

分散型モニタリングシステム(RIMS)の開発

東京大学 学生会員 ○青木 茂
東京大学 フェロー会員 藤野 陽三
東京大学 学生会員 鎌田 長明
オイレス工業 正会員 横川 英彰

1. RIMS のコンセプトと実装

RIMS(Remote Intelligent Monitoring System)は、小規模構造物の常時モニタリングを目的として開発中のシステムである。加速度計と小型電子計算機を組み合わせ、常時振動波形を記録することで損傷前後の波形の特徴から損傷を検出し、データを無線により簡便に取得できる装置というコンセプトで開発を開始した。

RIMS 開発に当たって、まず重要なのはデータ通信部であるという観点から、汎用の TCP/IP を直接通信に利用できる装置というデザインを行い、Ethernet での通信と、内蔵 A/D コンバータによる計測とが可能なコンピュータボードを試作した。Ethernet を無線化する無線 LAN ステーションとの組み合わせにより、屋外での無線による振動波形データ取得に成功している。

2. RIMS の特徴

RIMS は同種のセンサーノードとは異なる二つの開発コンセプトを持つ。

一つは、独自の通信技術ではなく、RIMS ではインターネットの標準技術である TCP/IP と http を採用していることである。この特徴により、無線 Ethernet 利用による無線通信と、汎用ブラウザによる高い操作性とを実現することができた。標準的なテクノロジーの採用により、短い開発期間に Web ベースの使いやすいヒューマンインターフェイスを作りこむことが可能となる特徴となる。また、コンピュータネットワークに直接接続できることから、情報処理システムの一部としてのインテグレートも容易である。この種のデバイスでは通信を行う物理層に目が行きがちであるが、日進月歩の通信技術にすばやく対応するには特定の物理層に依存せずに論理的上位層依存の実装のほうが望ましい。TCP/IP は物理層に依存しない上位の通信規格であるため、これに依存するプログラムでも物理層を入れ替えてもそのまま動作する。将来にわたりシステムのスケラビリティを確保し続けるには、標準的な TCP/IP を直接扱う機器の開発が必要不可欠であると考えている。

もう一つの特徴は、高速 MCU(Micro Controller Unit)の採用と大容量バッファメモリの存在である。センサーノードの多くは小規模な MCU を用い、バッファメモリは持たないテレメータ的な装置として設計されている。RIMS も当初、超小型 MCU である PIC を複数組み合わせた設計で開発を進めていたが、低機能過ぎてデータ取得以外の処理がわかり、将来的には診断機能を組み込む予定の RIMS の構想には適さないことから、より高性能 MCU である H8 マイコンに変更した。変更の結果、アプリケーションの高機能化が容易となった他、大容量の RAM(記憶装置)の採用も可能となった。PIC などの小型 MCU では外部に RAM を持たせることが出来ず、サンプリング周波数が通信速度に依存してしまう上、通信経路のエラーによりデータが失われてしまった場合には回復できない。また、一般に通信は大電力を必要とするため計測に少なからず影響を与えるのであるが、通信のない状態でのデータが保存されていなければノイズの定量的な評価ができない。RIMS 開発時には大容量のバッファメモリに保存された加速度履歴を利用して、通信時ノイズの評価を行うことができた。通信エラーの回復と定量的なエラーの評価のために、センサーノードはバッファメモリを持つことが必要不可欠であると考えられる。

キーワード 分散型情報技術, MEMS 加速度計, インテリジェントモニタリングシステム

連絡先 〒113-8656 東京都文京区本郷7丁目3番地1号 東京大学大学院工学系研究科社会基盤工学専攻

橋梁研究室

3. RIMS ノードの改良と展望

RIMS は実用化を目指し現在も開発を進めている。電源、A/D 変換器、ソフトウェアについて改良点を述べる。

A/D 変換により精度よくデータを取得するには、動作電源の安定化が重要である。RIMS では、動作電圧よりも高い電圧を持つ DC 電源（バッテリー）を用意し、三端子レギュレータを 2 個用いることで+5V に整流、ディジタル部とアナログ部の電源を分離した。この設計によりリファレンス電圧が安定し計測精度の向上が達成できたが、アナログ部に関してはより高精度を達成するために専用 IC を用いての試作を行っている。

レインボーブリッジ照明柱において現場試験を行ったときは、AC 電源が確保できなかったことからシール鉛蓄電池を用い、3 日間の運用に成功した。現在通信部の動作電流を下げる改良を行っており、電池稼働時間を延ばすことは可能であると予測しているが、より根本的な対策として太陽電池の利用を試験中である。電池の代わりに太陽電池パネルを接続して実験を行ったところ、電圧の変動が大きく安定動作は短時間しか続かない結果となった。蓄電池を組み合わせトリクル充電もしくはサイクル充電での運用が現実的である。

現在の RIMS では H8 マイコン内蔵の逐次比較型 10bit A/D 変換器を利用している。ディジタル回路によるノイズを避けるには On Chip のアナログ回路は望ましくなく、より高精度での計測を行うため、外部に 12bit および 16bit の A/D 変換器をつけた回路を試作している。また、大規模構造物の常時微動といった小さな振動レンジの小さな波形の計測を行うため、小信号を増幅拡大する二次アンプを設計中である。

現状の RIMS では、簡易 TCP/IP スタックを持つシングルタスク OS である H8/OS をコアに、独自開発した Web サーバと計測ルーチンを組み合わせてシステムを構成している。この OS は、通信部動作が遅いこと、安定性に問題があること、サーバ用としては使用できるがクライアントプログラムを作成できないことから、現在リアルタイム OS をコアとし、軽量 TCP/IP スタックとファイルシステムとを実装した新システムを実装中である。この改良により、RIMS は通常の PC と同レベルのプログラム開発環境と、専用機ならではのリアルタイム性能を併せ持つこととなる。OS コアとしては Linux および μ ITRON 系カーネルを検討し、Linux はサイズが巨大でありアプリケーションを動かすのが困難であることから、 μ ITRON 準拠のカーネルについて検証中である。

4. RIMS ネットワークの将来

RIMS はネットワーク上で動作することを最大の特徴としている。このため、情報システムを構成する要素として既存のサーバやデータベースと容易に接続可能である。2 台の RIMS ノードによる同時計測も試験を行っており、今後は RIMS ネットワークをシステムとして開発を進めていく。

これまでの開発により、RIMS は Web サーバとして動作することが実証できた。Web サーバとしての機能があれば、XML をやり取りすることによって Web サービスという形で分散オブジェクトと同等に扱うことができる。XML はデータ交換形式として広く認知されているが、そのハンドリング手法である SAX や DOM は多くのリソースを必要とすることから、従来は組み込み機器での XML 利用は困難であった。この制限を取り払うべく、軽量 XML ハンドリングフレームワークを本研究室にて開発中であり、RIMS にこのソフトウェアを導入することで情報システムの一部としての性能向上を図っている。

取得したデータを流す方法は XML フレームワークにより解決するが、取得したデータを蓄積するのは別な問題として存在する。RIMS ネットワークでは、データを取得する RIMS の他に、データを蓄積するデータベースノードが必要であると考えている。本研究室では、RIMS ノードとデータベースノード間、あるいはそれらのデータを扱うノード（ソルバーなど）との間のプロトコルの標準案を策定中で、これを用いたデータ収録システムを試作中である。

参考文献

- ・ 青木茂, 藤野陽三, 阿部雅人, 「分散型情報技術によるインテリジェントモニタリングシステムの開発」, 第 58 回年次学術講演会, 土木学会, CS-11-002, 2003.
- ・ 山田, 山田, 小塩: 振動による変位とその頻度を計測する簡易な計測器の開発と適用試験, 橋梁振動コロキウム' 03, 土木学会, pp. 363-368, 2003. 9.