

センサネットワークにおけるキャリブレーション手法の検討 A Considering on Calibration Method for Sensor network

神田和也, ○伊藤孝浩

Kazuya Kannda, ○ Takahiro Ito

鶴岡工業高等専門学校

Tsuruoka National College of Technology

キーワード : センサネットワーク(sensor network), キャリブレーション(calibration), センサノード(sensor node), テストベッド(test bed), I²C通信(Inter-Integrated Circuit transmit)

連絡先 : 〒997-8511 山形県鶴岡市井岡字沢田 104 電気電子工学科
神田研究室 神田和也, Tel.:(0235)-24-9095, E-mail: kanda@tsuruoka-nct.ac.jp

1. はじめに

ネットワークが低コストで利用でき、かつ測定器がマイクロセンサとして生産されるようになり、今までより発展したセンサの用途が考えられている。センサは今までは工場内で単一の現象のみを計測し品質管理などに用いられてきたが、単一のパラメータでは判断できない複雑な現象を測定したり、動物に取り付けて温度や音等の情報からその生態を探るというような事が可能になってきている。他にも品質検査は工場出荷前だけだったが、工場の出荷後も劣化の検出をするといった利用法も考えられる。実際に使用していてどのように劣化するのかといった情報が集められれば、今後の製品改良で良い判断材料になる。また人間に取り付けて、移動する度にその場所に合った情報を提供すれば危険予測などに役立てられる。以上の例のように従来のように単独でセンサの機能を使うのでは

なく、センサ同士をつなぎ膨大なデータを収集して、その中から必要な場所で必要なときに情報を提供するという利用法が提案されている。まだ実際の使用例は少なく明確な用途は示せないが、他の技術との組み合わせにより無線センサネットワークは無限に広がりを持たせる事ができる。また、膨大な量の情報を必要とするユビキタス社会においても無線センサネットワーク技術は必要不可欠なものである。ユビキタス社会のユビキタスとは偏在するという意味で、センサがいたる所にあって常に情報を収集していなければ実現せず、センサネットワークは今後ますます必要とされていくと思われる。

しかし、現状では無線センサネットワークには課題も多い。位置同期や時刻同期、トポロジの構成、キャリブレーションなどが主な課題となっている。

本研究では、センサネットワーク上で解決す

るためのキャリブレーション手法を提案することを目的とする。

本稿では温湿度センサを搭載した16個のセンサ端末（以降、センサノードと呼ぶ）によるテストベッドを製作し、得られた実験結果を示す。さらに、キャリブレーション手法の検討結果について報告する。

なお、キャリブレーション方法について検討を行うため、時刻同期、位置推定されている有線式センサネットワークをテストベッドとした。

2. 無線センサネットワーク

無線センサネットワークとは非常に小型かつ省電力のセンサに無線通信端末を組み合わせることで実現されるネットワークである。このようなネットワークでは、無線端末同士が協調動作し、自律分散的に広範囲にわたるネットワークを構築する。そのために単にセンサを分散配置するだけでシステムを構築できるネットワークの敷設や拡張が、有線センサネットワークと比べ非常に簡単に行えるという利点がある。また自動でネットワークを構成するので移動する観察対象への応用も可能である。センサネットワークの主要構成要素は、通信機能を持ったセンサと多数のセンサ情報を収集し管理し処理する管理端末、そしてセンサ情報をインターネットなどの他の有線ネットワークと通信する機器である。無線センサネットワークの概念図としてMOTE（CROSSBOW社製評価・実験用キット）の全体図を図1に示す。

3. 計測上の課題

3.1 主な課題

実社会での無線センサネットワークの用途を考えると

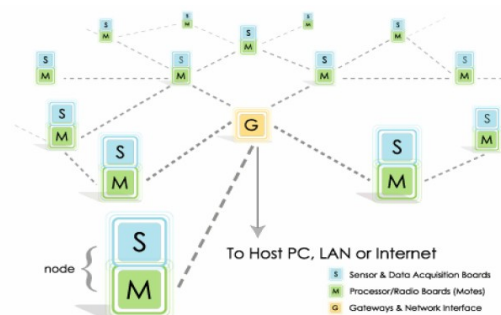


図1 センサネットワークの概要

- 時刻同期がとれない事
- 位置推定ができない事
- トポロジの最適配置
- 消費電力と電池寿命
- データのばらつきとキャリブレーション等、解決しなければならない課題がある。

センサノードが取得した情報に同期のとれた時刻情報が付加されれば、データ処理により冗長性を削除でき、位置情報と組み合わせて移動速度も計算できる。各ノードの位置情報を取得することを位置推定という。面的な情報をセンサで収集したいときは位置情報の付加が必須であり、位置に依存したサービスの提供をすることやデータを集約することも可能になる。

インターネットはアドレスでネットワーク上の位置が指定できたのに対し、センサネットワークでは他のノードとの実際の距離が必要になる。

現段階ではセンサは個々に時計を内蔵しているが、無線センサネットワーク全体で共通の時刻基準が確立できていない。無線センサネットワークにおいて時間を利用するとなれば共通の時刻が必要である。

また、無線センサネットワークでは、インターネットと違い信頼性やスループットに重点を置くよりも、省電力に重点をおいて、ネットワークの構築が行われる。つまり最適配置される。これはセンサの電源が物理的に管理できず、バッテリーの寿命がセンサの寿命と考えられているからである。バッテリーの寿命がセンサの寿命

に直結するので消費電力をいかに抑えるかはハード面での大きな課題である。

センサから正しいデータを常に得るためには、キャリブレーションを行い誤差を修正する必要がある。キャリブレーションとは計測器具の偏りを基準量によって正すことである。センサは本来、自身の内部に持つ基準値との比較で対象の物理量を測定するが、何らかの理由によりこの基準値が誤差を含んだ場合修正しなければ正確な情報が得られない。センサを単一で使用している場合には1つ1つを手作業で修正すれば良いがセンサの数が数百、数千ともなるとそうはいかない。また、キャリブレーションを行うためには、まずその測定する現象について基準となる値が必要であるが、複数センサそれぞれが内部基準をもって測定を行うので差異が生じている。センサネットワークでは同一の現象を計測している複数のノードが収集した情報に差異があるときでも、最終的な出力は1つにしなければならない。MICA2 (CROSSBOW 社製 MOTE のセンサノード) で一様な環境下で同じ対象を測定した結果、図2からも明らかなように個々のノード毎に測定値に差異が生じてしまっていた。

3. 2 キャリブレーションの定義

一般的なキャリブレーション (校正) とはセンサ内部の測定基準を正しい出力となるように修正することである。キャリブレーションを行うためには、まずその測定する現象について基準となる値が必要であり、一般には外部の基準値と比較する。本稿ではセンサネットワークを1つの測定系として捉え、その中で基準値を導き出し、測定値を系の基準値に近づけることをキャリブレーションと定義する。

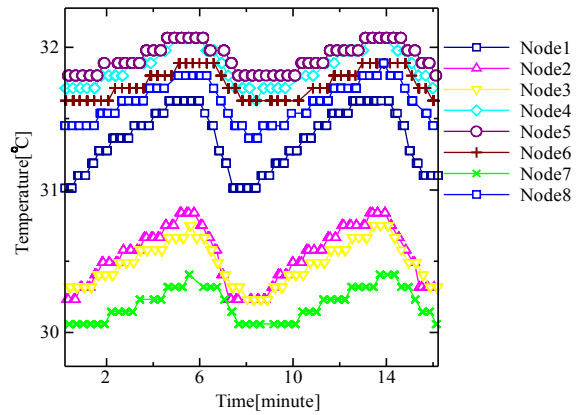


図2 MICA2による恒温槽内の温度測定

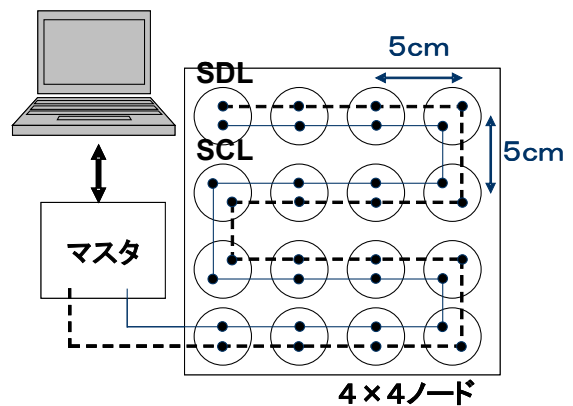


図3 テストベッドの概観

4. 有線式センサネットワークの設計・製作

4. 1 テストベッド

センサノード内で簡便なプログラムによる処理で行うキャリブレーション手法の検討を行うため、マイコン PIC16F88 を使って有線のテストベッドを設計・製作した。センサノードは16個製作した。PIC16F88の通信機能を用いてネットワークを構成し、温湿度センサ SHT11(Sensirion 社製、温湿度センサ)により温度データを取得し、これをセンサデータとした。

PIC16F88のI²C通信によるセンサノードとマスタ間の通信は通信速度が100[kbps]なので4Byteのセンサデータの送受信では1ノード当たり約0.32[ms]を要する。また、温湿度センサ

SHT11 が 14bit 温度データを取得するには 210[ms]を要するが今回はこれらの時間の誤差を考慮せず、同時刻にセンシングしているものとした。

4. 2 マイコン

本研究では提案する手法を検証するためのテストベッドを PIC（米国 MMicrochip Technology 社製）を用いて製作する。PIC は汎用的なマイコンで、多くの分野で採用されている実績のあるマイコンである。使用した PIC マイコンはタイマ機能やシリアルインターフェース機能、A/D 変換機能などさまざまな機能を内蔵しており、簡単な回路構成でさまざまな機能を実現する。また集積化技術の向上により現在では大容量のプログラムメモリが内蔵されるようになったため、C 言語によるプログラムも実用的になった。今回はセンサ端末および端末と PC との通信に PIC16F88 を用いた。16F88 は内部発信回路を持っており、周辺回路をほとんど必要としない。また 16F88 はフラッシュ ROM と SRAM の容量が大きくプログラムが複雑になっても十分対応できることから採用した。プログラムは C 言語で記述し、クロスコンパイラ（CCS 社製）を用いて開発を行った。

4. 3 センサ

今回製作したセンサノードには、スイスのデジタル温湿度センサ SHT11(Sensirion 社製)を使用した。SHT11 はセンサとアナログ回路、A/D 変換、メモリ、インターフェース回路がシングルチップ上に形成されており、2 線式のデジタルインターフェースからデジタル出力で相対湿度と温度データを得ることができる。信号増幅回路等の周辺回路の必要が無く、端末をシンプルにできることから採用することにした。センサの仕様を表 1 に示す。

表 1 Sensirion SHT11 仕様

項目	Sensirion SHT11	
	温度	湿度
レンジ	-40 ~ 80 [%]	0 ~ 100 [%]
誤差	± 0.5 [%]	± 3.5 [%RH]
分解能	14 bit	12 bit
動作電圧	2.4 ~ 5.5 [V]	
出力方式	2 線式 デジタル	

5. 実験

5. 1 実験環境

実験は恒温槽により温度を一定に保った状態で行った。使用した恒温槽（三洋電機社製 MIR-153）の制御では±0.2°Cの温度変動があり、影響を回避するため槽内温度が 25[°C]になったら電源を切り、測定を開始した。なお、25[°C]はセンサデータの誤差が最小になる温度である。測定時間を 10 分間としたので保温性の高い恒温槽内であれば温度変化はほとんどないと考えられる。恒温槽内のセンサノードの配置は図 3 に示したように 5 [cm]等間隔で 4×4 の正方形配置とした。

5. 2 実験結果

製作した有線式センサネットワークを用いて恒温槽内の温度を測定した。恒温槽内での実験結果を図 4、図 5 に示す。

図 4、図 5 から見てとれるように平均して 1.5[°C]程度の誤差がある事がわかる。温度センサの誤差が 25[°C]に対して、±0.5[°C]程度あるとしても誤差が大きすぎるといえる。

6. キャリブレーション手法の提案

手法を提案するうえで、センサノードは、配置密度が高く、位置特定済みであり、時刻同期がなされているものと仮定する。また使用するセンサにはヒステリシスが無いものとする。

キャリブレーションの基本的な考え方としては、複数のセンサノードをひとつの計測系として捉え、系の中でもっとも真値に近い値が求まるように各センサノードのばらつきを取り除くことである。つまり絶対値を真値に近づけるのではなく、系の中で1つの基準値を定め、それに全ノードの測定値を収束させる。相対的に基準値を決定すれば系の中のセンサが破損や、経年変化などしてしまった場合にも適用できる。測定値の絶対値に意味はなくなるが、系の中の温度変化を感知するためには十分である。

具体的には同時刻のセンサデータから平均値を算出し、これと各ノードのセンサデータの差を補正值とする。これを一定時間ごと繰り返す方法を考えた。

補正を適用した場合の実験結果を以下の図5、図6に示す。

比較のため図6、図7の縦軸はそれぞれ図4、図5の縦軸と同じにしてある。全ノードにおいて測定値が大体25.3[°C]の値に収束している事がわかる。ただ、センサごとのばらつきのためセンサデータが完全に一致しているとは言えない。

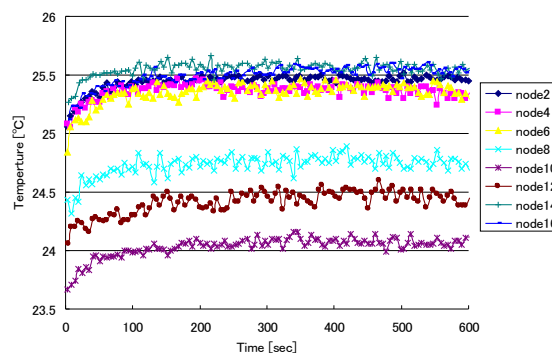


図4 恒温槽内の温度 (node2-16)

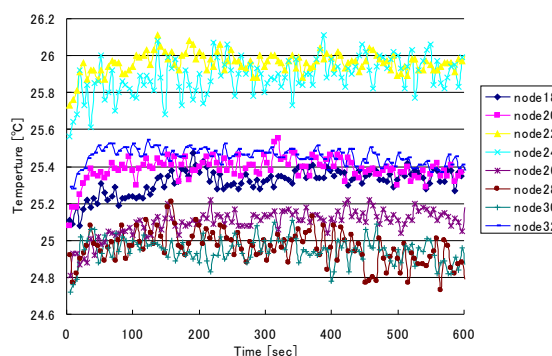


図5 恒温槽内の温度 (node18-32)

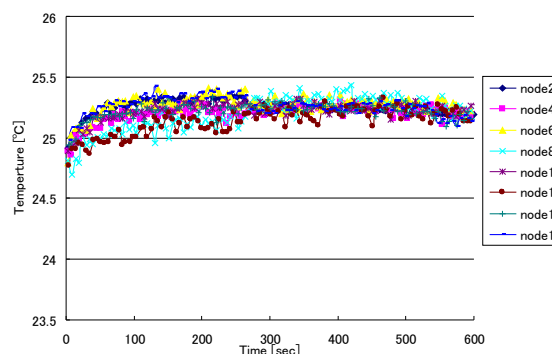


図6 補正した恒温槽内温度 (node2-16)

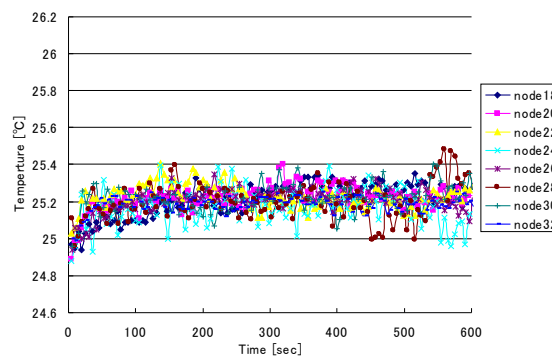


図7 補正した恒温槽内温度 (node18-32)

7. おわりに

今回の実験では16個のセンサノードで構成したテストベッドを用いて恒温槽内の温度データを測定し、センサデータにばらつきがあることを確認した。また、平均値を基準値としてノード個々の測定値を収束させる事ができることを確認した。

今後は基準値算出の方法を、前回の基準値を考慮して補正を算出するような方法に改良したい。また、キャリブレーションの効果を検証するために、温度分布が一様な状態で、ある一点に外部から熱源による刺激を与え、温度分布のシミュレーションを行い、実測値と比較したい。