

微弱無線センサーネットワークシステム ComPass

－ センサーネットワークシステムの全体構成

池田 剛^{*1} 井上 豊^{*1} 山本 潔^{*1} 幸島 明男^{*1} 山下 倫央^{*1} 車谷 浩一^{*1}

^{*1}独立行政法人 産業技術総合研究所 情報技術研究部門 / 科学技術振興機構 CREST

〒135-0064 東京都江東区青海 2-41-6

E-mail: ^{*1}{ ikeda-takeshi, yutaka.inoue, kiyoshi.yamamoto, sashima-akio, tomohisa.yamashita, k.kurumatani }@aist.go.jp

あらまし 環境内に設置されたセンサーノードを用いて人や環境の物理的状態を見守るシステムにおいて、無線センサーネットワークの構成手法、すなわち通信方法・通信プロトコルの設計、ハードウェアとソフトウェアの役割分担、省エネルギー設計などは重要な問題である。しかしながら、多くの既存ノードデバイスは汎用的機能を重視しているために、必ずしも実環境に適応した設計がなされていないこともある。そこで本研究では、ComPass と呼ばれる無線センサーネットワークシステムを提案する。ComPass ノードデバイスはシンプルな構成の微弱無線通信モジュールであり、たとえば屋内空間での位置推定などのアプリケーションを想定し、実環境において実用に供することを目標に設計されている。すなわち、乾電池駆動も可能な低消費電力であり、かつ、シンプルな構成によって低コスト化も図っている。一般に低コストのハードウェアでは信号ビットレートの自動認識やデータ補正などは困難であるが、ComPass ノードではこれらの処理の一部をソフトウェアにて実装することによりハードウェアの単純化とコストの削減を実現した。本稿ではまず無線センサーネットワークと関連研究について述べた後、ComPass ノードのハードウェア概要について述べる。そして、次に ComPass ノード間の通信プロトコル、プロトコルスタック、無線送受信処理などの組み込みソフトウェアのアーキテクチャーを示す。最後に ComPass 無線センサーネットワークシステムを適用した、スマートフォン上での屋内自律型測位システムについて述べる。

キーワード センサーネットワーク、無線センサーネットワーク、通信プロトコル、プロトコルスタック、微弱無線、測位

ComPass: An Extremely Low Power Wireless Sensor Network System - Design of the Sensor Network System

Takeshi IKEDA^{*1}, Yutaka INOUE^{*1}, Kiyoshi YAMAMOTO^{*1}, Akio SASHIMA^{*1},
Tomohisa YAMASHITA^{*1} and Koichi KURUMATANI^{*1}

^{*1}ITRI, National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST) /

CREST, Japan Science and Technology Agency (JST)

2-41-6, Aomi, Koto, Tokyo 135-0064, Japan

E-mail: ^{*1}{ ikeda-takeshi, yutaka.inoue, kiyoshi.yamamoto, sashima-akio, tomohisa.yamashita, k.kurumatani }@aist.go.jp

Abstract In development of the system that watches over humans and physical statuses using numerous wireless sensors, it is important how to design the sensor nodes and how to construct networks of the nodes. Although many studies of wireless sensor networks have been proposed before, most of the studies focus on designs of general-purpose sensor networks. Thus, facilities of the nodes are redundant and not always suitable for an environment where it requires low cost and low power consumption networks. Rethinking practical use of the sensor networks, we propose an extremely low power wireless sensor network system called ComPass. It is designed for practical application services in everyday environments, such as indoor position estimating services. A ComPass node device realizes automatic bit rate detection and data complementation by software so as to achieve simplification and cost reduction of the device. In this paper, first, we describe overview of the wireless sensor network and related works. Second, we describe ComPass, hardware of the node and software architecture: communication protocol, protocol stack and wireless transmission processing. Last, we describe a practical indoor position estimating system as an application of the ComPass system.

Key words Sensor Network, Wireless Sensor Network, Communication Protocol, Protocol Stack, Extremely Low Power Radio Device, Positioning System

1. まえがき

近年、比較的大規模な建物内の状態把握などを目的として、人や環境の物理的状態を見守るセンサーシステムへの需要が高まっている。たとえば無線 LAN 上に配置されたカメラデバイスによる監視システムなどはすでに実用化されソリューションとして提供されており、室内の温度・湿度・照度・動きなどをセンシングするシステムも多い。これらのセンサーネットワークシステムでは、その通信手段として無線通信を用いる無線センサーネットワーク

(Wireless Sensor Networks) が用いられることも多く、このネットワーク形態はこうした見守りシステム、さらにはサービスまで含めたユビキタスコンピューティングのためのインフラストラクチャーの一つとして期待されている。そこで、本研究では、このような人や環境の物理的状態を見守るセンサーシステムのための無線センサーネットワークとはどのようなものであるべきかを検討する。そして、実用性を指向した無線センサーネットワークシステム ComPass (以下、ComPass システム) を構築した。実用指向の設置可搬性の高いシステムを実現するために、ComPass システ

ムでは独自のノードデバイスを開発した。このノードデバイスは後述の微弱無線通信を用い、さらにスリープ時間を調整することにより低消費電力を実現している。また、組み込みソフトウェアはシンプルなハードウェア構成を最大限に引き出せるように不要な機能は極力排除したコンパクトなアーキテクチャーを設計した。微弱無線通信によるセンシングデータの通信プロトコルについても、コンパクトでありながら実効性の高いデータ形式となるように設計した。

本稿では、最初に無線センサーネットワークに用いられるノードデバイスの構成要素とそれに関する関連研究について述べ、次に実際に構築した無線センサーネットワークシステム ComPass についてその全体像を示し、さらに本システムで新規開発したノードデバイス“ComPass Node Version-1”についての設計概要を述べる。最後に、屋内自律型位置測位システムの実証実験における ComPass システムの適用事例を示す。

2. 無線センサーネットワークシステムとノードデバイス

本節では、まず、無線センサーネットワークに用いられるノードデバイスの設計に際し考慮すべき要素について、背景となる関連研究を交えながら述べる。

2.1. 無線センサーネットワークに用いられるノードデバイス

無線センサーネットワークは、各センサーノードデバイスが無線通信を用いてデータ通信を行う。無線センサーネットワークを構築するためのノードデバイスとしては、Smart Dust[1] や MICA および MICAz[2]、iMote[3]、S-NODE[4]、Ni3[5] などすでに市販されたものも含めると様々なデバイスが提案されている。各センサーノードデバイスは対象としている環境やサービスなどによって様々な特性があるが、ここでは、消費電力、コスト、小型化の 3 点に着目して、検討を行う。

消費電力 ノードデバイス開発で最も重要視されているのが低消費電力化へのアプローチである。主なアプローチとしては消費電力の少ない部材を使用することや、ネットワークのルーティングプロトコルによる対応[6]、スリープ時間の調整[7]などが挙げられる。このうち後者のスリープ時間の調整はデバイスの性能へ影響を与えるため、実環境におけるアプリケーション又はサービスモデルを考慮した電力設計が求められている。

コスト センサーノードを用いた実用的なシステムを構築するためには、数多くのノードデバイスが必要となる。そのため、各種コスト(部品数などのハードウェアに関するもの、メンテナンスコスト等無線センサーネットワークの運営に関するもの)に反映される要素(部品数の低減、汎用性の高い部品の適用など)を考慮する必要がある。

小型化 センサーノードを商業施設など実環境に設置する場合は

その環境において違和感のない設置が強く要求される。回路基板の小型化に関してはこれまでも、SoC、高密度実装、多層基板など実装技術を活用したセンサーノードは提案されており、たとえば MICAz[2] は MICA の主要回路をワンチップに納めることにより小型化を実現している。ただし、実環境における小型化の評価は筐体サイズによって決まるため、回路基板はもちろん電池格納数なども含めた実環境を考慮した最適サイズを検討する必要がある。

2.2. 無線センサーノードデバイスの設置可搬性

前項の考察をふまえて、ここでは、無線センサーネットワークを構成するに当たって考慮しなくてはならない重要な項目の一つとして、ノードデバイスが様々な環境に対していかに柔軟な設置が可能かを示す「設置可搬性」に着目する。この設置可搬性はノードデバイスの性能はもとより、実環境への適用時における設置コストへも大きく影響を与える重要な指標である。設置可搬性を決定する主な要素には次の 3 つが考えられる。

- (1) ノードデバイスの筐体サイズおよび重量
- (2) ノードデバイスの通信手段
- (3) ノードデバイスの電源供給手段

ここで特に重要となるのが(2)の通信手段と(3)の電源供給手段であり、これらは設置の際の配線工事の必要性に関連する。たとえば、通信手段に無線 LAN のような無線回線を適用すれば各目上無線センサーネットワークとなり得る。しかしながら無線 LAN を用いた場合、長期間のバッテリー駆動は現実的ではないため、結果的には AC 電源の配線が必要となり、設置性は低くなってしまふ。つまり、バッテリー駆動のような DC 電源で長期間駆動可能なノードデバイスを用いて構築された無線センサーネットワークが設置可搬性の高いセンサーネットワークなのだが、バッテリー駆動である以上、ノードデバイスの消費電力は極力抑える必要がある。

また別の要因として、消費電力低減に大きく寄与する要素としては無線通信時の消費電力とノードデバイスのスリープ時間調整などが挙げられる。消費電力に関しては、規格化された無線技術の場合それを適切に制御することは難しく、送受信時の消費電力の問題から、長期間のバッテリー駆動を前提としたデバイスに無線 LAN や携帯電話モジュールなどの適用は難しいと考えられる。また、スリープ時間の調整を行って消費電力を押さえることができるが、これはデバイスのパフォーマンスや通信の効率性などのトレードオフになることも多い。つまり、ノードデバイスの設計は、システム全体の機能性に対するトレードオフの影響を考慮して行う必要がある。

一方、見守りシステムなどのような無線センサーネットワークシステムにおけるノードデバイスの設置個数については、センシング精度の向上を目指すほど必要個数が増大し、設置間隔も密になることが予想される。そのため、ノード間通信に無線 LAN ほどの出

力は必ずしも必要とはいえない。また、設置個数に比例して各種コスト(製造、設置、運用など)も増大する。したがって、無線センサーネットワーク構築の際には通信範囲、センシング内容、各種コストなどを総合的に検討する必要がある。

以下では、上記のような「設置可搬性」に着目して開発した無線センサーネットワークシステム ComPass について述べる。

3. ComPass

本節では ComPass システムについてその設計概要を述べる。前節までに述べたように、実用的な無線センサーネットワークを実現するためには設置可搬性の高いノードデバイスが不可欠であり、そのためにはデバイスだけではなくシステム全体で消費電力低減を指向する必要がある。ComPass システムはこの二点の向上を目標と定めた軽量で実用的な無線センサーネットワークインフラストラクチャーである。

一般的に無線センサーネットワークを用いてサービスアプリケーションを構築するためには、単なるノードデバイス群の集合だけでは不十分であり、ユーザーが持つ端末や獲得されたセンシングデータを解析するサーバーなどが必要となる。ComPass システムは先行して開発したサービス連携アーキテクチャー CONSORTS [8] [9] 内の無線センサーネットワークインフラストラクチャーとして設計されており、CONSORTS の各種サービスと相互に連携しながらセンシングデータの統合解析などを行うことを目指している。

3.1. ComPass システム構成

図 1 に ComPass システムの構成を示す。

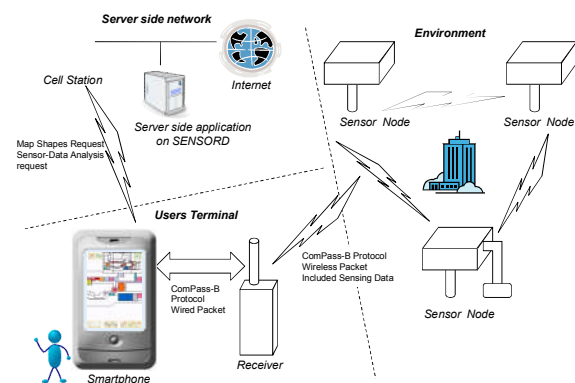


図 1. ComPass システムの全体構成図

ComPass システムは大きく分けて 1) 環境部、2) ユーザー端末部にて構成される。これに追加して 3) サーバーサイドネットワークも付加して CONSORTS のアーキテクチャーとして組み込む。このうち 3) については、CONSORTS の解析処理主要部として開発したセンサーミドルウェア SENSORD [10] が解析処理の主要機能を提供する。SENSORD は ComPass を含む様々なデバイ

スから得られたセンシングデータを統合的に解析するためのものであり、すべてのセンシングデータは空間情報を元にして管理されている。空間情報を効率的に扱うため SENSORD は各種センサーの配置情報や地図情報を含めた統合的な空間情報処理系等を有している [11] [12]。

ComPass システムの主要部はユーザー端末に接続される受信ノードから環境側に広がった部分であり、この部分の通信はすべて微弱無線による無線通信である。受信ノードは固定配置の他、ユーザーが持ち歩くことも可能であり、どちらの場合でもペアとなる端末 (スマートフォン、小型 PC など) が別回線で接続されたサーバーサイドアプリケーションを呼び出すことによって様々なサービスを提供することが可能である。

ComPass システム内の各センサーノードはノードの識別情報とセンシングデータを含めたデータを送信する。データ送信は後述の独自プロトコルに従って行われており、ComPass システム内の全ノードデバイスにはこのプロトコルスタックを実装している。

3.2. 無線通信方式

現状においてセンサーノードの無線通信に使われる技術としては、規格化された技術を用いるのが主流である。たとえば Wi-Fi (IEEE802.11a/g) のように汎用的な無線通信モジュールの使用や、Bluetooth のような近距離無線通信モジュールの使用、あるいは ZigBee (IEEE802.15.4) [12] など無線センサーネットワークの特性が考慮された規格のモジュールの使用など多岐に分かれている。規格化されているこれらの通信モジュール使用の利点は、少ないチップ構成のモジュールが供給されていることが多いためハードウェアへの組み込みが比較的容易である点が挙げられる。しかしながら規格の性質上、センサーノードデバイスとして重要な消費電力の面においては目的とする性能と合致しないことも多い。

そこで、ComPass システムでは、これら規格を用いずに独自の送受信機構を実装して低消費電力化を図る。この場合、多少の回路規模やソフトウェア実装量の増大は発生するが、柔軟な電力設計が可能となり、センサーノードデバイスが必要とする低消費電力指向の送受信機能も実現可能である。

具体的には、出力の弱い無線通信として多く用いられている微弱無線 (Extremely Low Power Radio-Wave) を用いる。電波は公共財産であるという概念から、すべての無線通信の諸条件は法律として明確に規定されている。しかしながら多くの国では、電波出力が既定値を超えない場合など一定の条件を満たしている場合に限りライセンスが不要な制度 [13] があり、日本では微弱無線がその一つとして定義されている。本稿では以後「規定の出力を超えない無線(通信)」のことを微弱無線(通信)と呼ぶ。日本における微弱無線の最大出力を図 2 に示す。

このように、ComPass システムの用いる微弱無線の出力は無線 LAN や携帯電話に比べ圧倒的に小さい。ただし、最大出力は帯域によって異なり、ISM 帯を含む他の用途で使用されている帯

域内では利用が制限されていることが多い。そこで、ComPass システムでは、キーレスエントリーや無線リモコンなど多くの微弱無線機器と同様に VHF 帯を利用する。

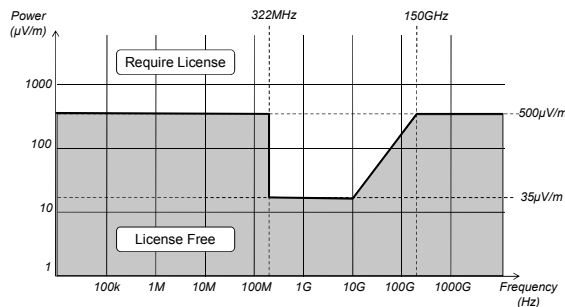


図 2. 日本における微弱無線の最大出力値

3.3. 通信プロトコル ComPass-B

本節では、ComPass システムの無線通信方式を定める通信プロトコル“ComPass-B”について述べる。この‘B’には“Beacon”という意味があり、このプロトコルによって発信された信号はビーコン信号としても用いることができる。

一般的にビーコン信号は、その発信源を特定する目的で使用されるため、ビーコン信号に含まれる情報量は ID など自己を識別する程度のごく少量である。一方、センシングデータの 1 サンプルあたりのデータ量は数バイトで収まることが多く、リアルタイム性を考慮するのであれば複数サンプルの一括送信よりは 1 サンプルごとの送信のほうが適切だと考える。そのため、ComPass-B はビーコン信号に倣ったシンプルな設計とした。

まず、ComPass-B は特に無線通信における通信パケットに関して軽量化が施されたプロトコルである。ここでいう軽量化とは、パケット長の削減を意味する。無線通信における帯域占有時間はパケット長に比例するため、多くのノードデバイスが効率的に信号を送信するためには、パケット長をできるだけ短くすることが効果的である。このために ComPass-B では必要以上の情報を盛り込まない。

一つのパケットの構成は次の要素から構成されている。

- (A) ノードデバイスからの送信メッセージ
- (B) ノードデバイスの個体識別 ID

パケット送信についても統一的なデータフローを設計した。ComPass-B プロトコルにおけるデータフローを図 3 に示す。デバイスが無線パケットを受信した時、デバイスはメッセージの内容を解釈し、受信内容を有線パケットに変換して端末に送る。送信機能を持つデバイスにおいては、センサーノード用途のような場合に限り、一定間隔ごとに無線パケットを自動送信するほか、特定のメッセージを明示的に送信することもできる。

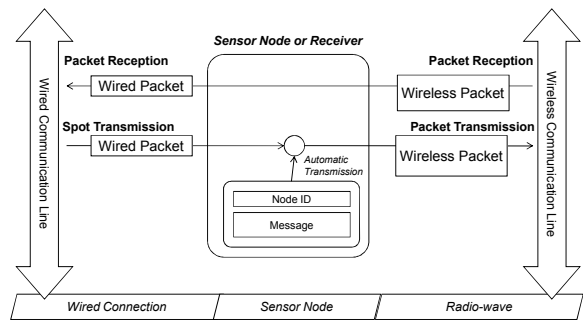


図 3. ComPass-B プロトコルにおけるデータフロー図

4. ComPass Node Version-1

ComPass Node Version-1 は、ComPass システムを構成する無線センサーノードデバイスである。

ComPass Version-1 の設計に当たっては、環境設置側と受信側ではノードデバイスに対する要件が多少異なるため、まずは汎用的な機能を持つ ComPass Node Version-1 のリファレンスモデルを設計した。これを ComPass リファレンスノードと呼ぶ。

本節では、ComPass リファレンスノードの基本設計についてと、消費電力低減手法の概要、組み込みソフトウェアの概要について述べる。そして、ComPass リファレンスノードの環境設置用および受信側への最適化について述べる。

4.1. 基本設計

ComPass リファレンスノードは低消費電力、低コスト、小型化を目指して設計されている。

デバイスの設計に当たって、ComPass リファレンスノードの要件を次のように定めた。

- (1) 複数のビットレートを認識可能
- (2) 微弱な信号が受信可能
- (3) 低コスト
- (4) 長期間の電池駆動が可能

これらの条件下で設計された ComPass リファレンスノードのハードウェアの構成ブロックを図 4 に示す。

ComPass リファレンスノードは非常にシンプルな構成となっており、外部インターフェースに関しては MPU(コントローラ)内蔵のものを使用している。外部インターフェースの追加は回路規模の拡大を招くことが多いため、今回の設計では必要な外部インターフェースを内蔵しているコントローラを選定した。

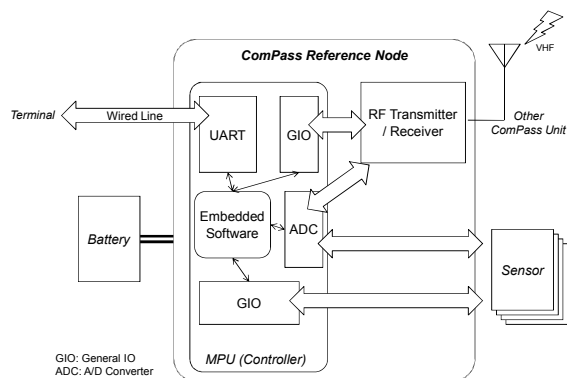


図 4. ComPass リファレンスノードのハードウェア基本ブロック図

ComPass リファレンスノードでは、環境に設置されているノードデバイスから送信された無線信号を受信し(図中右)、デジタル信号の状態でも MPU に渡し、ComPass-B プロトコルに従い必要に応じて有線パケットを生成し、有線回線(図中左)経由で端末に送る。

VHF 帯を用いる無線回線の送受信処理は、すべてをハードウェアによって処理するのではなく、一部をソフトウェアによって処理する機構となっている。

センサー接続に関しては、センサーが接続可能な外部インターフェースを確保しており、センサーモジュールを外付けすることができる。

4.2. 低消費電力化手法

低消費電力化は稼働期間の延長に貢献し、運用コストの低減も期待できる。そのため本研究では低消費電力化に対して図 5 に示すようなアプローチを採用した。

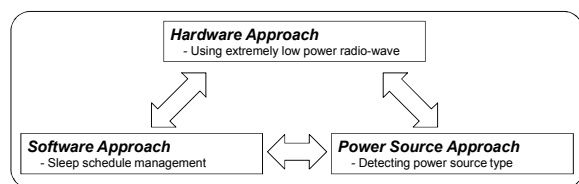


図 5. ComPass リファレンスノードの低消費電力化アプローチ

本稿冒頭でも述べたとおり、消費電力低減は複数の要因によってもたらすため、本研究では以上のようにハードウェア面、電源面そしてソフトウェア面の 3 方面から総合的に対応した。

まず、電源面においては電圧を含む電源の種類を検出し適切な電源管理を行えるような機構を持たせた。

次にハードウェア面においては、微弱無線を用いることにより送受信時の消費電力低減を図った。

最後にソフトウェア面においては、機能性を維持しながら適切なスリープ時間を保つことにより不要な電力消費を防いだ。

4.3. 組み込みソフトウェア設計概要

ComPass リファレンスノードの MPU 組み込みソフトウェアのアーキテクチャーは図 6 のようになっている。

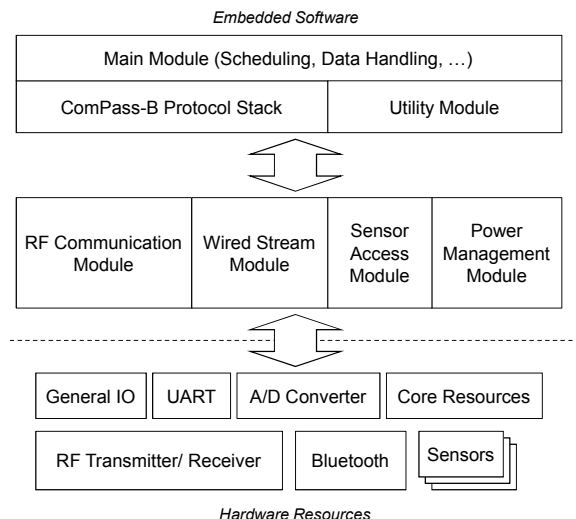


図 6. ComPass リファレンスノードのソフトウェア基本ブロック図

現状において ComPass リファレンスノードには OS に相当するモジュールは搭載されていないが、MPU 自体は簡易なカーネルモジュールを実行できるだけのスペックを有している。

Main Module はノードデバイス全体の動作を制御するものであり、主にスケジューリングや受信された無線パケットやデバイスに接続された各センサーのセンシングデータはここでハンドリングされ、直下の ComPass-B Protocol Stack にて無線有線パケットの解釈および構成が行われる。

本ソフトウェアにおいて最も重要なモジュールが RF Communication Module であり、無線通信の送受信処理はすべてここで行われる。特に受信機構についてはソフトウェア処理を活用した機能を提供している。無線信号受信時の処理概要を図 7 に示す。

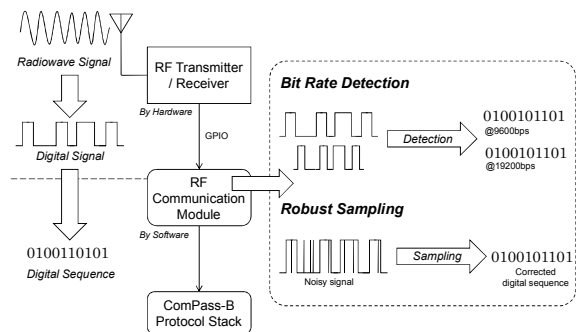


図 7. ComPass リファレンスノードにおける受信処理概要図

無線信号の受信においては、ハードウェアにて行うのはデジタル

信号変換までとし、それ以降の数値化はすべてソフトウェアにて行う。この機構を有効に活用し、デジタル信号のリアルタイム解析により、ビットレート認識による複数ビットレートへの対応や、信号補正による受信成功率の向上が可能となった。

このうち、前者のビットレート認識は、複数ビットレート混在の無線環境がノードデバイスのような低スペックのデバイスでも実現可能であることを示している。

また、後者の信号補正は、商業施設のようにノイズ成分が無視できない環境下においても、可能な限り受信性能を向上させるように導入したものである。

4.4. ComPass センサーノードと ComPass 受信ノード

ComPass センサーノードと ComPass 受信ノードは、ComPass リファレンスノードを元にそれぞれ環境設置用と受信機用へ最適化したデバイスである(図 8)。これらの2種類のデバイスは機能検証だけではなく後述の実証実験において実環境にて使用することが前提であるため、設置可搬性を十分に検討し回路やソフトウェアだけではなく筐体やアンテナなども含めて総合的に調整した。

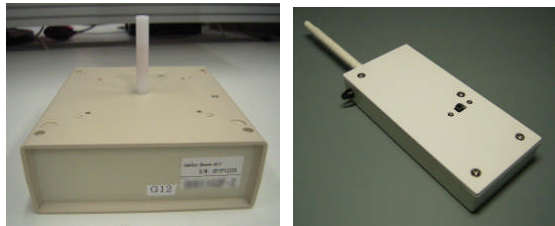


図 8. ComPass センサーノード(左), ComPass 受信ノード(右)

環境設置用センサーノードデバイスである ComPass センサーノードは、ComPass リファレンスノードの送信出力関係の RF 回路を調整し、筐体およびアンテナ長を設計したものである。また、消費電力低減のためスリープ時間は最大限の稼働時間延長を目標に調整した。

ComPass センサーノードは商業施設等の実環境に設置することが前提であるため、送信電波出力は電波法に定める微弱無線の規定に適合する必要がある。ComPass センサーノードについてはその製作段階で、電波暗室にて性能試験を行っており(図 9)、第三者試験機関による規定適合が認定されている¹。

一方、受信用デバイス ComPass 受信ノードは ComPass リファレンスノードから次の点を変更した。

- (1) 送信機能の停止
- (2) アンテナを受信専用として調整
- (3) 受信関係 RF 回路の調整

デバイスの送信機能の停止することにより、アンテナを受信専用として調整した。そのため、ComPass 受信ノードの受信性能はセンサーノードより向上している。さらに受信回路の調整も行った。

¹ 法的には認証試験を受ける義務はないが、性能試験を実施し規定に適合していることを宣言する必要がある。



図 9. ComPass センサーノードの性能試験の様子(手前が ComPass センサーノードで奥が計測用標準アンテナ。間隔は試験規定により 3m である)

5. 適用事例

本節では本研究にて開発した ComPass システムの適用例として、本システムでのターゲットの 1 つである屋内自律型位置推定サービスの実証実験 [14] について述べる。

5.1. 実証実験の概要

この実証実験では、幅広いユーザー層をモニターとして、実環境の屋内商業施設におけるナビゲーションサービスの実用性などについて検証を行った。

実験を進めるあたり、実験会場である横浜ランドマークプラザ² 内に ComPass センサーノードを設置し、ComPass システムの実環境における動作検証を行った。この検証の目的は、屋内自律型位置推定サービスに必要な無線パケットの送受信が適切に行われているかどうかを確認することである。

実証実験における ComPass システムの施設への設置例および屋内自律型位置推定システムへの適用例を図 10 に示す。

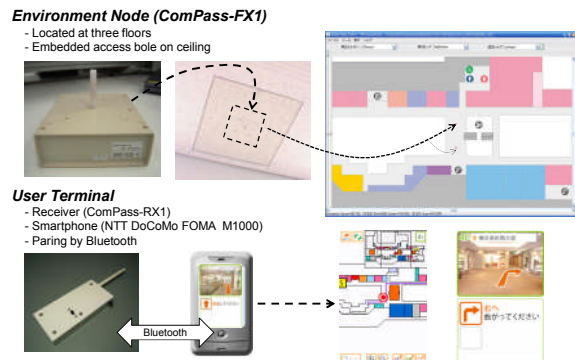


図 10. 横浜ランドマークプラザにおけるデバイス設置

² 三菱地所株式会社, 神奈川県横浜市西区みなとみらい 2-2-1

ComPass センサーノードは、図 10 の左上に示したように、天井の点検口に装着した。ほとんどの点検口は、取り外しが可能であるため設置作業が容易である。このノードは点検口以外の場所へも設置可能であるが、点検口を設置箇所にするによって、施設への工事行わずに取り付けることができ、設置コストを削減することができる。また、ComPass センサーノードは電池駆動が可能であり、電源確保のための配電などが必要ない。このことも設置コスト削減に貢献している。

実証実験では、実環境における ComPass システムの動作確認を行った。その結果、実環境において屋内自律型位置推定サービスを行うために必要な無線通信が行われていることを確認した。

5.2. 屋内位置推定に用いるノードデバイス

関連研究として、環境内に設置されたデバイスから発信される信号を用いて現在位置を推定する他の屋内位置推定システムと、本研究との関連について述べる。

無線 LAN を用いたシステムには、RADAR[15] や WiPS[16]、商用化された例としては Ekahau[17] など様々なものが提案されているが、その多くは電界強度を用いた手法である。また、SpotON[18] や 2005 年愛知万博グローバル・ハウス[19] などアクティブ RFID を用いたものも多く報告されている。これらは、ユーザーが所持しているアクティブ RFID の信号を環境に設置された受信機が受信し、その情報を利用してサーバーにて位置推定を行う。

このように屋内での位置推定を行う手法としては、無線 LAN やアクティブ RFID のインフラストラクチャーを使用する例が多く報告されている。このような方法は、既存の設備の流用が可能な環境であれば設置コストの削減などが期待できる。しかしながら、実運用の過程でアクセスポイントの追加設置や電源の確保など、設置に関する問題が生じることも少なくない。

一方、ComPass システムは、電池駆動が可能であるので電源の確保が必要なく、前述の方法と比較して設置工事が簡略化できる。また、実運用後の精度向上などを目的としたメンテナンス作業も比較的容易に行うことができる。

6. おわりに

本稿では無線センサーネットワークシステム ComPass について、そのハードウェア概要と組み込みソフトウェアのアーキテクチャーについて述べた。ComPass デバイスは設置可搬性が高く、低消費電力が図られたノードデバイスとして設計されている。さらに、ComPass システムが実環境で動作可能であることを示すために、ComPass システムを適用して実施した実証実験の概要について述べた。実証実験は不特定多数のユーザーが訪れる屋内商業施設において実施され、ComPass システムの運用が可能であることが確認された。

文献

- [1] J. M. Kahn, R. H. Katz and K. S. J. Pister: "Mobile Networking for Smart Dust", ACM MobiCom'99, pp.271-278 (1999).
- [2] Crossbow Technology Inc: "MICA MOTE and MICAz", Available online <http://www.xbow.jp/>
- [3] Intel Corporation: "Intel Mote", Available online <http://www.intel.com/research/exploratory/motes.htm>
- [4] ワイマチック株式会社: "S-NODE", Available online <http://www.ymatic.co.jp/>
- [5] アーズ株式会社: "Ni3", Available online http://www.arsjp.com/SensorNetwork/SN_index.htm
- [6] W. R. Heinzelman, A. Chandrakasan, and H. Balakrishnan: "Energy-efficient communication protocol for wireless microsensor networks", Proceedings of the 33rd Annual Hawaii International Conference on, pp.2-10 (2000).
- [7] 高橋悟史, 黄耀華, 宮前雅一, 寺田努, 野間春生, 鳥山朋二, 小暮潔, 西尾章治郎: "複数人物の移動軌跡観測を目的とした ZigBee センサーノードの開発", 情報処理学会研究報告 2007-UBI-16(16), pp.99-104 (2007).
- [8] K. Kurumatani: "Social Coordination with Architecture for Ubiquitous Agents - CONSORTS", Proc. of International Conference on Intelligent Agents, Web Technologies and Internet Commerce IAWTIC'2003, in Proceedings CDROM (2003).
- [9] K. Kurumatani: "Mass User Support by Social Coordination among Citizens in a Real Environment", Lecture Notes on Artificial Intelligence 3012, Multi-Agent for Mass User Support, pp. 1-17 (2004).
- [10] A.Sashima, Y.Inoue and K.Kurumatani: "Spatio-Temporal Sensor Data Management for Context-Aware Services", ADPU 2006 (2006).
- [11] T. Ikeda, Y. Inoue, A. Sashima and K. Kurumatani: "Handling Spatio-Temporal Sensor Data in Global Geographical Context with SENSOR", UCS 2007 (LNCS 4836), pp.33-44 (2007).
- [12] ZigBee Alliance: "ZigBee Alliance home page", Available online <http://www.zigbee.org/>
- [13] 日本国においては、電波法第 2 章第 4 条 1 項。具体的規定は昭和 32 年郵政省告示第 708 号。
- [14] 井上豊, 池田剛, 山本潔, 幸島明男, 山下倫央, 麻生秀樹・車谷浩一: "ComPass ビーコンを用いたスマートフォン上での屋内自立型位置測位システム", 情報処理学会研究報告 2008-UBI-17, 情報処理学会 (2008).
- [15] P. Bahl and V. N. Padmanabhan: "RADAR: an in-building RF-based user location and tracking system", IEEE Infocom2000, Vol.2, pp.775-784 (2000).
- [16] T. Kitasuka, T. Nakanishi and A. Fukuda: "Wireless LAN based Indoor Positioning System WiPS and Its Simulation", IEEE PACRIM'03, pp.272-275 (2003).
- [17] Ekahau Inc: "Ekahau Positioning Engine", Available online <http://www.ekahau.com/>
- [18] J. Hightower, R.Want and G. Borriello: "SpotON: An indoor 3d location sensing technology based on RF signal strength", UW-CSE 00-02-02, University of Washington, Department of Computer Science and Engineering (2000).
- [19] 車谷浩一, 山下倫央, 和泉憲明, 幸島明男, 和泉潔: "愛・地球博グローバル・ハウス統合情報支援システム-CONSORTS アーキテクチャによる情報提供・会場運営支援システム", 情報処理学会誌, Vol.47 No.2, 105-108 (2006).