目してその解析を目的とすることからセンサで振動を捉え、センシングネットワークを実現できる高機能タグの利用を検討する。高機能タグは色々な通信インターフェイスを吸収できる入出力機能を持つこと、通信を含めたプロトコルを吸収できるプログラミングができること、各種センサを取り付けられる I/O(Input/Output)があること、そしてセンサからの測定データを格納できる大容量のメモリを搭載していることが選択にあたっての必要条件と

なる また多数の高機能タグを利用することから価格，消費電力，大きさの検討も必要である。

表2が今回選択した高機能タグ（アクティブタグ）部分の仕様である。

表2 高機能タグの基本仕様

型式	送受信微弱無線モジュール
送受信周波数	302.4MHz
送信出力	電界強度500 μ V/m以下
通信距離	10数m
変調方式	ASK 9600bps マンチェスター符号4800bps
I/O	9ピンGPIO, UART RX TX
相互干渉	検知せず
エラー訂正	ソフトウェアエンコーダ・デコーダ
消費電力	送信時 5mA以下
大きさ	28(W)X36(D)X6(H)mm

今回、橋梁の振動解析を行う目的から加速度センサを装備した高機能タグを選択した。今回選択した高機能タグの加速度センサは3軸の加速度センサをカスタムで取り付けたものであり加速度センサ部分はMEMS(Micro Electro Mechanical System: マイクロ・エレクトロメカニカル・システム)製造技術を利用し高性能・低消費電力，低価格化を実現したものである。このセンサ付き高機能アクティブタグは独立行政法人産業技術総合研究所とワイマチック株式会社が共同研究開発した S-NODE と呼ばれる汎用性の高いものである。表3が今回選択した三軸加速度センサの仕様である。

表3 三軸加速度センサの基本仕様

測定範囲	$\pm 2.0G$ or $\pm 6.0G$
測定分解能	12bit 100msecサンプリング
非直線誤差	X,Y軸 $\pm 2\%$ Z軸 $\pm 3\%$
内蔵CPU	ROM 48kbyte, RAM 4kbyte 外部1MBメモリ
消費電力	稼働時 0.7mA以下 待機時 3m μ A以下
大きさ	36(W)X30(D)X3.2(H)mm

3. 橋梁の振動データ収集方法

本研究は経済産業省の「平成 18 年度地域中小企業支援型研究開発事業」の「ネットワークノードを用いた応用実用化研究」の共同研究の一環として位置づけられ、産学官連携の共同研究開発事業のスタイルを取っているものである。

本研究では茨城県ならびに茨城県内市町村の協力を得て、城県内の橋梁を選択して多数のセンサ付き高機能タグを取り付け、測定した振動データを PC に送信して解析する。

実際に橋梁にタグを取り付ける以前に、橋梁模型による検討も実施した。橋梁模型は茨城県内の橋をモデルとして約 1 / 50 スケールで図2のように作成した。



図2 橋梁模型（ペーパークラフ）

この橋梁モデルに2軸加速度センサを貼り付けて振動がどのように PC に取り込めるかを事前に確認した 図3は加速度センサの取り付け方法である。



図3 橋梁模型への加速度センサ取り付け

図4は PC とセンサの接続を示したものである 模型実験では USB でセンサと PC を接続した。



図4 加速度センサと PC 接続

PCでの振動表示画面が図5である。模型実験では加速度センサのメーカー添付のソフトウェアを利用してセンサの設置位置を検討した。

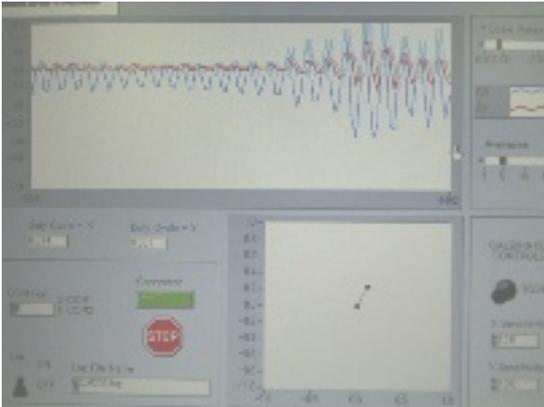


図5 加速度センサからの振動データ表示

橋梁の振動解析の目的は橋梁の構造変化を見つけ出し、適切な保守点検に応用することである。このような目的を達成するために、橋梁の固有振動数を計測する。構造に変化が無ければ常に固有振動数は一定で、伸びや縮みや亀裂が発生した場合、その固有振動数は変化することから、この固有振動を日常的に長時間計測する。図6が試験的に計測したスペクトル表示である。

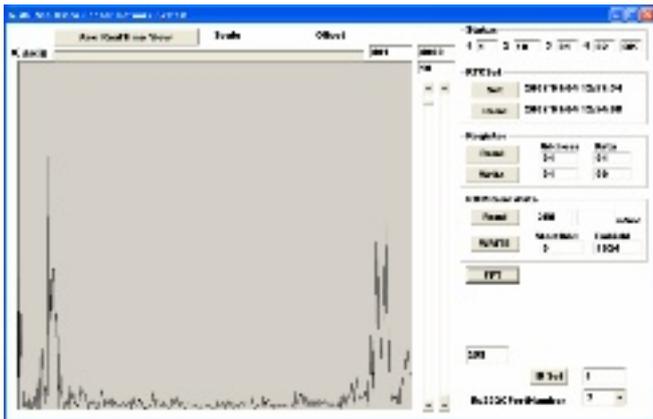


図6 スペクトル表示

今回選択したセンサ付き高機能アクティブタグは常時、固有振動数の計測を行ない、1秒に一回程度、振動を測定し、内部のCPUでフーリエ変換を行ない、固有振動数を計測して常時無線送信する。常時無線送信するために電源が問題である。基本的にボタン電池で長時間駆動するために設計された省電力型のタグであるが、今回の実証実験では長期間での連続稼働を目的としてあえて6000mA/Hの大型のリチウム電池で5年以上の稼働寿命を確保する。データの受信は300MHz

帯域を利用した微弱無線の通信範囲である10数mの無線通信範囲内に高機能タグのアクセスポイントとノートPCを接続して持つて行くことにより行う。常時通信が可能のためPCを車載して移動しながら多数のセンサ付き高機能タグからのデータ受信が可能であり、効率的な処理が可能である。

3.1 フィールドサーバとしての位置づけ

従来、センシングネットワークやユビキタスネットワークと呼ばれていたものや、Webサーバや複数のセンサ、ネットワークカメラ、無線LAN通信モジュールなどをフィールドに長期設置して環境情報を計測して自律モニタリングを行う機器を総称してフィールドサーバ(FieldServer)という言葉が使われてきている。フィールドサーバは上記のように様々な目的のものが考えられるが、本研究で用いる加速度センサタグを利用した振動データ収集はまさにフィールドサーバの一つの形といえる。

4. 擬似地震計としての活用

本研究の応用として上げられるのが、擬似地震計としての振動データの収集である。地震大国日本では近年巨大地震が発生している。地震のメカニズムは複雑でまだ未解明のところも多い。高価な地震計を広域なフィールドに数百個配置することは経済的に無理である。高感度で地震の微動を測定することは難しい。そこで地震振動をエネルギーと言う形で考えてこのフィールドサーバで捉えることを検討していく。また地盤の動きを捉えて防災に活用することも可能である。多数の高機能タグを敷地内に埋め込んで出てくるデータの解析手法をそれぞれの目的に応じて今後確立していくことを計画している。

5. まとめ

本研究は、茨城県内でセンサ付き高機能アクティブタグを利用したセンシングネットワークを構築し、建築物・橋梁等の振動データを効率よく収集して解析し、その結果として構造物の状況を把握して安全性を検証する一つの指標をつくることであり橋梁点検等の効率の向上の可能性を探るものである。また低価格で広域の測定手法の確立が可能であることから地震等の災害において防災の一助となるものである。また、自然環境の測定も今回利用したタグのセンサ部分を温度・湿

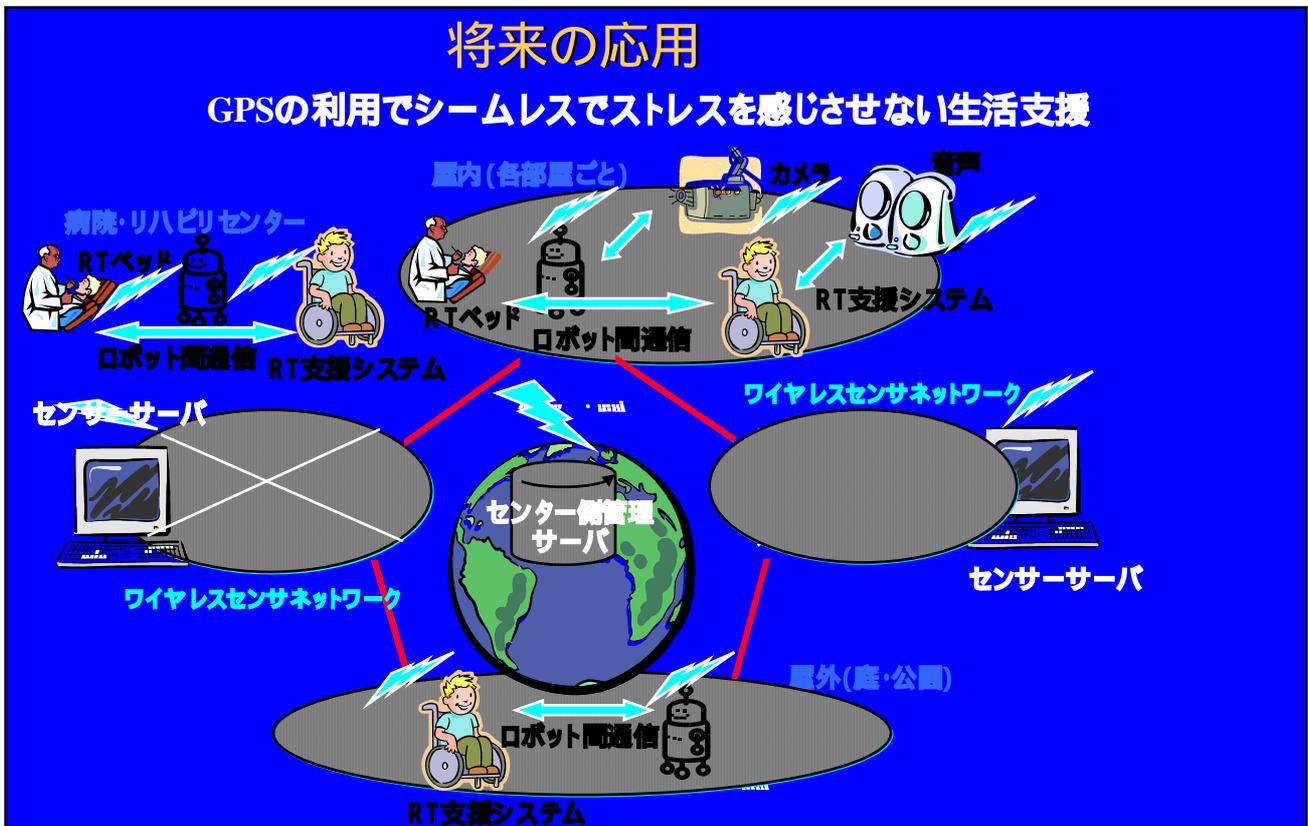


図7 GPSを利用した将来の応用図

度センサ等に変更することにより可能であり、環境情報の可視化も実現できる。本研究は今年度推進中のものであり、今後測定データならびに解析手法の報告を行っていききたい。また、GPS(Global Positioning System)との接続可能な高機能タグを選定してGIS(Geographical Information System)へ発展させることで新たなフィードサーバ構築が可能となると考えられる。図7がセンサーネットワークの将来像である。

謝辞

本研究は経済産業省の「平成 18 年度地域中小企業支援型研究開発事業」の「ネットワークノードを用いた応用実用化研究」の共同研究の一環として委託先である独立行政法人産業総合研究所ならびに取り纏めをされた産業総合研究所 知能システム研究所 空間機能研究グループ グループ長の大場光太郎氏の多大なご指導とご協力をいただきました。また、茨城県商工労働部、企画部、土木部、茨城県工業技術センター、茨城県道路公社の関係各位にも多大なご協力をいただきました。ここに謹んで感謝申し上げます。

<参考文献>

1) 嶋田善多・矢吹信喜・坂田智己・(2004)土木設備の維持管理体系における巡視点検と IC タグの活用,「土木学論文集」No.777/VI-65, pp.161-173. 2) 桑原祐史・齋藤 修(2005) センシングネットワークの建築物応用「平成 17 年中小企業のための技術シーズ研究委託事業総合報告」. 3)(財)日本建設情報総合センター(2004) IC タグの建設分野での活用に関する研究会 16 年度報告書(概要版)公表。(オンライン), 入手先 <http://www.jacic.or.jp/topics/2005072601/ic_tagkenkyu8.html> 4) 沖電気株式会社 沖テクニカルレビュー 2005年 10月/第204号 Vol.72 No.4 センシング機能付きユビキタス電子タグおよび電子タグシステムの開発. 5) 齋藤 修・安原 一哉(2006) 地理情報システム学会 第 15 回研究発表大会 社会基盤施設の振動解析のためのセンシングネットワークの適用の可能性. 6) 齋藤 修・渋谷 進・安原 一哉・藤咲 修一・戸田 淳一(2007) 情報処理学会 第 69 回全国大会 300MHz微弱無線利用アクティブタグの工場内通信実証実験報告