

快適環境構築のための室内空間モニタリングシステムに関する研究

長坂 康史*・秦 祐輔**

(平成24年10月31日受付)

A study on a room space monitoring system for creating a comfortable environment

Yasushi NAGASAKA and Yusuke HATA

(Received Oct. 31, 2012)

Abstract

A lot of network technologies are developed to create a better life. The smart house is one of good examples. A control of power supply is well performed in such a house. It is very important to control it, but cannot create a comfortable environment. We, therefore, developed a room space monitoring system with using SunSPOT device to sense temperature and humidity and embedded computer to display measurement data. We developed the room space monitoring system and also focused on battery life of the sensor and proposed a control method to make it longer. The proposed method results 6.5% longer of a battery life at the maximum.

Key Words: room space monitoring system, smart house, battery life

1. はじめに

ネットワーク技術の発展により、人と人、人とモノ、モノとモノがネットワークによって繋がるユビキタスネットワーク社会が提唱された。そして、住宅内の家電製品などがホームネットワーク^[1]によって繋がれることで、機器同士で制御し合うことも可能になった。これらのことにより、消費電力の節約や快適な生活空間を提供することができるスマートハウスが近年注目を集めている。このスマートハウスは、室内に取り付けたセンサから収集したデータを基に、家電製品などの組込み機器を管理、制御する。また、モニタリングも行うことが多いが、これまでのモニタリングシステムは室内環境のデータのみを集めるものがほとんどで、その環境に人がいることは考慮されていない。

そこで、本システムでは、室内環境と人の行動状態を組み合わせて統合的に把握できる室内空間モニタリングシステムの開発を行った。室内及び人に取り付けた無線センサネットワークデバイスから、データを取得し、生データの

他に複数データを組み合わせて、コンテキストウェアネスを実現する。取得したデータは、Web ページや組込み機器を用いて可視化する。また、無線センサネットワークデバイスは人にも取り付けるため、バッテリー駆動型を選択しており、駆動時間に限りがある。そこで、無線センサネットワークデバイスの電波強度をノード間の距離に合わせて適切な値に設定することで、バッテリーの節約を行う。

2. システム概要

2.1 システム構成

本研究の室内空間モニタリングシステムは、センシングシステム、データサーバシステム、モニタリングシステムの3つのシステムで構成される。本システムの構成図を図1に示す。センシングシステムでは、室内及び人に取り付けた無線センサネットワークデバイスを用いてデータ収集を行う。取得したデータは、ネットワークを介してデータサーバシステムに格納される。格納されたデータは、モニ

* 広島工業大学情報学部情報工学科

** 広島工業大学工学系研究科情報システム科学専攻(現 株式会社日立情報システムズ)

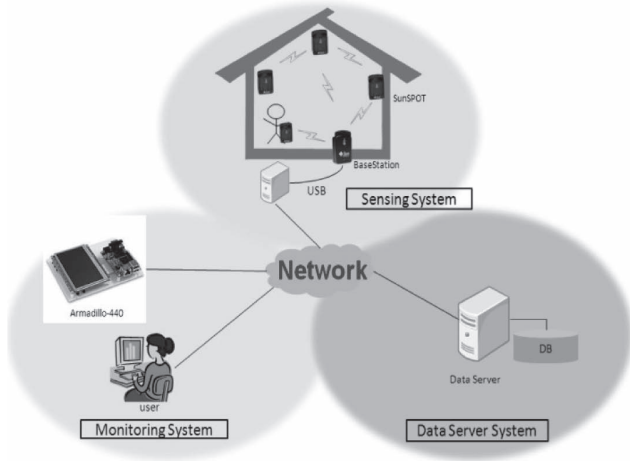


図1 システム構成

タリングシステムにて Web ページや組み機器上で可視化を行い、室内空間や人の行動状態を把握する。

2.2 使用機器

センサデバイスには、Oracle 社の無線センサネットワークデバイスである SunSPOT を用いる。この SunSPOT のセンサボードには、温度、照度、3 軸加速度センサと 8 個の 3 色 LED、タクトスイッチなどが搭載されている。また、本システムでは湿度も測定するため、入出力インターフェースに湿度センサを取り付けた。湿度センサを取り付けた SunSPOT を図 2 に示す。プロセッサボードには、IEEE 802.15.4 に準拠した無線ネットワークを搭載している。これは Zigbee と呼ばれ、低消費電力が特徴で、通信距離は数十メートル程度の規格である。また、SunSPOT は、自動的にメッシュネットワークを形成し、無線通信を行う^[2]。データ受信は、SunSPOT のセンサボードが搭載されていない BaseStation と呼ばれる機器で行う。

組み機器にはアットマークテクノ社の組み機器 Armadillo-440 を用いた。液晶付きの小型汎用 CPU ボードで、タッチパネル液晶インターフェースを搭載しており、小型であることからハンディ端末として使用することも可能である。OS には、組み OS の一つである Microsoft 社の Windows Embedded Compact 7 を導入した。この機器を用いて、データサーバシステムにアクセスし、データの可視化を行う。



図2 SunSPOT

3. 室内空間モニタリングシステム

3.1 センシングシステム

本研究で開発したセンシングシステムは、室内環境の測定を行う室内環境センサ、人の行動状態を測定する行動状態センサの 2 種類のセンシングシステムで構成される。室内および人に取り付けた SunSPOT で取得したデータは、BaseStation に送られ、データサーバシステムにデータを格納する。また、SunSPOT はバッテリー駆動型であるため、駆動時間の問題がある。これを解決するために、デバイス間の距離に合った適切な電波強度の設定を行い消費電力の節約を行う。

3.1.1 室内環境センシング

室内に取り付けた SunSPOT から、温度、照度、湿度、3 軸加速度のデータの取得を行う。また、取得したデータから、温度と湿度を組み合わせて不快指数を求める。

不快指数とは、蒸し暑さを表したものである。人が暑さ感じるのは、ほとんど気温によって決まるが、その場の環境の不快感を抱くのは温度、湿度の 2 つの状況によって異なる。この不快感、不快指数 DI として表すことができ、温度 T (°C)、湿度 H (%) から式 (1) で求められる。

$$DI=0.81T+0.01H(0.99T-14.3)+46.3 \quad (1)$$

この不快指数の値が70のとき、一般的に人間は快適と感じ、快適環境が実現されていると考えられる。この値より低ければ寒いことで不快を感じ、高ければ暑いことで不快に感じることを示している。また、値が大きくなるほど高温多湿であることを示し、不快指数が85以上になると9割の人が蒸し暑いと感じる環境であることを示す。これにより、室内温度に対して快適な空間環境であるかを把握できると考える。

3.1.2 行動状態センシング

SunSPOT を人の右側の腰に取り付け、3 軸加速度センサを用いて行動状態の識別を行う^[3]。腰に取り付けることによって、生活面でも邪魔にならず、加速度を効率よく取得できる。

図 3 は、右腰に取り付けた 3 軸加速度センサを使い、(a)

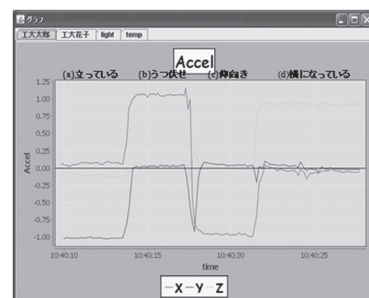


図3 4つの各状態の3軸加速度の値

立っている, (b) うつ伏せ, (c) 仰向き, (d) 横になっている状態の時に取得したデータをグラフに示したものである。

この図を見てわかるように, それぞれの状態は三軸の変化によって見分けることができると考えられる。そこで, (a) から (d) の各状態を識別する3軸の識別範囲を表1に示す。

これらの条件から, 3軸加速度センサで取得したデータで4つの行動パターンを識別し, センサを取り付けた人の行動状態を把握することができる。

表1 各状態の3軸加速度の識別範囲

状態	x 軸	y 軸	z 軸
(a)	-0.4~0.4	~-0.6	-0.3~0.6
(b)	0.7~	-0.3~0.3	-0.4~0.2
(c)	~-0.7	-0.3~0.3	-0.3~0.3
(d)	-0.3~0.3	-0.3~0.3	~-0.8 or 0.6~

3.1.3 電波強度設定

バッテリー駆動型の無線センサネットワークデバイスは, できるだけ長く駆動させる必要がある。SunSPOTは, できるだけ長く駆動させる必要があり, 最大電波強度で通信を行う。そこで, SunSPOTの消費電力をなるべく抑えるため, デバイス間の距離に合った適切な電波強度を求めた。

SunSPOTは, -3~-13, -15, -17, -19, -22, -25, -30, -31, -32 dBの19通りの電波強度の設定が行える。これらの電波強度に設定した場合の通信距離を測定した。各電波強度の通信距離測定の結果を図4に示す。

測定結果より, -30, -31, -32 dBでは通信距離が1m未満であることがわかった。そのため, SunSPOTの電波強度設定は-25~-3 dBの範囲で行う。そして, この各電波強度は, それぞれの電波強度で, 平均受信率90%以上である距離の閾値があり, それぞれの閾値を境に急激に平均受信率が低下していくことがわかった。そこで, デバイス間の距離に合った適切な電波強度は, 平均受信率90%を越え, かつその距離の電波強度の最小値であると考え,

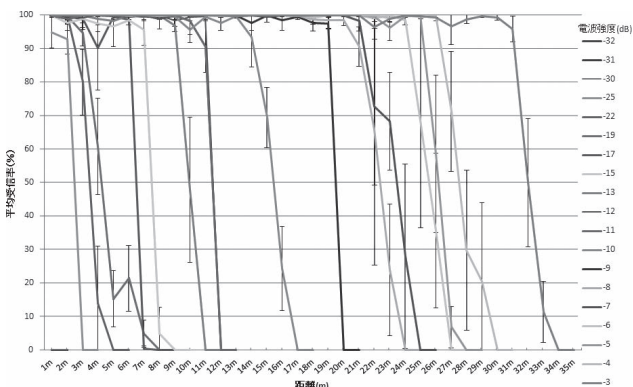


図4 各電波強度の通信距離測定結果

デバイス間の目標電波強度とした。例えば, 図4からわかるように, 18mの目標電波強度は, -9 dBとなる。

次に, 上記で求めたデバイス間の距離に合った目標電波強度に自動で設定できるように, Type1とType2の2つの方法を提案し, 開発を行った。

Type1は, SunSPOTの最小電波強度 -25 dB から最大電波強度 -3 dB まで一段階ずつ上げていき, 最初に BaseStation にデータが届いた電波強度で設定を行うものである。

Type2は, SunSPOTの電波強度最小値 -25dB から最大電波強度 -3 dB まで一段階ずつ上げていき, BaseStation にデータを送る処理を10回繰り返す。そして, BaseStation にデータが届いた電波強度のカウントを行い, 受信率9割かつその電波強度最小値で設定を行うものである。

Type1とType2のそれぞれの違いは, 電波強度を設定するのにかかる時間と送受信の信頼性である。Type1とType2は共に, 0.3秒の間隔でデータを BaseStation へ送っている。Type1の設定時間は, 最小約0.4秒であるのに対して, Type2では, 約58秒かかる。また, Type1は, 最初に受信した電波強度で設定を行うため, 目標電波強度よりも低い電波強度で設定される可能性があるが, Type2では, 各電波強度で10回ずつ送信するため, 信頼性の高い電波強度に設定できると考える。

SunSPOTの電波強度データの送信は, dBsetsendThreadで行い, 電波強度の設定は, dBsetrecvThreadで行う。電波強度設定 Type1の流れを図5に示す。

最初に BaseStation を起動して, port61でプロトコルの設定を行う (1)。設定ができれば SunSPOT から送られてく

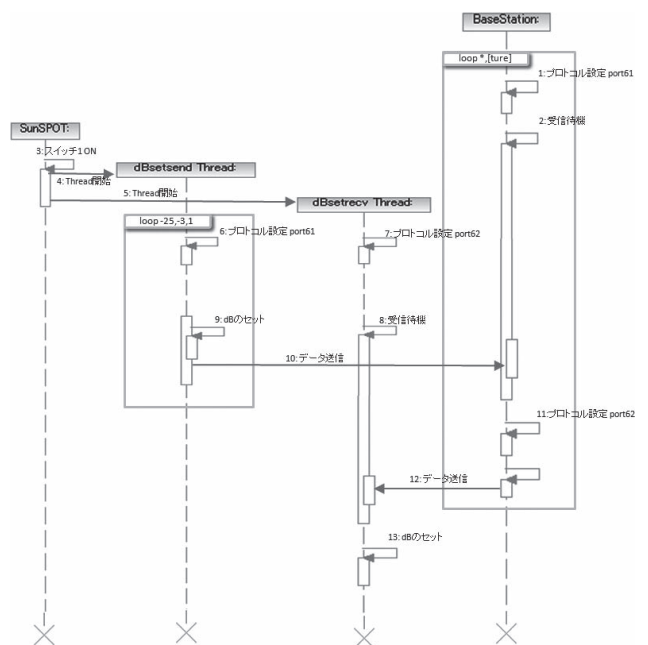


図5 電波強度設定 Type1のシーケンス図

るデータに対して、受信待機状態に入る (2)。

BaseStation が受信待機状態であることを確認し、SunSPOT のタクトスイッチ 1 が押されると (3)、dBsetsendThread と dBsetrecvThread が開始される (4) (5)。

dBsetsendThread は port61 でプロトコル設定を行う (6)。dBsetrecvThread も port62 でプロトコル設定を行う (7)。設定後、dBsetrecvThread は BaseStation から送られてくるデータに対して受信待機する (8)。dBsetsendThread は、-25 から -3 dB の 19 通りの電波強度を設定し (9)、順に BaseStation へ broadcast で自身の電波強度データを送信する (10)。BaseStation が SunSPOT の電波強度データを受信すると、Port62 でプロトコル設定を行う (11)。設定できたら受信した電波強度データを dBsetrecvThread へ broadcast で送信する (12)。受信に成功すれば、受信した電波強度データでセンシングデータを送信する電波強度の設定を行う (13)。以上でデバイス間に合った電波強度の設定が完了する。

3.2 モニタリングシステム

モニタリングシステムでは、データサーバシステムに格納されたデータの可視化を行う。Web ページでは、室内空間の情報を Open Flash Chart を用いて Flash ベースで表示した。また、描画されたグラフにカーソルを合わせることで、生データを表示する工夫をした。図 6 にその Web ページを示す。

行動状態ウィンドウでは、SunSPOT を取り付けた人の 4 つの行動状態をリアルタイムで把握することができる。また、立っている状態から、倒れた場合に警告ウィンドウを表示させた。これを利用することで、例えば地震が起こった場合などに、室内環境と人の行動状態とを同時に見ること、室内の状況を統合的に把握することができるようになる。

また、組み込み機器である Armadillo-440 でもデータの表示を行った。これは、ハンディ端末であることから、持ち

運びも容易であり、室内に置いておいても邪魔にならない。現在は、簡単なデータの表示のみであるが、Windows Embedded Compact 7 を用いることで、Windows と同等な考え方でシステムの構築ができるほか、Armadillo-440 から室内空間の管理を行うこともできるようになる。

4. 性能評価

バッテリー駆動型である SunSPOT の消費電力をなるべく抑えるため、デバイス間の距離に合わせて適切な電波強度に設定できているか実環境で測定を行った。BaseStation から SunSPOT の距離を 1~10 m まで 1 m の間隔で、10 回ずつ各距離でどの電波強度が設定されたか測定を行った。電波強度設定 Type1 の測定結果を図 7、電波強度設定 Type2 の測定結果を図 8 に示す。

Type1, Type2 ともに、目標電波強度または近似値に設定されたことがわかる。Type1 の場合は、目標電波強度の他に最大で 3 つの電波強度が設定されており、また、目標電波強度よりも低い電波強度が設定されたことを確認した。これは、デバイス間で安定して送受信が行えないことが想定されるが、設定時間最小約 0.4 秒で設定できるため移動体デバイスである行動状態センシングに最適と考える。Type2 の場合は、目標電波強度の他に 1 つの電波強度が設定され、安定して送受信が行えると考えられる。よって、Type2 は室内環境センシングに最適と考える。

この測定結果から、各距離で設定された電波強度と目標

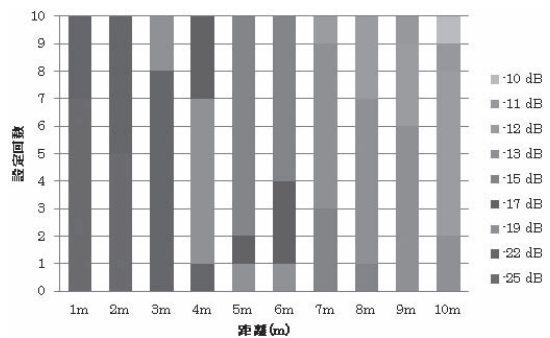


図 7 電波強度設定 Type1 の測定結果

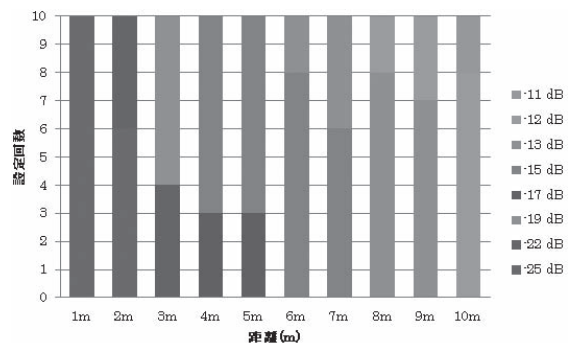


図 8 電波強度設定 Type2 の測定結果

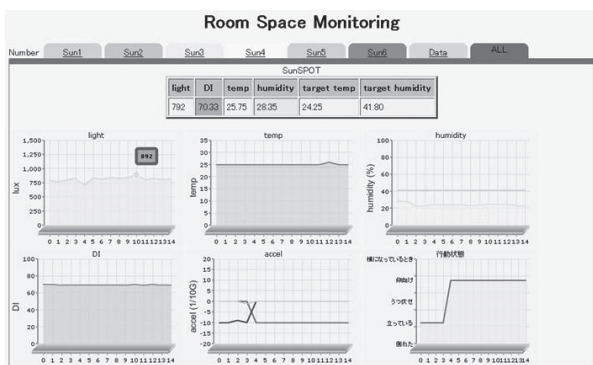


図 6 室内環境モニタリング Web ページ

表2 駆動時間測定結果

電波強度	駆動時間
-3 dB	12時間29分46秒
-13 dB	12時間52分2秒
-25 dB	13時間18分49秒

電波強度との差は、 ± 2 段階と近い電波強度が設定され、駆動時間の増加が可能となった。

次に SunSPOT の駆動時間の測定を行った。電波強度は最大の -3 dB、本システムの間電波強度にあたる -13 dB、本システムの最小電波強度の -25 dB で測定を行った。表 2 に駆動時間の測定結果を示す。電波強度 -25 dB と最大電波強度である電波強度 -3 dB の駆動時間を比較すると、電波強度を低く設定することで 49 分 3 秒駆動時間の延長ができることがわかる。

また、-13 dB と -25 dB の駆動時間を比較すると、26 分 47 秒の差がある。このことから、-13 dB から -25 dB までは電波強度差が 12 dB あり、1 dB 下げていくにつれて約 133.92 秒ずつ延長できることがわかる。-3 dB と -13 dB の場合では、22 分 16 秒の差があり、1 dB 下げていくにつれて 133.6 秒ずつ延長できることがわかる。この 1 dB ずつ下げていくことによる駆動時間の差は、0.32 秒と小さく、比例関係にあると考えられる。このことから、-3 dB から -25 dB では 1 dB 下げていくにつれて、平均 133.77 秒ずつ長くなることがわかり、SunSPOT の駆動時間の予測が可能になった。

5. まとめ

本研究では、無線センサネットワークデバイスである SunSPOT からデータ収集を行い、快適環境の構築を支援するシステムに関する研究を行った。

室内環境センシングでは、取得したデータを可視化するだけでなく、複数データと組み合わせて、不快指数を求めた。行動状態センシングでは、人の腰に SunSPOT を取り付け、3 軸加速度センサから 4 つの行動状態を識別することができた。また、SunSPOT の消費電力を抑えるため、デバイス間の距離に合わせて適切な電波強度で通信が行えるよう開発を行った。電波強度設定の測定結果より、目標電波強度からの差は ± 2 段階となり、最大で 49 分 3 秒の駆動時間の延長ができた。

文 献

- [1] 松浦, 田頭, 北須賀, 中西, 福田:「ホームネットワークのためのセンサ連携を支援するイベント型フレームワーク」, 電子情報通信学会論文誌 B, Vol. J92, No. 7 (2009).
- [2] 内藤, 江原, 森, 小林:「SunSPOT を用いたフィールドネットワークの試作」, 電子情報通信学会技術研究報告, 109 (204), pp. 73-78 (2009).
- [3] 秦, 長坂:「SunSPOT を用いた老人介護施設支援システム」, 情報科学技術フォーラム講演論文集 9 (4), pp. 415-416 (2010).