



複数人物の位置追跡のためのZigBeeセンサネットワークの開発

納谷, 太 ; 高橋, 悟史 ; 宮前, 雅一 ; 寺田, 努 ; 野間, 春生 ; 鳥山, 朋二 ; 小暮, 潔 ; 西尾, 章治郎 ; 今井, 倫太

(Citation)

日本バーチャルリアリティ学会論文誌, 14(1):55-66

(Issue Date)

2009-03-31

(Resource Type)

journal article

(Version)

Version of Record

(URL)

<https://hdl.handle.net/20.500.14094/90002079>



応用論文

複数人物の位置追跡のための
ZigBee センサネットワークの開発

納谷 太^{*1*2} 高橋 悟史^{*3} 宮前 雅一^{*4} 寺田 努^{*1*5} 野間 春生^{*1}
鳥山 朋二^{*1*6} 小暮 潔^{*1} 西尾 章治郎^{*7} 今井 倫太^{*2}

A ZigBee-based Sensor Network System for Tracking of People's Locations

Futoshi Naya^{*1*2} Satoshi Takahashi^{*3} Masakazu Miyamae^{*4} Tsutomu Terada^{*1*5}
Haruo Noma^{*1} Tomoji Toriyama^{*1*6} Kiyoshi Kogure^{*1} Shojiro Nishio^{*7} Michita Imai^{*2}

Abstract – We have developed a new battery-operated sensor node based on ZigBee wireless network in order to track people's location even with a poor electrical infrastructure. For a sensor network consisting of such kind of sensor nodes, we have designed a flexible sleep control protocol which fulfills low-battery consumption as well as high-accuracy time synchronization between these nodes. We have deployed a sensor network system composed of more than 40 sensor nodes in a hospital floor for tracking more than fifteen nurses simultaneously. Experimental results show that the system can operate around 27 days using four AA size NiMH batteries and can achieve 90% accuracy in the location estimation.

Keywords : Sensor Network, Ubiquitous Network, Location-Aware System, ZigBeeTM

1 はじめに

近年、無線通信技術および半導体技術の発展により、ワイヤレスセンサネットワークの研究が盛んに行われている。ワイヤレスセンサネットワークでは、センサノード同士がネットワークを構成することで、センシングデータを無線マルチホップ通信を用いて他のセンサノードに転送できる。このワイヤレスセンサネットワーク技術を活用することで、医療・健康、防犯・セキュリティ、防災、農業などのあらゆる分野において、状況に応じた様々なサービスが提供できるようになる。

我々は、ワイヤレスセンサネットワーク技術を活用して医療機関など種々の現場での業務を支援するシステムの研究開発を推進している。病院内の医師や看護師など、その業態に一定のルーチンや時間的構造が含まれるような場合には、その業務内容がナースステ

ーションでのカルテチェックや PC 作業、病室での患者への種々のケアなど、作業者の場所によって限定されることが多い。また、危険領域に人が立ち入ったことを当事者間で共有することは安心・安全かつ効率良く業務を推進する上で有益な情報となり得る。さらに、位置情報と付帯して、作業者の業務の割り込み状況や、いわゆるヒヤリ・ハットなど、現場での観測事例を記録しておき、これをもとに VR 技術で状況を再現し、新人作業者に疑似体験させることで、事故防止教育や業務効率の改善等に寄与できると考えている。

既存の屋内位置推定システムは大きく 2 分される。すなわち、フロア内での 2 次元（または 3 次元）の座標情報として位置を推定するもの [2, 3, 7, 8, 9, 10] と、近接情報として部屋もしくは領域レベルの位置情報を推定するもの [5, 6] である。本論文が主眼とする病院内での医療従事者の位置情報提供サービスという観点では、後者の部屋などの領域レベルでの位置情報を正確に検知できることが望ましい。

そこで我々は、作業者の場所を部屋などのフロア内で区切られた領域単位の粒度で特定するために、図 1 に示すように、各部屋の出入り口や領域の境界に赤外線受光器を備えたセンサノードを設置し、作業者の通過を検知するとその結果をサーバで集約し、各人の位置を表示する通過センサシステムを開発している [11]。このシステムでは、ID を発信する赤外線送信機を装着した作業者が各領域の出入り口を通過する際、赤外

^{*1}ATR 知識科学研究所

^{*2}慶応義塾大学

^{*3}シャープ株式会社

^{*4}ウェストユニティ株式会社

^{*5}神戸大学

^{*6}富山県立大学

^{*7}大阪大学

^{*1}ATR Knowledge Science Laboratories

^{*2}Keio University

^{*3}Sharp Corporation

^{*4}WEST unitis Corporation

^{*5}Kobe University

^{*6}Toyama Prefectural University

^{*7}Osaka University

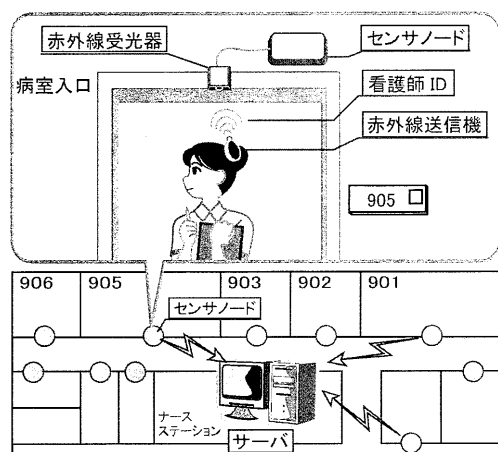


図1 システム構成
Fig.1 System configuration

線受光器をもつセンサノードが作業者の ID を読み取る。収集されたセンサデータはサーバに送信され蓄積される。過去に我々が試作した通過センサシステムでは無線通信手段として IEEE 802.11b を用いたネットワークを構成しており、その消費電力の大きさ¹ゆえに週単位の長時間運用を行う際には全てのセンサノードに外部電源を接続する必要があった。つまり、センサノードの設置場所がコンセント等の近傍に限定され、自由に設置位置を変更できない問題があった。将来は各部屋や領域の出入り口だけでなく個々のベッド周辺での看護師の動きや、赤外線送信機を備えた医療機器の位置特定など、より小粒度の領域での動き・位置を検知するためにセンサノードを多数設置することを考えると、外部からの電源供給を必要とする既存のセンサノードでは柔軟に対応できない。

本稿では、上記課題を解決すべく、内蔵電池での駆動でも月単位の長時間稼動を目指した低消費電力な位置追跡のためのセンサノードの開発について報告する。本センサノードは、低消費電力の無線規格である ZigBee²を採用し、独自の細やかなスリープ制御プロトコルを実装することで消費電力を低減する。一方、センサノードの数が増加すると、センサの検出タイミングのずれによって作業者の移動経路を誤って解釈する問題が起こりうる [12]。このため、提案するセンサノードでは、消費電力を抑えるために頻繁にスリープしながらも、高精度の時刻同期機構を採用することにより上記問題を解決することを目指す。

以下、2章で既存の位置推定センサネットワークに関する関連研究について述べ、本論文の目的である病院内でのユーザの位置追跡システムとしての要求仕様

を抽出する。3章では、要求仕様に基づき提案するセンサノードの設計について説明する。4章では試作機の実装と評価について述べ、5章で実際に協力病院の1フロアに本システムを設置し運用した際の電力消費および位置推定精度の結果を示すとともに、本システム上に構築された位置表示アプリケーションを紹介し、本システムの有効性を示す。6章で本研究のまとめと今後の課題について述べる。

2 関連研究

屋内位置推定システムは、その利便性の高さから数多く開発されており [2, 3, 4, 5, 6, 7], Aeroscout [8], ekahau [9], Air Location [10] など商用システムも多い。前述のように、既存の位置推定システムは、フロア内の座標値として位置を推定するものと、部屋や領域などのラベルとして位置を推定する技術に2分される。前者にはフロア内に複数配置した無線基地局と人に装着した無線機器との間で交換される電波強度と電波の到着時間差 (TDOA) などを用いて三角測量もしくは事例ベースにより位置座標を推定するもの [2, 3, 7, 8, 9, 10] がある。この手法では、無線基地局の配置の工夫によって少ない基地局で広範囲をカバーでき、座標値として位置情報を得られる利点がある反面、位置情報の取得には事前のキャリブレーションと複数基地局の情報を必要とすることや、推定精度の誤差により厳密にユーザが存在する部屋領域を特定するなどの用途には不向きである。

一方、後者は、分割した領域ごとに近接情報を検知するセンサネットワークを敷設するコストを要するが、確実に人がその領域に存在することを検知できるという利点があり、本論文の目的とするシステムにおいても本方式を採用する。Active Badge [5] および WALRUS [6] は、いずれもオフィス内での部屋レベルのユーザ位置推定を目的としたシステムである。Active Badge はユーザが赤外の ID 送信機を携帯し、部屋の出入り口等に設置した受信機群でこれを検知する。受信機群は有線ネットワークで接続され、各受信情報はサーバにて集中管理される。一方、WALRUS は各部屋に設置した PC から無線パケットと超音波を送信させ、ユーザが携帯する PDA にて双方の信号を受信してその位置を検知するシステムである。

上記のいずれのシステムも無線基地局などインフラ設備間は有線ネットワークで接続されており、部屋ごとに設備を計画的に設置できることを前提としている。しかしながら、我々が目的とする病院内での位置推定システムでは、病室や検査室など、機能的に分割された多数の部屋や、エレベータホール、洗髪シンクが設置された廊下など、部屋以外にも機能的に意味のある

¹市販の WiFi AP の消費 4-10[W], 5[V] 駆動で消費電流は 0.8-2[A] 程度である。

²ZigBee は Koninklijke Philips Electronics N.V. の登録商標である。

領域レベルで位置を推定できることが望まれる。また、例えばナースステーションという一部屋内においても、看護師の手洗い状況を検知するためにシンクが置かれた領域を随時検出対象として加えられることが望まれ、このために位置検出センサノードを電源確保が困難な場所でも柔軟に配置できることが望ましい。さらに、看護師が携帯するデバイスは小型・軽量であることが求められるため、位置推定のための情報集約と処理は環境側に設置されたセンサネットワークとサーバで行うことが望ましい。したがって、本システムでは、センサノード間が無線で接続され、かつ個々のノードが電池駆動できることを要求仕様とする。さらに、院内システムで使用する端末等機器の定期メンテナンスが毎月一度程度であることから、電池交換のメンテナンスについても同程度と想定し、連続稼働時間について一カ月を確保することを目的とする。

一方、センサノード数の増加に伴い、各センサノードで計測されたセンサデータの一貫性を確保するためには、同時にノード間における高い時刻同期精度が必要となる。先に筆者らが開発した WiFi ベースの位置推定センサネットワークでは、センサノード間の時刻のずれから、ユーザの移動経路に時間的矛盾が生じ、正確な位置推定ができない問題があった [12]。センサノード間の時刻同期精度は、環境側に設置した複数のセンサノードがユーザが携帯する機器から発せられる ID を検知する方式において大きな問題となる。このようなセンサネットワークのノード間の時刻同期手法が種々提案されている。

Ganeriwal らはワイヤレスセンサネットワークのための時刻同期プロトコルとして、TPSN (Timing-sync Protocol for Sensor Networks) を提案している [15]。TPSN はコンピュータネットワークにおける時刻同期手法として一般的な NTP (Network Time Protocol) と同様、タイムスタンプによって誤差修正を行う手法で平均 $16.9[\mu\text{s}]$ の時刻同期精度を実現している。また、徳永らは高精度な時刻同期を実現するセンサノードの設計について提案しており、実機検証において $10[\mu\text{s}]$ 以内の精度を実現している [16]。これらの手法では基準となるセンサノードの保持時刻を隣接ノードに対して送信し時刻同期を取るが、隣接ノードではデータ伝送時の CPU 処理などで生じる遅延をハードウェアで正確に計測し、送られてきた時間に対して補正を行うことで高い時刻同期精度を実現している。しかし、これらの時刻同期手法は、隣接するノード間で時刻同期メッセージをやり取りする必要があることや、高い時刻同期を保持するために頻繁に時刻同期メッセージをやり取りせねばならず、センサノードの消費電力が増大してしまう。一方で、センサノードの省電力化のた

めに長時間センサノードをスリープさせると、時刻同期メッセージのやり取りができず高い精度を維持することができないというトレードオフが生ずる。

以上より、本論文では病院内での運用を目的としたセンサネットワークシステムの要求仕様として、ハードウェアとしては電源確保が困難な箇所に容易に設置するために電池駆動で約一カ月の連続稼働日数を確保でき、ソフトウェアとしては省電力化と位置追跡における時間的無矛盾性を確保するため、柔軟なスリープ制御および時刻同期プロトコルを兼ね備えたセンサノードを実現することを目的とする。

3 ZigBee センサノードの設計

1章で述べたように、これまでに開発した IEEE802.11b ベースの通過センサシステムでは外部電源を用いてセンサノードを駆動させるため、ノードの設置場所が電源供給可能なコンセント等の近傍に限られ、自由に設置位置を変更できない問題があった。本稿では、この問題を解決するため、近距離・低消費電力を特徴とする無線通信規格である ZigBee を採用し、電池駆動でも長時間稼働可能なセンサノードの開発を行った。ここで新たに開発するセンサノードでは、低消費電力でありながら、センサネットワーク環境で正確な位置追跡を実現するため、以下の2点を実現する設計を行った。

1. センサネットワークにおける各ノードの省電力化のためのスリープ制御プロトコル
2. 多数ノード存在時での高精度な時刻同期機構

以下では、それぞれの必要性と詳細を述べる。

3.1 ZigBee ネットワーク

ZigBee とはアドホックなワイヤレスセンサネットワークの構成を目的として、IEEE 802.15.4 をベースに ZigBee Alliance [1] によって規格化されたプロトコル群で実現される無線通信規格である。IEEE 802.15.4 では物理層とメディア・アクセス層 (MAC 層) までは規格化されており、その上位のプロトコルを ZigBee Alliance で規格化している。ZigBee は、他の無線規格である WiFi, Bluetooth と比較して、通信速度は低速 (256kbps) ながら、50m 程度の伝送距離、個々のモジュールでの柔軟な電力制御、さらにアドホックにネットワークを構築できる特長を備える。ZigBee 端末は、コーディネータ、ルータ、エンドデバイスの3種類に部類され、それぞれ以下のような役割を持つ。

コーディネータ (以降、ZC と表記) ネットワーク内に1台のみ存在し、ネットワーク全体の制御を行う端末。通常、シリアル回線等でサーバ PC が接続され、データが集約される。

ルータ（同，ZR と表記） ZC および ZE 間でのデータ中継機能を持つ端末。

エンドノード（同，ZE と表記） データ中継機能を持たないがセンサデバイスが接続されている端末。

これらのデバイスを用いることで，ZC を頂点として ZR と ZE が動的にネットワークを構成し，ZE で計測したセンサデータを ZR を介して ZC に送るというようなマルチホップ通信が可能である。

3.2 ZigBee ネットワークの課題

ZigBee においても無線送受信時には Bluetooth 等の無線規格と同程度の電力を消費する。ZigBee における省電力化は，携帯電話等におけるそれと同様，可能な限りモジュールを停止させることで実現される。ZigBee の特長としては，ハードウェア面では無線系やその制御系モジュールのスリープとレジューム動作が高速である点，並びに，ソフトウェア面としてはレジューム時のパラメータ復帰などがプロトコルとして実装されている点が挙げられる。しかし，やはりスリープ中にはデータ通信が止まってしまうことに違いはない。従ってセンサネットワークにおいて安定したデータ通信を実現するためには，データの中継点である ZR およびネットワーク全体を管理する ZC は常に動作していることが求められ，ZigBee における低消費電力とは実質的には ZE を不要な時にスリープさせることを意味する。

ここで，一つ目の課題として ZE からの上流へのメッセージ送信は ZR と ZC がスリープしないため問題はないが，ZC から ZE へメッセージを送信する際にもし ZE がスリープ中ならば ZE にはメッセージが到達しないことがある。我々が今回採用した ZigBee プロトコルスタックでは，ある ZE がスリープ中に，上流からこの ZE 宛のメッセージが流れてくると，直上のノード（ZR もしくは ZC）がこの ZE へのメッセージをバッファリングしておき，ZE がスリープから復帰後に直上ノードに対してポーリングを行うことでそのメッセージを取得できる。しかし，直上ノードのバッファが複数メッセージによって溢れたり，メッセージ最大保持時間を超過するとそのメッセージは破棄されてしまう。このとき，ZigBee プロトコルスタックとして，ZR はメッセージを破棄したことを ZC や ZE には通知せず，また，メッセージの再送処理は定義されていない。また，ZE がスリープすることを前提としたモードの場合，直上ノードから ZE への下流方向へのメッセージ送信は直上ノードからのプッシュではなく，ZE から直上ノードに対してポーリングせざるを得ず，ZE のリソースや無線帯域を浪費するおそれがある。一方で，ポーリング頻度を下げると応答の低下

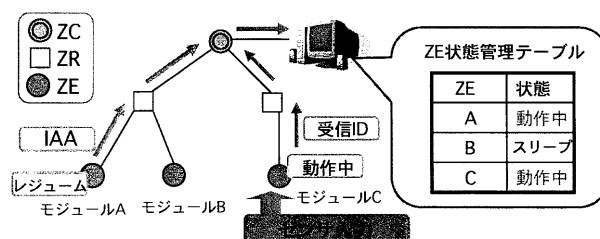


図 2 スリープ制御手法

Fig.2 Sleep control method

やメッセージが消失されてしまう問題がある。

また，2つ目の課題として，あくまでベストエフォート型のネットワークである ZigBee では最大送信遅延を保証しておらず，ZE とその上流ノード間でメッセージを送受信する際，ZE と上流ノード間の経路や電波状況，ZE のスリープ状態により不規則な送信遅延が発生してしまう。

以上のように，ZigBee はルーティングに関する機能を提供しているが，スリープ制御や通信遅延に関する制御はユーザがセンサネットワークの上位プロトコルとして実装する必要がある。そこで，我々はスリープ制御のためのプロトコルおよび，送信遅延を考慮した時刻同期制御について次項に述べるような手法を導入した。

3.3 スリープ制御プロトコル

ZigBee によるセンサネットワークを構築するにあたり，センサネットワーク全体で時刻同期を行うためには，ZC から下流の全 ZE にメッセージを送る必要がある。しかし，前述のように ZE がスリープ状態にある場合，ZC から送られてきたメッセージを ZE が確実に受け取る保証はなく，またこれを検知する手段がない。この問題は，サーバ PC 上で動作しているアプリケーション（以降，サーバアプリケーションと表記する）上で各 ZE のスリープ状態を管理しておくことで解決する。

まず，サーバアプリケーションが各 ZE の状態を管理するために，ZE からサーバに送られる状態通知メッセージを導入する。状態通知メッセージには以下の2種を設ける。

GTB(Go To Bed) メッセージ ZE のスリープ通知メッセージ。ZE がスリープに入る際に，ZC に送信される。

IAA(I Am Awake) メッセージ ZE のスリープ復帰通知メッセージ。ZE がスリープから復帰した際に，ZC に送信される。

これらのメッセージをサーバアプリケーションが一括して管理することで各 ZE の状態を保持する。具体

的には、サーバアプリケーションが ZC を経由してある ZE にメッセージを送信する際に、保持している当該 ZE の状態を確認し、スリープ中であればアプリケーション上でメッセージをスタックしておく。ZE はスリープから復帰した際に IAA メッセージを ZC に送信し、ZC を介して IAA メッセージを受け取ったサーバアプリケーションはその ZE に対してスタックされた予約メッセージがあれば即時に送信を行う。ZE は一定時間メッセージ受信処理を行った後に、GTB メッセージを送信しスリープ状態に移行する。各 ZE ではこの動作を定期的に行うことで、スリープ中に発生した自身宛のメッセージを確実に取得する。また、メッセージ取得のための定期的な復帰処理以外に、ZE は自身へのセンサ入力検知された場合にはすぐさまスリープ状態から復帰し、IAA メッセージを送信して順次センシングデータをサーバに送信する。センサからの入力処理が終了した後は、ZE はメッセージ受信状態となり、一定時間経過後 GTB メッセージを送信してスリープ状態に移行する。

後述する実験ではこれらのスリープ状態に移行するタイミングを表 1 に示す時間とし、図 3 に示すような処理を実装した。すなわち、ZE は電源投入時に IAA を ZC に送信し、即座に時刻設定コマンドを受け付け、5 秒後にスリープ状態に入る。センサで ID 検知がない限り 4 分 50 秒間スリープを継続し、その後 IAA を送信して、自ノード宛の予約メッセージがあればこれを受け取る。メッセージを受信して 30 秒後に GTB を送信して定期スリープに入る。メッセージがなければ 10 秒後に定期スリープに入る。センサで ID 検知があった場合には、最後に ID を検知した後 10 秒後に GTB を送信して定期スリープに入る。すなわち、定期的なウェイクアップと ID 検知によるイベント駆動でのウェイクアップを組み合わせた動作を行う。以上のように、本センサネットワークは、スリープ制御に関するプロトコルを導入することで、スリープしながらもメッセージを確実に送受信できるようにしている。

また、ポーリング問題に対しては、我々の採用した ZigBee スタックで実装されていた、ZE がスリープしないことを前提としたモードにおいては、当該 ZE の直上のノード (ZC もしくは ZR) から ZE への下流方向へのメッセージ送信は逐次プッシュされる機能を利用した。このモードでは対象の ZE がスリープ中に直上ノードがプッシュをするとメッセージは失われてしまうが、上流で ZE が動作中のみメッセージが送信制御されるため、そのおそれはない。さらに、このモードの差異はあくまで ZR の動作に影響を及ぼすだけであって、ZE が独自にスリープしてもセンサネットワークの機能には問題ない。

表 1 スリープ状態への移行時間

Table 1 Sleep timing

状態	スリープ状態への移行時間
電源投入時	起動処理終了から 5 秒後
通常時	スリープ復帰処理終了から 10 秒後
センサデータ受信時	受信処理終了から 10 秒後
PC データ受信時	受信処理終了から 30 秒後

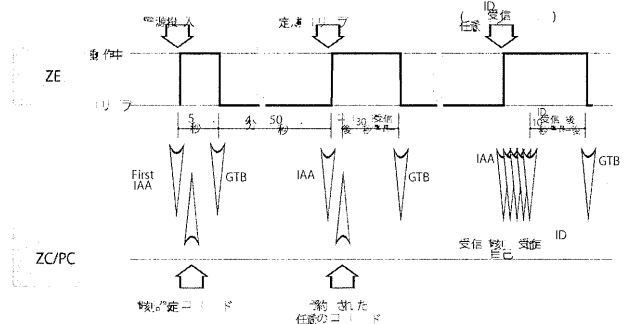


図 3 スリープ処理の時系列チャート

Fig.3 Sleep control sequence

3.4 時刻同期精度の保証

通過センサシステムでは作業者がどこにいるかをリアルタイムに推定するため、各 ZE は通過を検知した場合に直ちにデータをサーバに送信する必要がある。一般的なセンサネットワークにおいて、統一的にセンサネットワーク内で生じたイベントの時間管理を行う手法として、単純にはサーバ側でのみ時刻管理を行い、センサ系から送信されてきた計測データに対して、サーバの受信時のタイムスタンプを付与する方法が挙げられる。しかし、この手法では無線ネットワークで生じる潜在的なデータ伝送遅延を検知できない。一方で、センサネットワークを構成する全てのセンサノードの個々が高精度の時刻を個別に管理し、各センサデータに対して、センサノード自身が保持するタイムスタンプを計測時に付加し、これをサーバに送信する事でデータ取得時刻を正確に保つ手法も考えられる。この手法では本質的には通信遅延については解消できるものの、各センサノードが保持する時間の同期精度を高める手法が必要がある。

実際に、過去に病院に設置した通過センサシステムシステムでは、各センサノードが内部に保持している時刻の僅かなずれにより、実際に人物が通った経路とは異なる経路が復元されるといった問題が生じた。このような問題を回避するために必要な時刻同期精度について検討をおこなった結果、センサノード間の相対時刻誤差が 1 日で約 300[ms] 以内の精度が必要であることがわかった [12]。

前述のように ZigBee では通信遅延を考慮していないため、サーバにデータが届いたタイミングでタイム

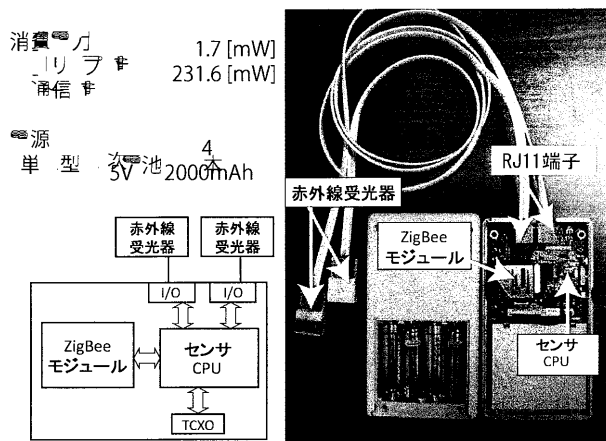


図 4 試作機の回路図（左）と実装したセンサノード（右）

Fig. 4 ZigBee Module Prototype

スタンプを付与する手法では通過時間に誤差が生じてしまう。後述する試作した ZigBee センサネットワークでの通信遅れは、途中経由する ZR の状況に依存し一定しておらず、平均して 300[ms] 以上掛かることが分かった。そこで、この時刻同期精度を保つために、各 ZE では内部クロックの精度を高めることで時刻同期精度自体を向上させると共に、センサネットワーク全体で定期的に時刻同期を行う方法を採用する。後者については、TCP/IP での簡易時刻同期プロトコルである SNTP(Simple Network Time Protocol) と同様に、サーバアプリケーションから各 ZE に対して、定期的に時刻設定コマンドを送信し、送信時間とレスポンス到達時間の差から誤差を計算し、その誤差が 300[ms] 以下になるまで時刻同期を繰り返す。

4 試作機の実装と評価

センサノード試作機を前章の設計に従い実装した。

4.1 設計

設計段階の検討から定常的なセンサモジュールの消費電力の大きさが稼働時間の短さの原因となることが予測された。しかし、スリープ時間を現行の 4 分 50 秒より長くした場合、サーバアプリケーションからのメッセージを受信するまでの遅延が大きくなる。このため、ZigBee モジュールとセンサ CPU を可能な限りスリープさせ、時刻カウントを行うカウンタ回路は常に動作させる設計とした。さらに CPU でカウントする時刻の刻み精度を向上させるために、温度補償型水晶発振器 (TCXO) を採用した。これらの設計によって高い時刻同期精度を保ちつつ、センサ CPU のコアをスリープさせて電力消費を抑えながら、ミリ秒単位での時刻保持が可能になる。

4.2 実装

試作機の回路図および実装したノードを図 4 に示す。試作機では、センサ CPU としてルネサス社の R8C/25 を使用し、無線モジュールはルネサス社の ZigBee モジュールである YCSCZB2A2NN を用いた。また、温度補償型水晶発振器にはエプソントヨコム社の TG-3530SA (3.2768KHz) を用いた。

各センサノードには赤外線受光器からのデータを受け取る RJ11 端子が 2 個 (A および B) 備えられており (図 4)、赤外線受光器は各部屋の入り口や領域の境界を分離するようにドアの両サイドや天井に設置される。看護師が頭部に装着した赤外線 ID 発信装置から平均 40Hz で送信される ID を各赤外線受光器が受信すると、センサノードがこれをデコードし、自ノードのタイムスタンプを付与して ZC に送信する。

4.3 試作機の評価

センサノード試作機に対し 5[V] を印加し、その消費電流を計測して消費電力を計測した。その結果、スリープ時における消費電力は 1.7[mW]、通信時は平均して 231.6[mW] であり、センサ CPU のコアと無線モジュールをスリープさせることでスリープ時の消費電力を通信時よりも遥かに低減できていることがわかる。次に実験室環境にセンサネットワークを構築し、連続稼働日数を評価した。過去に病院にて収集したデータを基に、一般病室と同等の一日平均約 30,000 個の ID 検知をさせたノードについて、NiMH 二次電池 4 本 (満充電時 5.2[V], 2000[mAh]) が最低動作電圧 4.2[V] まで電圧降下するまでの連続稼働日数を評価したところ、約 27 日 17 時間の結果を得た。一方、ナースステーションのように人の出入りが多い作業場所 (1 日平均約 140,000 個の ID 検知数) では、10 日程度の稼働時間しか見込めず、この場合にはより容量の大きい電池か外部電源との併用が必要となる。

また、試作機の時刻同期精度を評価するために、連続稼働させているセンサノード 4 台について、サーバアプリケーションからセンサノードの内部時刻の問合せを行い、そのレスポンスと PC の設定時刻との差を計測した。結果を表 2 に示す。表より、24 時間経過した時点で最大 49[ms] 程度の誤差が生じ、48 時間の場合には最大 132[ms] 程度の誤差が生じた。これは、通信遅れが 100[ms] 生じたとしても目標時刻同期精度である約 300[ms] 以下に十分収まっており、例えば、1 日 1 回時刻同期処理を行うことで要求仕様を満たす時刻同期精度が得られることがわかる。以上の結果より、センサノードの試作機は一日 30,000 回程度の ID 検知頻度をモニタする環境下では電池によって十分運用に耐えうる稼働時間と時刻同期精度を備えているといえる。

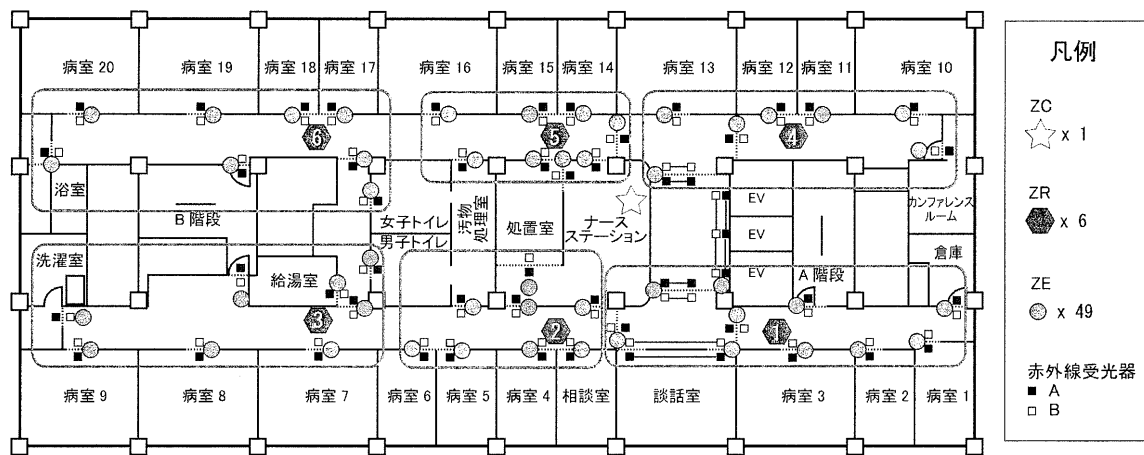


図5 病棟1フロアに設置された通過センサネットワークシステム

Fig.5 Sensor network system deployed in a hospital floor

表2 各センサノードの時刻誤差

Table 2 Error of each sensor node's timer

経過時間	Node A	Node B	Node C	Node D
24 時間	+22[ms]	-33[ms]	+20[ms]	-49[ms]
48 時間	+27[ms]	-132[ms]	±0[ms]	-109[ms]

5 実環境における評価実験

5.1 実験目的と概要

上記試作機を用い、実環境として総合病院病棟の1フロアにセンサネットワークを敷設し、本システムによる看護師の通過情報の取得と、通過情報に基づく看護師の現在位置推定結果をオンラインでPC画面上に表示する位置表示アプリケーションを構築し、評価実験を行った。病棟は図5に示す通り、病室20部屋と、ナースステーション、処置室、トイレ、浴室等の機能的に分かれた部屋や廊下等から成る。病室数が多く、また壁で仕切られているため、相互の看護師の所在を直接視認しにくい環境である。

そこで、図5に示す通り、赤外線受光部を各病室などの部屋の入り口、廊下の境界、エレベータ扉の境界に設置し、全49台のZEでデータを取得するよう設置した。EVホール前の廊下は通常の廊下よりも幅が広いので、2台の赤外線受光器を追加して検知可能領域を拡張した。同様に、3機のエレベータや、談話室など複数の入り口がある箇所についても複数の赤外線受光器をデジタイズチェインして設置し、各領域が適切に検知できるよう工夫した。上記センサの設置により、図6に示す通り、病室20部屋、ナースステーション・処置室等、機能的に分かれた11部屋、廊下・EVホールの7領域、EV・階段(A, B)の3領域を合わせた全41領域を検知対象として定義した。

ZigBeeの電波伝播特性は直進性・反射減衰特性があるため、ノード間の見通しが確保できるよう設置す

る必要がある。このため図5に示す通りZEを7台～10台程度でグルーピングして、これらとの通信を中継するZRを6台設置し、中央のナースステーションにZCを1台設置した。尚、図中、ZR3はZR2に、ZR6はZR5に接続されており、ZR3およびZR6配下のZEとZCとの通信はそれぞれZR2およびZR5を経由して行われる。また、ナースステーションにはZCとシリアル接続されたPC1台を設置し、全ZEとのコマンド制御を行い、メッセージログや看護師の通過データをログファイルとして記録するサーバアプリケーション(IR Sensor Server: 以降IRSSと表記)を稼動させた。

また、看護師は図7のように後頭部に髪留めタイプの赤外線送信機を装着した。各赤外線送信機は3Vのボタン電池で駆動し、固有のID(8bit)を発光する。

実験は、本フロアの病棟で勤務する全25名の看護師の勤務時に赤外線送信機を装着してもらい、延べ13日間連続で計測を行った。同時に就業する看護師数は日勤で最大15名程度である。看護師の実際の動きを記録するため、ナースステーションおよび処置室の入り口付近など、患者が映らない箇所に固定カメラを2台設置して撮影した。

また、実験期間中の日勤看護師の5名に対し、午前8時30分から午前11時までの間、観察者が各看護師の業務を観察し、看護師がいつ、どこを通過したかについての正解データを記録した。尚、記録するタイミングは、病室、ナースステーション、処置室等の部屋への入退室についてのみを対象とし、廊下と廊下の間の通過など、目視での判断が困難な箇所については記録せずとした。

5.2 位置検出率の評価

IRSSで取得した看護師の通過データ(ID検知データ)と、上述の正解データとを目視で照合することで

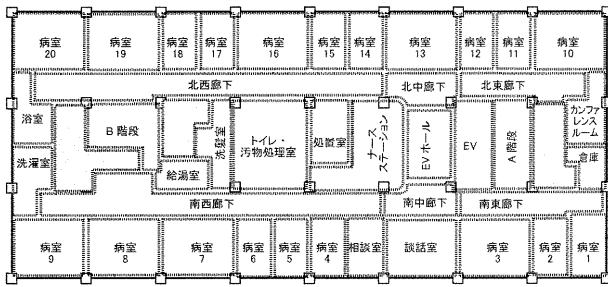


図 6 検知対象の領域定義
Fig. 6 Region definition of the map

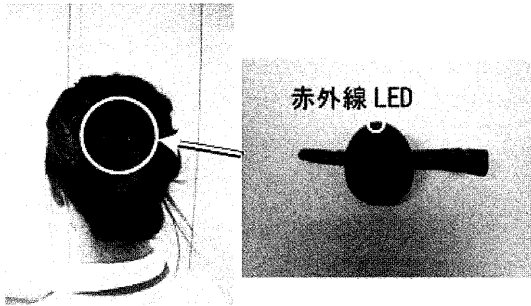


図 7 赤外線送信機と装着した様子
Fig. 7 IR Transmitter worn by a nurse

通過検出精度を評価した。通過データログには、各センサノード ID、センサノードが赤外線受光器で赤外線送信機の ID を検知した時刻、ID から変換した看護師名、赤外線受光器 A, B のどちらで検知したかの情報が付与されており、これより看護師の現在位置を推定する。赤外線 ID は平均 40Hz で送信されるため、通過時に検知される一連の packets 系列に対して、500[ms] 以内の連続した区間を自動検出した。各区間の最後の時刻と、記録データの時刻を比較し、記録タイミングの時間的ゆらぎを考慮して、その時間差が 5 秒以内のものを検知有効と判定した。

5 名の看護師について観察者の記録に基づく通過数（正解）および、センサでの検出数とその検出率の結果を表 3 に示す。全体として平均 90.0% の検出率を得た。Ns 1 を除く 4 名の看護師について検出漏れが生じているが、これは 1) 赤外線送信機を後頭部から左右のいずれかにずらして装着したため、LED が真上を向かず赤外線受信器が ID を検知できない、2) 複数人の看護師が同時に同じ場所を通過するとデコードエラーが生じる、3) ネットワークのトラフィックが過負荷となり、特に ZR を 2 段またぐ ZE からのデータが到着しない、等の原因が考えられる。取得データを正解と照合した結果、複数人が同時通過している場合でもいずれの看護師のデータも正確に検知できていたことから、2) によるデコードエラーは含まれないといえる。また、3) についてのデータ到達遅延についても、観察者の記録に基づく正解データの時刻との時

表 3 看護師位置検出結果

Table 3 Location detection result

看護師 ID	Ns 1	Ns 2	Ns 3	Ns 4	Ns 5
通過数（正解）	86	101	98	78	91
検出数	86	88	94	70	70
検出率 [%]	100	87.1	95.9	89.7	76.9

表 4 総 ID 検知数・1 日当たり総 ID 検知数・平均連続スリープ時間・平均連続稼働時間

Table 4 Total number of ID reception, mean number of ID reception per day, mean sleep time, mean awake time

設置場所	n_{id} [個]	μ_{id} [個]	μ_s [s]	μ_a [s]
NsStn・処置室	1,247,036	95,926	25.0	11.8
病室 19(4)	93,824	7,217	51.1	13.5
病室 16(4)	120,181	9,245	79.3	21.4
病室 11(1)	50,753	3,904	111.2	23.7

間差は 5 秒以内に収まっていた。すなわち、データの到達遅延はあっても検出漏れは含まれないと判断できる。したがって検出漏れはいずれも 1) の通過時における受光部での検知ミスであると推察される。

表 3 において、Ns 5 の検出率が 76.9% と他の看護師と比べ低い原因をビデオ映像で確認したところ、1) の赤外線送信機の装着状態のずれに起因することが分かった。また、装着時だけの問題ではなく、俯きながら入室する場合などでも同様に検出ミスが起こることが分かった。これら問題への対処策としては、部屋の入り口の内と外の各 1 箇所赤外線受光部を設置するだけではなく、エレベータホールのように複数の受光部を用いるなど、光のレベルで検出精度を向上する必要がある。また、俯いて通過する場合の対処としては、送信機側に LED を複数取り付け拡散させる等も可能だが、光量を制限するなどして離れた場所にある受光部が反応しないようにする工夫も必要となる。

一方、検出はできていながらもデータの PC への到着に遅延が生じていることから、3) のトラフィックの過負荷も一因と考えられる。これについては、送信機の発信周波数を低減することや、連続して検出される ID データを全て送信するのではなく、検知開始時および検知終了時のみのデータを送信してトラフィック数を削減するなどの方法が考えられ、今後の課題である。

5.3 消費電力の評価

次に、検知する通過データ数の違いによる電池消費量について、3 箇所の病室（4 人部屋 2 室および個室 1 室）の入り口および、ナースステーション（NsStn）・処置室境界に設置した計 4 箇所 ZE の電池残量进行评估した。表 4 に 13 日間における各 ZE の総 ID 検知数 n_{id} [個]、一日当たり総 ID 検知数 μ_{id} [個]、平均連続スリープ時間 μ_s [s]、平均連続稼働時間 μ_a [s] を示す。病

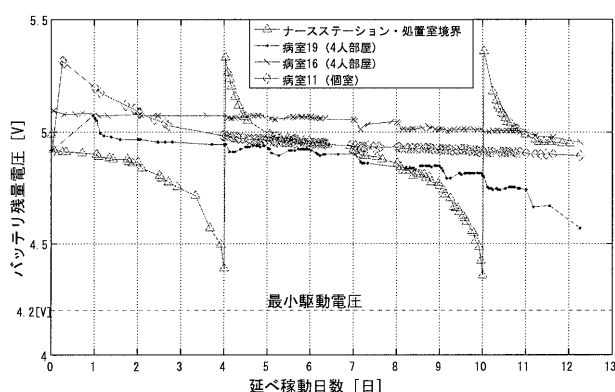


図8 延べ稼働日数に対する電池残量電圧の変化

Fig.8 Remaining battery level vs. working days

室名の後の括弧内の数値は何人部屋かを表す。また、図8に延べ日数に対するバッテリー残量電圧の推移を示す。図8より、ナースステーション・処置室境界のZEの残量は4日目および10日目で急激に減少しており、電池交換を行う必要があった。これは、この領域で定期的に複数の看護師が点滴作成などの業務を行うためであることおよび、表4に示す通り、最もID検知数が多く、病室のそれよりも10倍以上観測されていることから明らかである。また、平均スリープ時間が25.0[s]と短いことから、このような看護師が頻繁に通過する領域は外部電源で駆動する必要がある。

一方、病室全20箇所については、13日間で、電池交換は不要であり、連続稼働した。電池消費量が最も多かった病室19については、13日目においても4.6[V]を維持していた。同じく4人部屋の病室16ではID検知数は病室19と比較して20%ほど多いものの、平均連続スリープ時間 μ_s は約30[s]多く、スリープ時間による省電力効果が認められる。また、個室の病室11はID検知数も少なく、平均連続スリープ時間も111.2[s]と約2分間もあることから、電池消費量は非常に少なく、13日目においても4.9[V]以上の電圧を保持できていた。また、平均連続稼働時間 μ_a についてはいずれも11.8[s]~23.7[s]とさほど差異はなかった。

以上より、AC電源を前提とするWiFi APを用いた既存の商用システム[8, 9, 10]と比べ、本システムはノード設置の容易さとキャリブレーションが不要であることから十分実用的であると考えられる。また、4.3節で述べたように、一日平均30,000個のIDを検知させたノードについて、連続稼働日数が27日17時間という結果および、病室での平均ID検知数が10,000個以内に収まっている(表4)ことから、一般病室ではほぼ一か月間の連続稼働が見込め、要求仕様を満たす。ただし、ナースステーションなど看護師が頻繁に入退室を行う場所のノードについてはより大容量の電池も

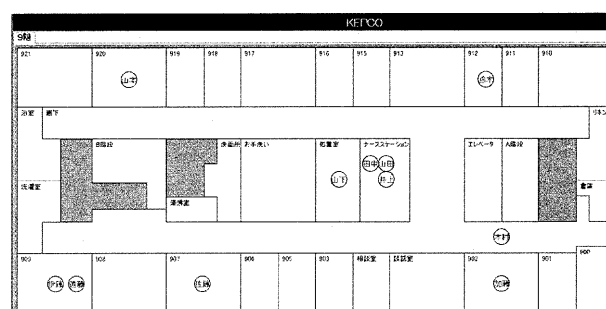


図9 位置表示アプリケーション

Fig.9 Hospital Viewer Application

しくは電源を確保する必要がある。

一方、病院で収集したログを解析したところ、看護師がセンサの下を通過しておらず正しいID検知がない場合でもノードがスリープから復帰する状況があり、その原因は蛍光灯や煙検知器などから発せられる赤外線の外乱による予期せぬウェイクアップであることがわかった。この問題については、赤外線LEDの波長周辺(本システムでは940[nm])のみを透過するフィルタを受光部に用い、さらにIDデコード時に正規のデータであるか否かを判定し、正規データであった場合のみZigBee無線モジュールをスリープから復帰させる処理で対処可能である。また、4.3節で述べたようにノードの時刻精度は日差で最大で50[ms]と十分高いことから、ZCから0時0分に時刻同期コマンドを発行し、ZEでは0時近辺で頻繁にウェイクアップし、それ以外ではスリープ時間の上限を設けないようにスリープ制御プロトコルを変更することにより、より長期の運用を見込むことができる。

5.4 位置表示アプリケーション

本センサネットワークの有効性を評価するため、病棟にいる看護師の位置をリアルタイムに表示する位置表示アプリケーションを構築し、実験期間中にナースステーションのデスクに設置して運用した。位置表示アプリケーションの構成を図9に示す。上述のように、全ZEからのセンサデータはZCを経由してサーバPC上のサーバアプリケーション(IRSS)に集約される。IRSSでは、ZEから送られてくるメッセージのうち、ID受信データを位置推定システム(Real-Time Location Estimator: RTLE)に送る。RTLEは受信データからリアルタイムに看護師の通過を推定し、推定結果を位置表示アプリケーション(Real-Time Hospital Viewer: RTHV)に送る。RTHVは推定結果を元にマップ上に各看護師の位置をアイコン表示する。

5.5 位置推定手法

RTLEでの位置推定は、各ZEのA, Bの受光部で検知した看護師IDごとに一定の時間窓内で集計し、その総数を比較することで行う。例として、図10の上を示すように、ナースステーションと廊下との境界に

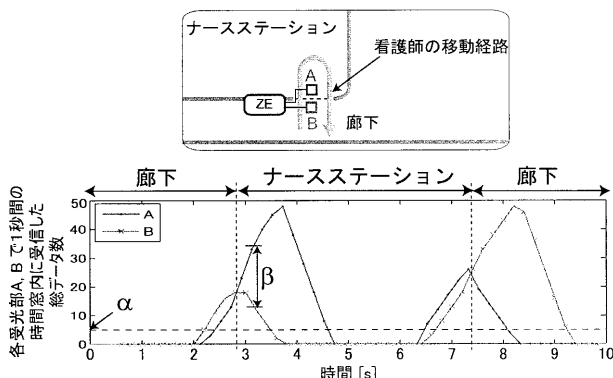


図 10 各受光部での総受信データ数の時間推移
Fig. 10 Temporal transition of total number of data at each receiver

設置された ZE および受光部 A, B の下で, 看護師が最初に廊下からナースステーションに入り, 再度廊下に出たとする. すると, 各受光部 A, B で一秒間の時間窓で検知した ID の総受信データ数は図 10 の下のようにそれぞれ推移する. 看護師 ID の送信周期が平均 40Hz (25ms 間隔) であることから, 時間窓を 20ms ごとにスライドさせてその間の送受信データを集計する. RTLE では, 看護師が受光部の下を通過し始めたと判断する閾値 α (いずれかの受光部で検知した総受信データ数に関する閾値) および, 看護師の位置が変化すると判断する閾値 β (各受光部で検知した総受信データ数の差分に関する閾値) を用い, ZE の A か B のいずれに看護師が存在するかを推定する. 位置推定システム RTLE は看護師 ID が検知される度に (時刻, ZE ノード ID, 看護師 ID, [A|B]) の形式で位置表示システム RTHV にデータを送る. RTHV では, フロアマップ, 各 ZE の座標, 各 ZE の受光部 A, B に相当する領域ラベル定義が記述された設定ファイル群を用い, RTLE から逐次送られるデータに基づいて看護師の位置遷移をアイコンでアニメーションで表示する.

5.6 位置表示アプリケーションの実用性評価

この評価実験に実際に参加した看護師に, システムの効果をアンケートにて調査した. 調査対象は師長・主任クラスを含む看護師 23 名であった.

被験者の目に触れる位置表示システムの画面を参照したかどうかの質問に対しては, 20 名の被験者が数回以上参照したと回答した. 同被験者にこの情報が業務に与える影響を尋ねると, 「役に立つ」と回答した被験者の理由として, 広い病棟フロア内で, 忙しく, また, 病院という特性上, 大声で探すこともできない状況において, 位置を確認できることが高い評価を得ていた. 一方で何度か表示を見ながら, 「余り役に立たない」あるいは「どちらでもない」と回答した理由としては, 位置推定システムの誤判断, あるいは, 表示の時間遅れを主たる原因としていた. また, 全く見な

かった 3 名に対して理由を尋ねたところ, 2 名は装置の存在自体に気付いておらず, 1 名は本質的に他の看護師を捜す機会が無かったことが分かった.

さらに, 総合的な感想として, 8 名の被験者から頭部に装着した赤外線 ID 発信装置に対して, 髪留めによる固定の不十分さを主要因とした違和感や装着性に関する意見を得た. これは ID 発光装置をより小型・軽量化することで解消でき, 結果的に受光器での検知ミスを削減できると考える. 一方で, 画面表示に対しては, 情報としては十分ながら, 前述の位置推定システムの誤判断や表示遅れを要因とした意見が出た. これらについても, 現状の推定アルゴリズムの改良で十分に対応できる課題である.

対象病棟は, 病室 20 部屋と付帯施設が H 型の通路に沿って配置されており, 直接に他者の位置を把握しにくい構造であった. 別に実施した看護師へのインタビューからも, 特に準夜勤や深夜勤では 3 人の看護師のみで全病室の患者に対応するため, 看護師相互の所在を共有しにくいという現場の意見が挙げられていた. 患者の急変など自分だけでは対応が困難な状況が発生した際には, 他の看護師に PHS で助けを呼ぶなどするが, 深夜に病室で話をするのが不適切な状況や, また手が塞がっていて PHS に出られないような状況もある. アンケートの結果ともこの状況は一致しており, 容易に看護師相互の位置を確認できる本提案手法のような手段が業務を安心・安全に遂行する上で有益と考えられる.

6 おわりに

本稿では, 作業者の位置追跡のためのセンサネットワークにおいて, 無線通信規格として ZigBee を用い, 電池駆動でも長時間稼動可能なセンサノードの開発を行った. センサネットワークで全体のノードのスリープ制御プロトコルを新規に実装し, 低消費電力でありながらセンサネットワーク環境での正確な位置追跡を実現する高精度な時刻同期機構を兼ね備えている. 本センサノードは, 病院での導入を目的とし, 既存の位置推定システムと比べ, 電源の確保が困難な環境でも容易に設置と追加ができ, キャリブレーション等のコストが不要である. 実環境として病院の 1 フロアに合計 56 台のノードからなるセンサネットワークを敷設し, 25 名の看護師の通過情報を取得する実験を延べ 13 日間行った. 同時に 15 名以上が就業する状況において, 最も通過頻度の高い病室では連続 13 日の稼動実績が得られ, 通常病室では約 27 日程度の連続稼動時間を見込めた. また, 高い時刻同期精度を保つことにより平均通過検知率 90% を得た.

一方で, 通過センサの検知ミスや位置推定の誤判断,

ZigBee データ伝送の遅れ等による位置表示の間違いが生じており、今後の課題である。検知ミスについては、受信器側でのエラー検知強化や、受光部設置方法、送信機側の光量調整等で解決できる。データ伝送遅延については、ノードでのセンサ処理を高機能化し、検知開始時と検知終了時のみのデータを転送することでトラフィックを削減する方法が考えられる。また、昼夜での看護師の通過移動量が大きく異なることから、スリープ時間を時間帯に合わせて制御することや、通過頻度の少ないノードはスリープ時間を適応的に長くするなどにより、より省電力化を見込むことも可能であり、今後、改良とともに実証評価を継続する。

また、本センサネットワークによって観測した通過情報を可視化する位置表示システムを運用した結果、看護師のアンケートからも、看護師相互の位置を共有することの安心・安全面での有用性を確認した。本システムで計測・推定される病棟内の看護師の位置情報は、オンラインでこれを提供することによる情報共有だけでなく、看護師の行動識別技術 [17] を用いた業務識別結果を組み合わせ、これらの情報を例えば [18] など で用いられている VR 技術でアバタを用いてオフラインで可視化することにより、ヒューマンエラーの分析、新人教育、ベテランのノウハウを共有するための応用システムへの発展も開ける。今後複数のコンテキスト情報を用いた統合可視化技術の可能性についても探っていく。

謝辞

本研究は情報通信研究機構の研究委託により実施したものである。

参考文献

- [1] ZigBee Alliance: <http://www.zigbee.org/en/index.asp>.
- [2] Paramvir Bahl, Venkata N. Padmanabhan: RADAR: an in-building RF-based user location and tracking system, Proc. of IEEE INFOCOM 2000, Vol.2, pp.775-784 (2000).
- [3] Nissanka B. Priyantha, Anit Chakraborty, Hari Balakrishnan: The Cricket Location-Support system, Proc. 6th ACM MOBICOM, pp.32-43 (2000).
- [4] Jeffrey Hightower and Gaetano Borriello: Location Systems for Ubiquitous Computing, IEEE Computer, Vol. 34, No. 8, pp.57-66 (2001).
- [5] Roy Want, Andy Hopper, Veronica Falcao and Jon Gibbons: The Active Badge Location System, ACM Trans. on Info. Sys., pp.91-102 (2002).
- [6] Gaetano Borriello et al.: WALRUS: wireless acoustic location with room-level resolution using ultrasound, Proc. of the 3rd Intl. Conf. on Mobile systems, applications, and services (MobiSys 2005), pp.191-203 (2005).
- [7] Stefano Tennina et al.: Locating ZigBee[®] nodes using the TI[®]s cc2431 location engine: a testbed

platform and new solutions for positioning estimation of wsns in dynamic indoor environments, Proc. of MELT2008, pp.37-42 (2008).

- [8] Aeroscout: <http://www.aeroscout.co.jp/>
- [9] ekahau: <http://www.ekahau.com/>
- [10] Air Location: <http://www.hitachi.co.jp/wirelessinfo/airlocation/>
- [11] 高柳美沙子, 大村廉, 納谷太, 野間春生, 小暮潔, “人の行動分析のための赤外線通過センサの開発,” 第4回情報科学技術フォーラム (FIT2005), pp.259-260 (2005).
- [12] 坂本龍哉, 大村廉, 納谷太, 野間春生, 鳥山朋二, 小暮潔, 佐野睦夫, “複数人物移動軌跡を観測するセンサネットワークにおける時刻同期精度の評価,” 第15回ユビキタスコンピューティングシステム研究発表会 (2007-UBI-015), Vol.2007, No.74, pp.35-40 (2007).
- [13] 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 センサノードの開発, ユビキタスコンピューティングシステム研究会 (2007-UBI-16), Vol. 2007, No. 118, pp.99-104 (2007).
- [14] Arjun Anand, Constantine Manikopoulos, Quentin Jones, and Cristian Borcea: A Quantitative Analysis of Power Consumption for Location-Aware Applications on Smart Phones, Proc. ISIE 2007, pp.1986-1991 (2007).
- [15] Saurabh Ganeriwal, Ram Kumar, and Mani B. Srivastava: Timing-sync protocol for sensor networks, Proc. of Intl. Conf. on Embedded Networked Sensor Systems (SenSys 2003), pp.138-149 (2003).
- [16] 徳永雄一, 西山博仁, 三部健: 無線センサネットワークにおける高精度時刻同期ノードの設計, 情報処理学会研究報告 (ユビキタスコンピューティングシステム研究発表会 2005-UBI-011), Vol. 2005, No. 107, pp.65-68 (2005).
- [17] Futoshi Naya, Ren Ohmura, Fusako Takayanagi, Haruo Noma, Kiyoshi Kogure: Workers' Routine Activity Recognition using Body Movements and Location Information, Proc. ISWC2006, pp.105-108 (2006).
- [18] Ivo Maly et al.: Creation and Visualization of User Behavior in Ambient Intelligent Environment, Proc. the 12th Intl. Conf. Information Visualization, pp.497-502 (2008).

(2008 年 10 月 2 日受付)

[著者紹介]

納谷 太



1994 年慶應義塾大学大学院理工学研究科計算機科学専攻修士課程修了。同年日本電信電話株式会社コミュニケーション科学研究所入所。現在 ATR 知識科学研究所主任研究員。マルチエージェント制御ロボット、人とロボットの触覚コミュニケーション、センサネットワーク、時系列センサデータによる行動・状況理解等の研究開発に従事。IEEE、電子情報通信学会、日本ロボット学会、計測自動制御学会各会員。

高橋 悟史



2006 年大阪大学工学部電子情報エネルギー工学科情報システム工学科目卒業。2008 年同大学院情報科学研究科マルチメディア工学専攻博士前期課程修了。在学中は情報管理システムに興味を持つ。現在、シャープ株式会社所属。

宮前 雅一



2003 年大阪大学大学院工学研究科情報システム工学専攻博士前期課程修了。2006 年同大学院情報科学研究科マルチメディア工学専攻博士後期課程修了。博士(情報科学)。同年(株)国際電気通信基礎技術研究所知識科学研究所研究員。2008 年ウエストユニティス(株)入社、現在に至る。ウェアラブル・ユビキタスシステムの開発に従事。

寺田 努



1997 年大阪大学工学部情報システム工学科卒業。1999 年同大学院工学研究科博士前期課程修了。2000 年同大学院工学研究科博士後期課程退学。同年より大阪大学サイバーメディアセンター助手。2005 年より同講師。2007 年神戸大学大学院工学研究科准教授。現在に至る。2004 年より特定非営利活動法人ウェアラブルコンピュータ研究開発機構理事。2004 年には英国ランカスター大学客員研究員を兼務。博士(工学)。ウェアラブルコンピューティング、ユビキタスコンピューティングの研究に従事。IEEE, 電子情報通信学会, 日本データベース学会, ヒューマンインタフェース学会の各会員。

野間 春生 (正会員)



1989 年筑波大学第三学群基礎工学類卒, 1994 年筑波大学博士課程工学研究科修了。同年株式会社国際電気通信基礎技術研究所入所, 2006 年同知識科学研究所室長。人工現実感, ハプティックインタフェース, センサーネットワーク等の研究に従事。博士(工学)。日本 VR 学会, 計測自動制御学会, 電子情報通信学会, 日本ロボット学会, IEEE, ACM 各会員。

鳥山 朋二



1987 年富山大学大学院工学研究科修士課程修了。同年 NTT 厚木電気通信研究所入所。以来, LSI の設計方式, ヒューマンインタフェースおよび画像処理に関する研究に従事。2005 年富山県立大学大学院工学研究科社会人博士後期課程修了。2005 年 ATR に出向。2008 年より富山県立大学教授。現在に至る。博士(工学)。

小暮 潔



1981 年慶應義塾大学大学院工学研究科電気工学専攻修士課程修了。同年日本電信電話公社に入社。現在, ATR 知識科学研究所所長。博士(工学)。自然言語処理, エージェント, ロボット, 知的環境などの研究に従事。電子情報通信学会, 情報処理学会, 人工知能学会, 言語処理学会, 日本認知科学会, 日本音響学会各会員。

西尾 章治郎



1975 年京都大学工学部数理工学科卒業。1980 年同大学院工学研究科博士後期課程修了。工学博士。京都大学工学部助手, 大阪大学基礎工学部および情報処理教育センター助教授, 大阪大学大学院工学研究科情報システム工学専攻教授を経て, 2002 年より大阪大学大学院情報科学研究科マルチメディア工学専攻教授となり, 現在に至る。2000 年より大阪大学サイバーメディアセンター長, 2003 年より大阪大学大学院情報科学研究科長, その後 2007 年より大阪大学理事・副学長に就任。この間, カナダ・ウォータールー大学, ビクトリア大学客員。データベース, マルチメディアシステムの研究に従事。現在, Data and Knowledge Engineering 等の論文誌編集委員。電子情報通信学会業績賞・論文賞, 人工知能学会論文賞, 情報処理学会論文賞等を受賞。

今井 倫太



1992 年慶應義塾大学理工学部電気工学科卒業。1994 年同大学大学院計算機科学専攻修士課程修了。同年, NTT ヒューマンインタフェース研究所入社。1997 年 ATR 知能映像通信研究所へ出向。2002 年慶應大学大学院理工学研究科開放環境科学専攻後期博士課程修了。博士(工学)。現在, 慶應大学理工学部情報工学科准教授および ATR 知能ロボティクス研究所客員研究員, 科学技術振興機構さがけタイプ研究員。人型ロボットとのインタラクションの研究に従事。情報処理学会, 電子情報通信学会, 日本人工知能学会, 日本認知科学会, ヒューマンインタフェース学会, ACM, IEEE 各会員。