

大地震発生時の戸別倒壊状況把握システム用 GPS 無線センサノードの開発

中村 一大¹・宮崎 知洋²・佐伯 昌之³・小國 健二⁴

¹非会員 慶應義塾大学大学院 理工学研究科 開放環境科学専攻 (〒 223-8522 神奈川県横浜市港北区日吉 3-14-1)
E-mail: lir.inwl-c@z5.keio.jp

²非会員 元慶應義塾大学大学院 理工学研究科 開放環境科学専攻 (〒 223-8522 神奈川県横浜市港北区日吉 3-14-1)

³正会員 東京理科大学准教授 理工学部 土木工学科 (〒 278-8510 千葉県野田市山崎 2641)

E-mail: saeki@rs.noda.tus.ac.jp

⁴正会員 慶應義塾大学准教授 理工学部 システムデザイン工学科 (〒 223-8522 神奈川県横浜市港北区日吉 3-14-1)

E-mail: oguni@sd.keio.ac.jp

GPS on Every Roof は、地震発生時に家屋の倒壊状況を把握するシステムである。本システムは、GPS 受信機を搭載した無線センサノードを家屋の屋根に搭載し、地震による変位を測定する。GPS 解析は、通信量を抑制するためにオンボードで行う。しかし、解析に必要な倍精度演算を行う高機能 CPU は、センサノードとしては消費電力が大きい。センサネットワークの実用化に向けて、限られた電源で長期間稼働させることが課題であり、省電力化が望ましい。本論文で提案するハイブリッドセンサノードでは、高機能 CPU とより省電力な CPU の 2 つの CPU を搭載している。高機能 CPU の使用を GPS 解析に限定し、他の処理を省電力 CPU で行うことで省電力化を目指す。検証実験では、測位精度の目標値を達成しつつ、全所要時間 576 秒のうち高機能 CPU の稼働時間を 10 秒に抑えた。

Key Words : GPS, wireless sensor network, energy saving, relative positioning, monitoring

1. はじめに

著者らのグループは、大地震発生時の戸別倒壊状況把握のための GPS 無線センサネットワークを開発してきた。本システムは、GPS 受信機を搭載した無線センサノードを家屋の屋根に搭載し、地震による変位を測定する。これにより、地震発生直後に家屋倒壊や道路の閉塞状況についての情報を生成・集約することを目指している。また、集約した情報を GIS (地理情報システム) のレイヤーのひとつとして視覚的に表示できるようにし、災害発生直後の初動体制における意思決定をサポートする情報を提供することも目指している。

地震発生時には基幹通信ネットワークに依存できないため、無線センサネットワークによりデータを収集するが、無線通信は欠損が起りやすい。そこで、通信量を抑制するために、GPS 解析をサーバではなくオンボードで行う。これまでに著者らのグループは、図-1 のセンサノードを開発し、GPS 衛星の観測から位置情報の集約までを 30 分以内で完了するシステムを開発した¹⁾。このセンサノードは、特定小電力無線モジュールと 1 周波 GPS 受信機と GPS パッチアンテナ、GPS 測位解析を行う高機能 CPU で構成されている。GPS 解析には倍精度演算が要求されるため、演算処理能力が高い CPU をセンサノードに搭載している。GPS 受信機や無

線モジュールの制御も、この CPU で行う。

既存の研究における無線センサネットワークでは、センサノードを電池で稼働させることが通例であり、その限られた電源で長期間稼働させることが実用化に向けた課題とされている。その解決策の 1 つとして、環境発電機能の搭載が検討されており、例えば太陽電池を搭載したセンサノードが開発されている²⁾³⁾⁴⁾。

本研究においても、社会基盤として実用化することを考え、平常時にもシステムを活用するために、太陽電池の搭載を検討している。図-1 のセンサノードは、CPU の消費電力が大きいため、太陽光発電を考えれば CPU を差し替えるべきではあるが、GPS 解析には高機能 CPU が不可欠である。しかし、GPS 解析以外の、GPS 衛星の観測や無線通信の制御など高い精度を必要としない処理に関しては必要性が無い。先に述べた平常時の活用も、気温・湿度の監視といった粗い計測を想定しているため、高い処理能力は不要である。

そこで著者らのグループは、高機能 CPU と省電力 CPU を併せ持つ、ハイブリッドセンサノードを開発した。これにより、高機能 CPU は GPS 解析にのみ使用し、それ以外の処理を省電力 CPU で行うことで、高機能 CPU の稼働時間を抑えることが目的である。無線モジュールも、より低消費電力かつ通信速度が速いモジュールに変更することで、更なる省電力化を図った。

本論文では、このハイブリッドセンサノードについて詳述する。また、ハイブリッドセンサノードに GPS 無線センサネットワークシステムを実装し、その性能を検証する。

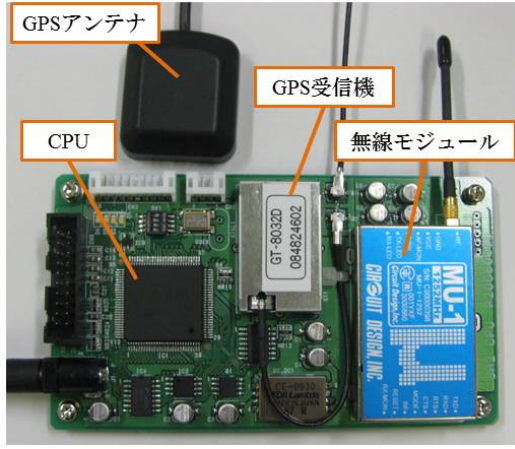


図-1 旧センサノード

2. GPS 相対測位解析

本章では、本研究で用いる GPS 相対測位解析の手法について述べる⁵⁾。GPS の多点解析は、ある 1 台の受信機を参照点として、他の受信機の相対位置を解析することである。よって、以下の議論では、1つの参照点から他の 1つの点の相対位置を決定する問題を考える。

GPS 衛星 k からの搬送波を受信機 i で時刻 t に受信したときの搬送波位相を $\phi_i^k(t)$ とする。衛星 k と衛星 l に関して受信機 i と受信機 j における位相二重差 $\phi_{ij}^{kl}(t)$ は、次式でモデル化される。

$$\phi_{ij}^{kl}(t) = \rho_{ij}^{kl}(t)/\lambda + N_{ij}^{kl} + \Delta_{ant,ij}^{kl}(t) + \epsilon_{ij}^{kl}(t) \quad (1)$$

ここで、 $\rho_{ij}^{kl}(t)$ は受信機と衛星の間の距離の真値の二重差であり、衛星の真の位置 (既知の値) と受信機の位置 (未知の値) が含まれている。 N_{ij}^{kl} は衛星と受信機の整数値バイアスの二重差で、受信機が衛星を見失わない限り一定の整数値である。 $\Delta_{ant,ij}^{kl}(t)$ はアンテナノイズの二重差、 $\epsilon_{ij}^{kl}(t)$ はランダムノイズの二重差である。

$\mathbf{x}_i$ を近似値 $\tilde{\mathbf{x}}_i$ と微小な補正量 $\Delta\mathbf{x}_i$ で表わし、 $\rho_{ij}^{kl}(\mathbf{x}_i, t)$ を $\tilde{\mathbf{x}}_i$ 周りで Taylor 展開すると、

$$u_{ij}^{kl}(t) = \nabla \rho_{ij}^{kl}(\tilde{\mathbf{x}}_i) \cdot \Delta\mathbf{x}_i + \lambda N_{ij}^{kl} + \lambda \Delta_{ant,ij}^{kl}(t) + \lambda \epsilon_{ij}^{kl}(t) \quad (2)$$

となる。ただし、

$$u_{ij}^{kl}(t) = \lambda \phi_{ij}^{kl}(t) - \rho_{ij}^{kl}(\tilde{\mathbf{x}}_i, t) \quad (3)$$

とした。式 (2) の未知数は、受信機 i の位置の補正値 $\Delta x, \Delta y, \Delta z$ 、整数値バイアスの二重差 N_{ij}^{kl} である。

この未知数を求めるために、複数の衛星について式 (2) を計算することで、次の連立方程式を得る。

$$\mathbf{U}(t) = A(t)\mathbf{x} + \lambda\mathbf{N} + \mathbf{e}(t) \quad (4)$$

ここで $\mathbf{U}(t)$ は観測ベクトルに相当し、その成分は $u_{ij}^{kl}(t)$ である。 $A(t)$ は $\Delta\mathbf{x}$ の係数行列、 $\mathbf{N}$ は各成分に関する整数値バイアスの二重差を成分にもつ未知ベクトル、 $\mathbf{e}(t)$ は誤差ベクトルである。

さらに式 (4) をまとめると、

$$\mathbf{U}(t) = B(t)\mathbf{y} + \mathbf{e}(t) \quad (5)$$

となる。 $B(t)$ は $B(t) = [A(t), \lambda I]$ 、 $\mathbf{y} = \{\Delta\mathbf{x}^T, \mathbf{N}^T\}^T$ である。GPS 相対測位解析では、式 (5) より $\mathbf{N}$ を推定し、最小二乗法により位置を同定する。

本研究は、GPS 受信機が高密度に設置され、相対位置は時間変化せず、GPS 観測時間も 5 分と短いことから、搬送波位相の二重差の時系列データを直線に近似できる。この手法は、標準的な手法より整数値バイアスの正解確率を向上させることができる。ここで、標準的な手法と直線近似する手法の違いについて述べる。

標準的な手法では、 $\mathbf{N}$ を推定するために、式 (5) に最小二乗法を適用することで次式を得る。

$$\tilde{\mathbf{y}} = \left(\sum_{t=t_s}^{t_e} B(t)^T R(t)^{-1} B(t) \right)^{-1} \left(\sum_{t=t_s}^{t_e} B(t)^T R(t)^{-1} \mathbf{U}(t) \right) \quad (6)$$

ただし、 $R(t)$ は観測ベクトルの誤差共分散行列である。

これに対して、本研究では、まず $\mathbf{U}(t)$ を直線近似し、最小二乗法により傾きと切片を求める。そして、それらを用いて観測データの最初と最後のエポックに相当する係数行列を計算し、式 (6) の右辺を修正する。

式 (6) より得られる解の正解決定率及び精度は、係数行列の条件数に依存する。条件数が小さいほど係数行列の性質が良いとされ、直線近似で求めた係数行列の方が条件数は小さくなる⁶⁾。

式 (6) によって推定された整数値バイアス $\tilde{\mathbf{N}}$ は実数解であり、Float 解と呼ばれる。測位解析には、整数値である Fix 解 $\mathbf{N}$ を求める必要がある。Fix 解 $\mathbf{N}$ の推定は、次の目的関数 J の最小化により達成される。

$$J = (\tilde{\mathbf{N}} - \mathbf{N})^T Q_N^{-1} (\tilde{\mathbf{N}} - \mathbf{N}) \quad (7)$$

ただし Q_N は Float 解の誤差の分散共分散行列である。Fix 解 $\mathbf{N}$ が決定されると、それを観測方程式に代入し、再び $\Delta x, \Delta y, \Delta z$ を推定する。これが干渉測位の解析結果となる。

3. 大地震発生時の戸別倒壊状況把握のためのGPS無線センサネットワーク

本章では、前章で示したGPS相対測位手法を用いた、大地震発生時に家屋の倒壊状況を把握するためのGPS無線ネットワークシステムについて詳述する。

(1) システム概要

本システムの概要を図-2に示す。まず、GPS受信機と無線モジュールを搭載したセンサノードを、家屋の屋根に設置する。あらかじめ地震発生前にセンサノードの位置を測位しておき、地震発生後にも測位することで屋根の変位を測定する。そして、この情報を無線通信でサーバに集約する。集まった情報はGISに表示させ、建物単位の損傷と、被害の分布を把握する。同時に、建物の倒壊により閉鎖された道路を推定する。要求される測位精度は数cmである。

想定する領域は、東京23区のような大都市である。それを200×200mを1つのエリアとして区切り、各々にローカル・サーバとセンサノードを設置する。都市全域の情報を地震発生後30分以内に集約することを目指しており、そのうちローカル・サーバから中央のサーバに集約する時間を10分と仮定して、各エリア内の家屋の変位データを20分以内でローカル・サーバに集約することを目指している。



図-2 システム概要¹⁾

(2) GPS測位とデータ共有

ここでは、本研究におけるGPS相対干渉測位を実行するシステムについて詳述する。図-3にシステムの流

れを示す。

まず、サーバがGPSの観測を始めるよう命令をブロードキャストで一斉送信し、全てのセンサノードがGPSの観測を開始する。観測終了後、各センサノードが観測した衛星番号と観測衛星数をサーバに集約する。衛星番号と観測衛星数は、参照点（相対位置の基準となるセンサノード）を決定する際に使用する。サーバは送信された全てのセンサノードの衛星番号と観測衛星数を比較し、最も多くの衛星を観測したセンサノードを参照点に決定する。

参照点となったセンサノードは、サーバにGPSの観測データを圧縮して送信する。サーバは、受信した参照点のGPS観測データを全センサノードに向けてブロードキャストで一斉送信する。参照点以外のセンサノードは、参照点のGPS観測データと自らのGPS観測データを使ってオンボードで測位解析を行い、参照点との相対位置を算出する。そして、算出された相対位置の座標をサーバに送信する。

このように、サーバからセンサノードへの命令はブロードキャストもしくは1対1で行い、センサノードからサーバへの通信は1対1で行うことで、全て1ホップで通信できる。そのため、サーバからセンサノードへの通信を1ホップで行えるスター型ネットワークトポロジを採用している。これにより、本システムの無線通信のロバスト性を確保している。

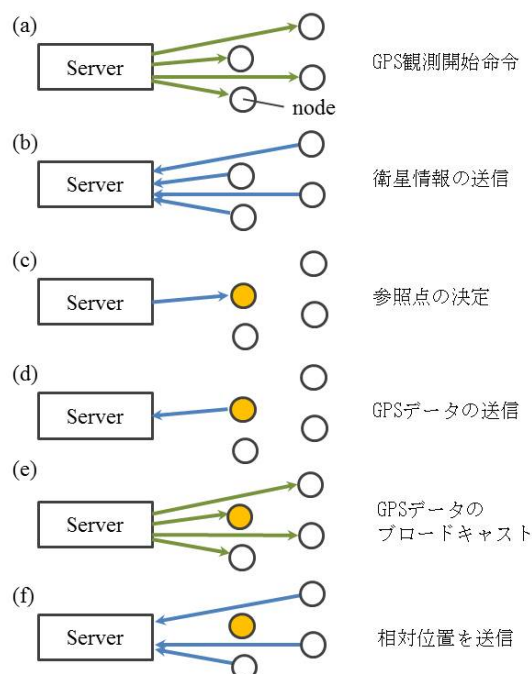


図-3 GPS測位とデータ共有の流れ

参照点のGPSデータを共有してセンサノード上でオンボード解析する理由は、データ通信量を減らすため

である。GPS 観測は毎秒 1epoch のデータが生成されるため、5 分間の観測では 300epoch 生成される。仮に、全てのノードがサーバに GPS データを送信して、サーバ上で測位解析することを考える。1 回の通信にかかるタイムスロットを 100 ミリ秒として、本システムの目標である 20 分以内に測位結果を収集するためには、GPS 観測時間 5 分を除くと、1 つのネットワークで最大 30 台のセンサノードしか接続できない。3.(1) 節で述べたように、本研究では 200×200m に 1 つの無線センサネットワークを展開するため、センサノード 30 台では足りない場合が生じる。また、30 台の場合、GPS データを全てサーバに送信する場合の通信回数は 9000 回である。一方、本研究の手法では、GPS 観測データの 1 対 1 通信が 300 回、ブロードキャストが 300 回の合計 600 回となる。これに加えて、観測衛星数と GPS 解析結果をサーバに送信するため、ノード数の 2 倍の通信回数が必要である。先ほどと同様にタイムスロットを 100 ミリ秒とすると、通信回数 9000 回の場合、4200 台のノードを 1 つのサーバに接続できる。これは、200×200m のエリア全ての家屋に設置するのに十分なノード数である。

4. ハイブリッドセンサノード

前章で、GPS 無線センサネットワークのシステムについて述べた。本章では、図-4 に示したハイブリッドセンサノードの開発目的と、旧センサノードからの変更点について述べる。

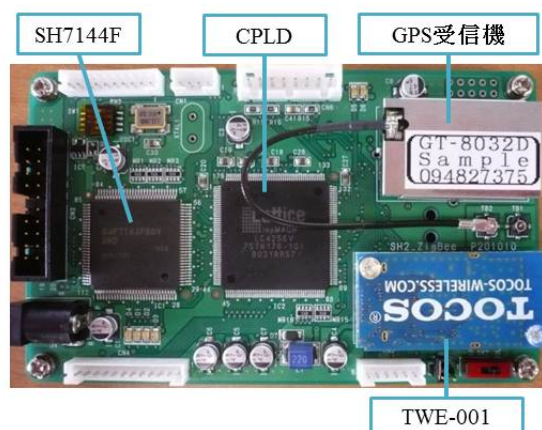


図-4 ハイブリッドセンサノード

(1) 開発目的

旧センサノードに搭載された CPU は、ルネサスエレクトロニクス社製 SH7144F である。SH7144F は、32 ビット RISC 方式で、32bits×32bits→64bits の積和演

算を 2・4 ステートで実行する積和演算器を内蔵している⁷⁾。GPS 解析では倍精度演算を行うため、この演算処理能力は必要不可欠である。無線モジュールは、サーキットデザイン社の MU-1 を搭載していた。

一方、1. 章で述べたように、社会基盤としてのセンサネットワークを構築するためには、センサノードの消費電力を抑えるべきである。この点において、SH7144F は消費電流が 150mA と、センサノードとしては大きい。また、GPS 衛星の観測や無線モジュールの制御は、SH7144F のような高い処理能力を必要とせず、無駄が生じていた。

そこで、システム全体で SH7144F の稼働時間を短縮するために、図-5 に示すように省電力の CPU を追加する。この 2 つの CPU を、図-6 に示すように、GPS 衛星の観測などは省電力 CPU で制御し、GPS 解析時にのみ SH7144F を起動することで、SH7144F の稼働時間を 580 秒から 10 秒に短縮することが目的である。ただし、2 つの CPU でデータを共有するために、データを外部 ROM に保存するが、この処理にかかる時間がシステム所要時間に加わる。よって、増加した時間分を含めても省電力となる消費電流のハードウェアでなければならない。

また、MU-1 の送信時消費電流は 43mA であるが、近年、より低消費電力で安価な無線モジュールが開発されている。今回、省電力で安価な無線モジュールに変更することで、更なる省電力化を図った。

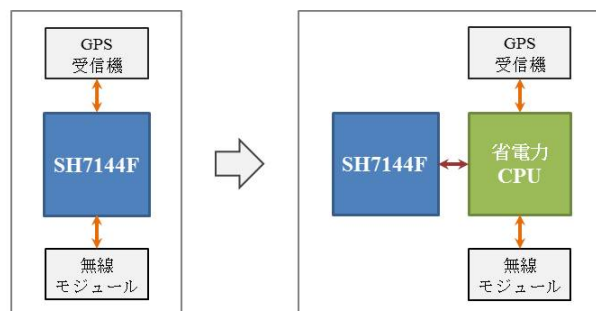


図-5 ハイブリッドセンサノード 概要

(2) ハードウェア詳細

主な変更点は、無線モジュールを東京コスモス電機社製の TWE-001 に変更したこと、2 台の CPU でメモリを共有するために CPLD を搭載したことである。ここでは、その詳細について述べる。尚、GPS 受信機は旧センサノードと同じ、古野電気社製の GT8032 を採用している。

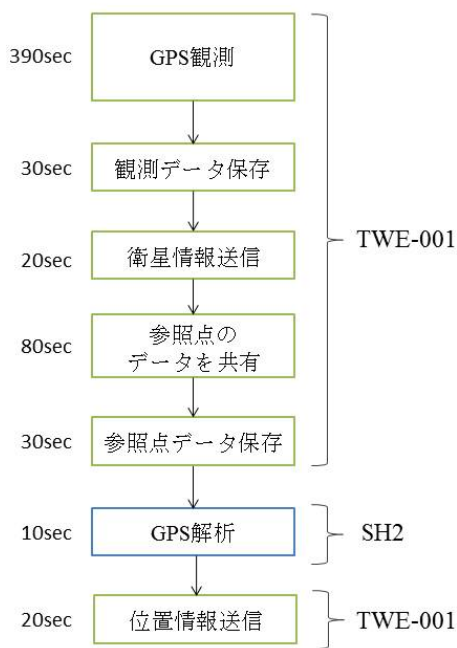


図-6 CPU の割り振り

a) 無線モジュール

ハイブリッドセンサノードに搭載した無線モジュールは、東京コスモス社の TWE-001 である。TWE-001 は、2.4GHz 帯の無線通信部分と、制御用の CPU で構成されている。MU-1 と、TWE-001 の比較を表-1 に示す。表にあるように、TWE-001 は消費電流が速く、通信速度も小さい。また、ハイブリッドセンサノードにおいて、TWE-001 は無線通信モジュールであると同時に、省電力 CPU の役割も担う。その通常稼働時の消費電流は、SH7144F が 150mA なのに対して、TWE-001 は 1.6mA である。これは、GPS データを保存するのに必要な 60 秒分の消費電力を加味しても、SH7144F のみで稼働させる場合と比較して消費電力は少ないといえる。

表-1 新旧無線モジュール比較⁸⁾⁹⁾

	MU1	TWE-001
送信時消費電流	43mA	14.6mA
受信時消費電流	35mA	17.2mA
スタンバイ時	22μA	1.3μA
周波数帯	1252MHz	2.4GHz
最大通信速度	9.6kbps	256kbps
最大接続ノード数	253台	65535台

使用する無線通信規格は IEEE802.15.4 である。通常、

この規格では ZigBee で利用されている。ZigBee はメッシュ型ネットワークを構成できるように様々な機能を持つ。しかし、本研究の無線ネットワークシステムでは、旧センサノードと同様に、サーバを親機とするスター型ネットワークを形成するため、ZigBee の機能は余計である。特に、本システムで多用するブロードキャストは、連続送信する回数が制限されており、数秒間で数 100 回ブロードキャストすることが困難である。そこで、ZigBee の NWK 層は使用せず、IEEE802.15.4 の物理層と MAC 層にアプリケーション層を乗せたものを使用する。これにより、ブロードキャストの回数制限を取り払った。

b) CPLD

図-6 の CPU 割り振りを実現するためには、観測した GPS データを外部 ROM に保存し、SH7144F は起動後にその保存されたデータを読み込むことになる。観測・受信した GPS データは TWE-001 を通じて保存されるため、外部 ROM には 2 つの CPU からアクセスする必要がある。そこで、図-7 のように、CPLD を外部 ROM に接続する CPU の切り替えスイッチとして使用する。これにより、SH7144F を起動することなく、GPS 衛星の観測、データの保存を行うことができる。外部 RAM に関しても同様に、CPLD を中継する。

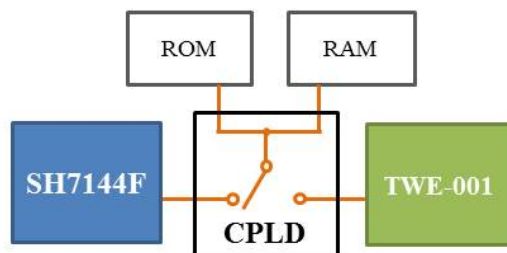


図-7 CPLD のイメージ

5. 実証実験

前章では、新しく開発したハイブリッドセンサノードについて述べた。本章では、ハイブリッドセンサノードによる相対位置測位実験を行い、GPS 無線センサネットワークシステムが想定通りに稼働することを実証する。3. 章で述べたように、本研究では、数 cm の精度で測位すること、30 分以内に全てのノードから測位データを集めることを目指している。本実験においても、この目標を達成することが目的である。

実験は、慶應義塾大学矢上キャンパスの 14 棟屋上にて行った。14 個のセンサノードを図-8 のようにグリッド状に配置し、アンテナは全てコンクリート床に直接

設置した。図-8のノード横に記載した番号は、ネットワーク ID である。ネットワーク ID はセンサノードがネットワークに接続したときに、親機から割り振られるものである。本実験では、GPS 観測時に割り振られる ID としても使用した。相対位置は巻尺で計測し、この実測値を真値として解析結果と比較した。実験の様子を図-9に示す。

実験では、宮崎 (2010) において旧センサノード用に開発された GPS センサネットワークシステムを、ハイブリッドノード用に移植したものを使用した。ただし、先述したように、サーバの ID 割り振り機能は使用せず、ネットワークが持つ機能を使用した。サーバも同システムで使用されたソフトウェアを導入し、MU-1 のコマンドで作動するようにプログラムを組み込んだ TWE-001 をパソコンに接続したものを使用した。

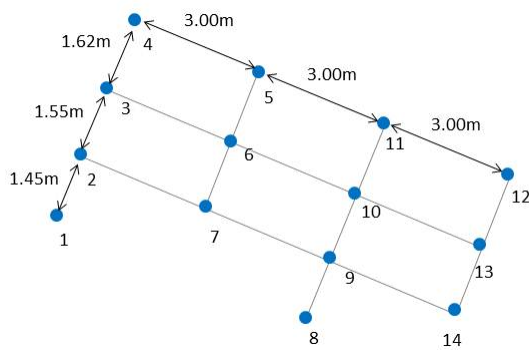


図-8 実証実験 センサノードの配置



図-9 実験の様子

測位解析の結果から、 x 座標 (参照点を基準とした真東の距離) と y 座標 (参照点を基準とした真北の距離) をプロットしたものを図-10に示す。ここで、 z 座標 (参照点を基準とした真上の距離) は 10cm 未満のため無視できるものとした。本システムでは、参照点はセン

サノードが観測した衛星数によって決定されるが、今回は、ID14 以外のセンサノードにおいて観測衛星数が 8 であり差が無いため、ID1 のセンサノードを参照点とした。

図-8 と図-10 を比較すると、実際の位置とずれることなく測位できたことが分かる。表-2 で詳細を見ると、実測値 (巻尺で計測した真値) との誤差は全て 5cm 以内である。

GPS 観測開始から、測位情報の収集までの所要時間は 9 分 36 秒であった。その内訳は、GPS 観測と GPS データ保存に 420 秒、参照点のデータ共有に 80 秒、相対位置の解析と情報集約に 46 秒である。データ共有の際にデータ欠損は発生しなかった。最後の 46 秒には、参照点のデータを外部 ROM に保存する時間 30 秒と、14 台目のノードが解析結果をサーバに送信するまでの待ち時間 6 秒が含まれるため、SH2 の稼働時間は最大でも 10 秒だと推定される。

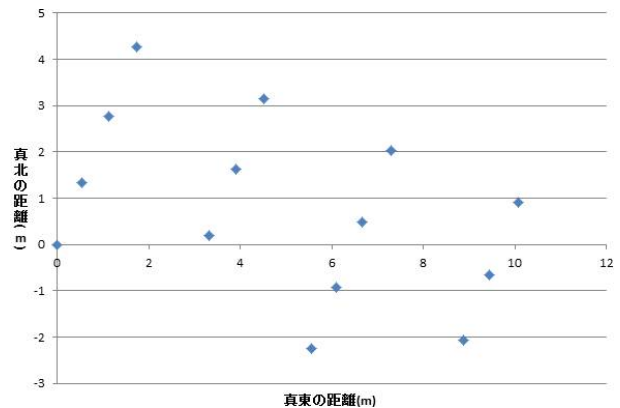


図-10 実験結果

表-2 相対位置 解析値と実測値の誤差

解析値(m)	実測値(m)	誤差(m)
1.430	1.450	-0.020
2.991	3.000	-0.009
4.616	4.620	-0.004
5.496	5.509	-0.013
4.216	4.243	-0.027
3.326	3.332	-0.006
5.991	6.000	-0.009
6.165	6.173	-0.008
6.670	6.708	-0.038
7.566	7.573	-0.007
10.116	10.117	0.001
9.472	9.487	-0.015
9.117	9.116	0.001

6. まとめ

都市部を襲う大規模地震発生時に家屋倒壊被害を把握するシステムを実用化するためには、社会基盤として長期間稼働させるべきであり、省電力化が必要である。これまでの GPS 無線センサノードは GPS 解析を可能とする演算能力は持っていたが、GPS 解析用 CPU である SH7144F の消費電力が多いことが問題であった。これを改善するために、省電力 CPU を追加し、処理に応じて CPU を切り替えるハイブリッドセンサノードを開発した。このとき、無線モジュールについても、より消費電力が小さいものに変更した。本論文では、旧センサノードからの改善点について示し、GPS 無線センサネットワークシステムを実装、測位解析を行った。その結果、システムの所要時間、解析精度共に、目標値を達成しながらも、全所要時間 576 秒のうち SH7144F の稼働時間を 10 秒に抑えた。

SH2 の稼働時間を短縮できたため、次は太陽電池による充電機能を実装する。また、平常時の都市環境や構造物の健全度を監視するシステムも開発しなければならない。特に、構造物の健全度を監視するシステムは、地震発生時に GPS 測位解析システムを起動するトリガーとしても今後検討していく。

参考文献

- 1) 宮崎知洋・小國健二・坂本尚葵・佐伯昌之: 大地震発生時の戸別倒壊状況把握のための GPS 無線センサネットワークの通信システムの開発, 応用力学論文集, Vol.13, 2010.
- 2) Andell Anees Alexander, Raymond Taylor, Vinujan Vairavanathan, Yao Fu, Ekram Hossain, Sima Noghanian: Solar-powered ZigBee-based wireless motion surveillance: a prototype development and experimental results, *Wireless Communications and Mobile Computing*, 8, 10, 1255-1276, 2008
- 3) Davide Brunelli, Clemens Moser, Lothar Thiele, Luca Benini: Design of a Solar-Harvesting Circuit for Batteryless Embedded Systems, *IEEE Transactions on Circuits and Systems-I: Regular Papers*, 56, 11, 2619-2528, 2009
- 4) Cesare Alippi, Romolo Camplani, Cristian Galperti, Manuel Roveri: A Robust, Adaptive, Solar-Powered WSN Framework for Aquatic Environmental Monitoring, *IEEE Sensors Journal*, 11, 1, 45-55, 2011
- 5) Masayuki Saeki, Kenji Oguni: MULTI-HOP POSITIONING Relative Positioning Method for GPS Wireless Sensor Network, *PECCS 2012 - International Conference on Pervasive and Embedded Computing and Communication Systems*, 361-368, 2012
- 6) 佐伯昌之・金子昌平・井上忠治: 静的・近接条件に特化した GPS 測位解析アルゴリズムの開発, 応用力学論文集, Vol. 10, 2007.
- 7) ルネサスエレクトロニクス株式会社 “SH7144”, http://documentation.renesas.com/doc/products/mpumcu/rjj09b0026_sh7144.pdf
- 8) 株式会社サーキットデザイン “MU-1”, http://www.circuitdesign.jp/jp/products/products2/doc/MU_1_1200_v32j.pdf
- 9) 東京コスモス電機株式会社 “JN-5148-001 Data Sheet”, <http://tocos-wireless.com/files/manual/JN-DS-JN5148-1v6.pdf>

(2012. 7. 7 受付)

Hybrid Sensor Node for GPS on Every Roof

Ichidai NAKAMURA, Tomohiro MIYAZAKI, Masayuki SAEKI and Kenji OGUNI

GPS on Every Roof is used for post-seismic building-wise damage detection. Wireless sensor nodes equipped with a GPS receiver are installed on the top of the roof. The displacement of the roof caused by the earthquake is measured. On-board analysis of GPS data reduces the amount of wireless communication data. However, the high-performance CPU which can perform double-precision arithmetic has a high energy consumption. Reduction of energy consumption is preferable because the sensor network should run as long as possible with limited energy supply. For this purpose, the new sensor node called “Hybrid Sensor Node” has two CPUs: the high-performance CPU and the low-power CPU. The high-performance CPU is used only for on-board GPS analysis. The low-power CPU is used for other tasks such as controlling the wireless communication module and the GPS receiver. The results from a field experiment show that the running time of the high-performance CPU is reduced 576sec to 10sec while achieving the target value of the required time and the positioning accuracy.