

無線センサネットワークの建設分野への利用と課題（その2）

株式会社国土情報技術研究所 正会員 ○高田 知典，石間 計夫

1. はじめに

昨今の建設投資額の減少、少子高齢化による熟練技術者の減少、建設業の生産性の低下、老朽化する社会資本、深刻化する防災対策、管理費用の増大など、社会資本整備の変化への対応が急務と言われている。そこで、社会資本の本格的な維持・更新の時代を向えて¹⁾、あらたな管理手法の確立、社会資本の安全性確保のためのモニタリング技術の必要性が増してきている。一方では、センサネットワーク端末の小型化、複合センサ搭載、通信機能の高度化が進み、研究段階から実用化のための検証段階に入ったと言える。

本稿では、昨年の「無線センサネットワークの建設分野への利用と課題」で述べた利用場面と課題を踏まえ、あらたに開発したセンサ端末を用い、実用化に向けてのセンサネットワークに求められる機能と仕様、実用化に向けての課題について報告する。

2. 無線センサネットワーク

マイクロマイニング技術（MEMS）のここ1 - 2年の進歩は著しく、半導体センサの小型化・センサの多重化・省電力化、種々の周波数に対応した無線モジュールの開発がなされ、無線センサネットワーク端末（以下、端末）の利用環境が整備されてきた。

今回、筆者らは、独自に開発した端末と市販の端末を用いて、機能の検証実験（紙面の都合上、実験結果は割愛する）を行い、建設分野へ適用するための必要な機能（仕様）と、課題について検討した。課題として、A/D変換分解能・サンプリング周波数などのセンシング機能、使用環境の異なる場合の周波数による通信の可否、通信距離の差、消費電力、メモリーや時刻同期機能などについて比較検討した。

本稿では、主に、利用場面に即した無線機能とセンサ機能などを検討対象とした。ネットワークの方式（アドホック機能など）・広域通信に関しては、別途「利用と課題その（4）」で報告する。表 - 1 に対象とした端末を、図 - 1 に開発した3軸加速度センサを搭載した端末を示す。

3. 建設分野における利用場面と必要な機能

センサネットワークの利用場面は、昨年の報告²⁾にも示すように、河川、道路、ダムなど多岐にわたる検討を行ってきた。本稿では、開発したセンサ端末の斜面防災への適用可能性について、現状の管理手法とその課題、センサネットワークによる管理手法・要素技術の例、導入により期待される効果など検討した。表 - 2 にその結果を整理した。また、端末として、3軸加速度センサとワイヤレストランシーバー（2.4GHz帯、表 - 1 センサネットワーク端末の例

センサネットワーク機器の名称	搭載センサ (検証実験仕様)	無線通信 周波数	メモリー	ユーザー側での プログラム変更	消費電力	リアルタイム 通信	計測周期	時刻同期
MOTE MIC-AZ/MIC-A2	2軸加速度、2軸磁気、 温度、温度、マイクロ フォン	2.4GHz (MIC-AZ) 315MHz (MIC-A2)	フラッシュ領域:128k B データ格納領域:512 kB	可能	20.5mA(平均)	可能(マルチホップ通信 にも対応可)	最大10Hz 程度	完全な時刻同期 は不可
3軸加速度センサ計測システム	3軸加速度	2.4GHz	データ格納領域: 512kB	不可能	16mA	可能(マルチホップ通信 は不可)	最大200Hz	完全な時刻同期 は不可
SecureTag	加速度検知、タンパセン サ	426MHz(送信) 125MHz(受信)	OPUI内蔵 EEPROM	不可能	約3年 (4分1回の送信)	可能(加速度検知時の み電波を発信)	最大1Hz	完全な時刻同期 は不可
温度タグ	水晶式温度	429MHz	OPUI内蔵 EEPROM	不可能	約3年 (測定周期10分、 通信間隔1時間)	可能(加速度検知時の み電波を発信)	最大1Hz	可能
LPS	なし	315MHz	OPUI内蔵 EEPROM	不可能	約9ヶ月 (1回/秒)	可能(マルチホップ通信 にも対応可)	最大1Hz	不可
TagRanger	なし	2.4GHz	OPUI内蔵 EEPROM	不可能	-	可能(マルチホップ通信 は不可)	-	不可

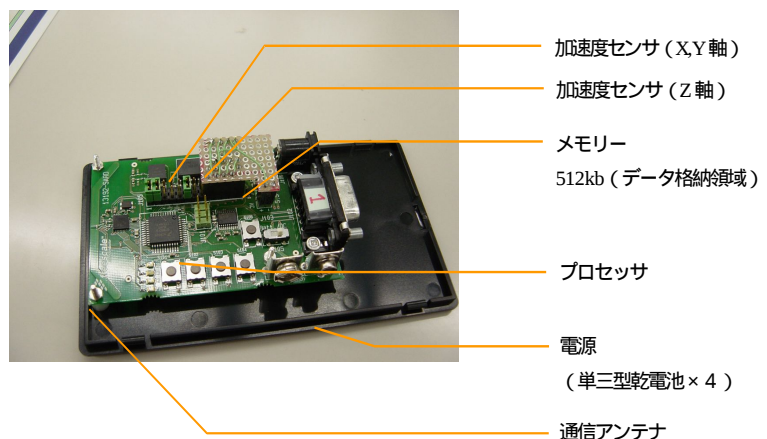


図 - 1 3軸加速度センサを搭載した端末

キーワード センサネットワーク、無線、ユビキタス、公物管理、情報化施工、防災

連絡先 〒150-0002 東京都渋谷区南平台町 16-28 グラスシティ渋谷 (株)国土情報技術研究所 TEL03-6311-8351

表 - 2 無線センサネットワークを斜面防災へ適用した場合の検討項目の整理

項目	現状の管理				センサネットワークを利用した管理の例	
	災害の実態		災害の発生原因		予知・検知・管理手法（予知・検知内容、センサ精度など）	
	種類と特徴	主な被害内容	要因と誘因	予知・検知・管理手法（予知・検知内容、センサ精度など）	課題	導入効果
落石・検知	I 掛け落ち型(転石型) ・侵食や風化によって岩塊などが表面に浮出し、パランスを失って掛け落ちて落石となる	・道路閉塞、通行車両への損傷(埋没被害を含む)、 ・道路付帯構造物(落石防護欄、信号、標識等)への損傷、 ・周辺家屋への被害、 ・落石防止工事・落石防護柵の設置時などにおける作業員への被害	I 地質条件 ・転石型の場合 ・浮石型の場合 II 地形条件 < 誘因 > 連続雨量、時間雨量強度、風向、最大風速、平均風速、積雪、凍結融解、地震、人為的誘因等	I 衝撃加速度感知式 ・加速度センサをロケットやストンガードに設置し、落石衝突時の加速度を感知して落石を検知する方式 < センサ性能例 > ・測定範囲: ±50G (±500m/s ²) ・計測間隔: 100ms/sec ・センサ設置間隔: 8m II 断線式 ・落石の衝突による金属線の断線を感じて落石を検知する方式(センサなし) III 光ファイバ・センサ式 ・落石防護柵に取り付けられた“検知板”に衝突した落石の衝撃を、光ファイバ・センサにより検知する方式	・雷害・腐食の対策が必要である ・電力ケーブルやデータケーブルの敷設が必要だめ、多くの作業時間を要する	I モニタリングシステムの設置期間短縮 ・通信線や電源ケーブルの敷設が不要なため、設置工事が簡便に短縮される ・作業員の安全性向上 ・設置コスト削減
	II はく離型(浮石型) ・岩間土の結合力の弱まり、 ・凍結によって割目が拡大され、岩が剥離して落石となる					II センサ端末の連続稼働が可能 ・充電時間が短いキャパシタを用いることにより、設置を問わず連続稼働が可能 ・メンテナンス不要 ・連続稼働が可能
地山変動の検知	I 地すべり ・主に5°～20°の緩傾斜面で発生する ・発生規模が大きい ・発生前に亀裂の発生、陥没、隆起、地下水の変動等が生じる	・道路埋没 ・通行車両の埋没 ・周辺家屋への損傷	I 地盤物の種類 II 斜面の傾斜 III 斜面の高さ IV 湧水の有無 V 近辺の建物の有無 VI 表土の厚さ VII 地質 < 誘因 > 短期降雨強度、連続雨量、静音量、地下水位、頭部盛土による過剰間隙水圧、地震、人為的誘因(切土等)	I 伸縮計による検知 ・危険斜面の2点に杖を設置し、その間に張ったワイヤの長さにより斜面の変動を計測する方式 < センサ性能例 > ・測定範囲: 200mm ・測定精度(表示分解能): 0.001mm ・計測間隔: 1分～24時間(データレガの性能) II 傾斜計による検知 < センサ性能例 > ・測定範囲: 0°～±7° ・測定精度: 0.001° ・計測間隔: 1分～24時間(データレガの性能) III 雨量計による検知 ・斜面の変動検知のための伸縮計・傾斜計と共に設置される場合がある。主に転倒土型センサが用いられる < センサ性能例 > ・測定分解能: 0.5mm	・センサによる点検的な計測であるため、設置位置の決定が難しい ・センサデータの収集に、Data 回線などを用いる場合、計測間隔を狭めると、通信コストが増加する	I 現場でのセンサデータの受信も可能 ・パトロール車両などに搭載したゲートウェイ装置からのデータ受信が可能 ・日常巡回業務の効率化
	II 斜面崩壊 ・主に20°以上の急傾斜地で発生する ・比較的小規模な発生、陥没、隆起、地下水の変動等が生じる		< 誘因 > 短期降雨強度、連続雨量、静音量、地下水位、頭部盛土による過剰間隙水圧、地震、人為的誘因(切土等)			II 現場でのセンサデータの受信も可能 ・パトロール車両などに搭載したゲートウェイ装置からのデータ受信が可能 ・日常巡回業務の効率化

IEEE802.15.4 準拠) を搭載した端末を用いた。主な機能、構成は、1) 3 台のセンサ端末と 1 台のゲートウェイで構成、2) 最大無線到達距離は約 50m、3) フラッシュメモリ (512k : 最大 13 万データ、145 時間分サンプル蓄積可能)・通信制御装置・中央処理装置・電源を内蔵、4) 最大サンプリング周波数 5ms (200Hz)、5) 消費電流平均 16mA、6) 連続稼働時間は単三電池の利用で約 120 時間 (データ転送中 : 平均電流 55mA) である。

ゲートウェイは、端末の設定のほか、リアルタイムモニタ、蓄積の開始・停止、データ転送、フラッシュメモリの初期化などの機能を有している。

4．実用化に向けての課題

建設分野では、まず、現状の管理手法の代替技術として、コスト削減を前提とした精度・安定性・耐久性が要求され、第一に公共性を重視した信頼性が欠かせない。よって、センサネットワークの特徴である自律型ネットワーク機能 (アドホックなど) 以上に半導体センサの計測機能 (精度・安定性・耐久性) の向上が第一にあげられる。つまり、まず「通信ありきではなく、計測ありき」で始まると言える。その中でも、不可欠な要素技術として加速度センサなどの A / D 分解能の向上 (16 ビット以上が望ましいが現状は、10 ビット) 最低 1 年 - 2 年程度の連続稼働を前提とした小型蓄電装置を伴う電源技術、安定した長距離ワイヤレス通信、いかなる環境でも動作可能なセンサ技術があげられる。特に、センサ (加速度 / ひずみ / 圧力) は使用場面 (水中、土中、コンクリート中など) ごとに精

度、計測頻度が異なる場合が多く、利用場面に合った要求機能を整理し、開発することが重要である。実用化に伴い、時間同期、最適配置、電力制御、端末の位置把握などさらなる高度な技術が要求されるであろう。また、現状では、データ欠損のない安定性の確保のためには、多点、多数の配置・計測が欠かせず、低価格化のための量産化・大量生産技術の制度・支援策の整備が強く望まれる。

5．おわりに

無線センサネットワークは、半導体センサの機能、建設環境での通信距離の確保、省電力技術、小型電源技術など、実用化・普及に向けての課題も残されているが、マイクロマイニング技術の高度化や低価格化が進むことで、多分野で飛躍的に利用が拡大しよう。さらには、メンテナンス需要の増大によるあらたなビジネスモデルの創生や、携帯電話、光ケーブル通信網など既存通信インフラとの併用による防災や環境・交通情報などの情報収集ツールとしての利用も期待される。建設ユビキタス環境の実現により、建設作業の安全性の向上、建設業の効率化・合理化、情報公開による公共性の確保、ひいては防災・減災に結びつき、本研究が、建設事業の高度化の一助になれば幸いである。

参考文献

- 1)「道路構造物の今後の管理・更新等のあり方 提言」、<http://www.mlit.go.jp/road/current/kouzou/>
- 2)「無線センサネットワークの建設分野への利用と課題」、高田・石間、平成 17 年度年次学術講演会