

非常信号配信機構を有する屋内自律型測位システムの設計と実装

池田剛[†] 河本満[†] 幸島明男[†] 車谷浩一[†]

本論文では、非常信号配信機構を有した屋内自律型測位システムを提案する。本システムは、平常時においては携帯端末を用いた屋内ナビゲーションサービス等を提供し、非常時にはサービス利用者に対して平常時サービスと同一の端末に非常信号を配信することが可能である。非常信号は環境内に設置された無線センサノードを通じてユーザ端末に提供される。その際、屋内ナビゲーションシステムは継続的に稼動しているため、非常信号配信と共に利用者の現在位置情報や非常口の位置等、避難に際して有益な情報も提供可能である。本システムを横浜ランドマークプラザに設置し、その動作状況を検証した結果、測位に関しては、平常時のナビゲーションサービスや非常時の避難誘導に十分利用可能な精度であり、また、非常信号の伝搬速度についても十分実用的であることを確認した。

Design and Implementation of Indoor Autonomous Positioning System including Emergency Signal Distribution Mechanism.

Takeshi Ikeda[†] Mitsuru Kawamoto[†] Akio Sashima[†] and Koichi Kurumatani[†]

In this paper, we propose an indoor positioning system including emergency signal distribution mechanism. In normal situations, this system operates indoor navigation service using mobile devices, such as smart-phone, and in emergency situations, it also can distribute emergency signals using the same device as the one utilized in the normal situation. The emergency signal is distributed with the flooding effect through all environmental nodes to user devices. Moreover, in the emergency case, users can obtain useful information for evacuation cases, such as the user's current position and the places of emergency exits, because the indoor positioning system operates continuously during the transmission of the emergency signal. We verify the proposed system at Yokohama Landmark Plaza that is a popular shopping mall in Japan. As a result of verification, it is shown that the positioning accuracy and the emergency signal distributing speed of the system are useful for evacuation guidance.

1. はじめに

近年、ユビキタスコンピューティングに関連した技術の発展に伴い、スマートフォンや携帯電話などの携帯端末を用いた様々なサービスの提案がなされている。屋内ナビゲーションサービスにおける現在位置の推定すなわち屋内測位手法については、屋内では電波の届きにくいGPSの使用は現実的ではないため、これに代わる新しい測位手法が求められている。我々は既に独自に開発した無線センサネットワークシステムComPass System [1]を用いて、環境内に設置された複数の無線センサノード（以下、環境ノードと呼ぶ）から発せられた自己IDなどが含まれた信号（以下、ビーコン信号と呼ぶ）を用いた自律型測位システムを設計および実環境に実装しており、その実現可能性や有用性、ユーザビリティについて検証を行ってきた[2]。また、我々は、その他の屋内自律測位手法として、IEEE802.15.4を使用したパーティクルフィルタによる測位システムも設計した[3]。

また、近年では、施設来訪者に対する付加的な安心感を与える目的で、従来の非常口や避難経路の単なる掲示や館内放送の整備に加えて、よりの確な非常事態通知への期待が高まっている。このことを実現するために、我々は、測位に使用しているビーコン信号に環境内の危険を知らせる非常信号を内包することにより効率的に非常情報を配信する通信プロトコルComPass-B ESDを設計し[4]、そして、文献1)で開発した微弱無線通信による無線センサネットワークにおいて試験的な実装を行った。このプロトコルは、ComPass Systemにおける通信プロトコルであるComPass-Bに対して、ビーコン信号の形式を非常信号が内包可能なように拡張することにより実現したものであり、ビーコン信号内の非常情報の内容は測位と同様リアルタイムに検出可能である。また、非常情報は環境ノードを用いて、フラッディングによる伝搬によって広範囲に配信することが可能である。

これら二つのシステムは、屋内環境とりわけ大規模商業施設において、ユーザの現在位置を表示し、店舗等への案内を行う屋内ナビゲーションサービスや非常時における来訪者への避難指示などの伝達体制の確立に必須の技術であろう。しかしながら、現状では、これらのシステムは、個別に提供されていることが多く、特に、非常信号については「常に」配信されるものではないため、この非常信号配信だけに特化したシステムでは運用を煩雑にする恐れがある。

そこで、我々は、この二つのシステムを統合した無線センサネットワークによる非常信号配信機構を有する屋内自律型測位システムを開発した。これは、ナビゲーション

[†] 産業技術総合研究所 / 科学技術振興機構, CREST
National Institution of Advanced Industrial Science and Technology / CREST, JST

ンシステムという平常時に活用するシステムを非常時においても使用することにより、効果的なシステムの形成を目的としている。さらに、本システムの実環境における適用性を検証するために、神奈川県横浜市みなとみらい地区にある横浜ランドマークプラザに本システムを実装した。

本論文では、屋内における非常信号の配信に関する従来の研究との比較と本研究における非常信号配信へのアプローチについて述べ(2章)、本システムの各構成要素について、基盤となる無線センサネットワークシステム ComPass System と、非常信号配信機構である ComPass-B ESD、屋内自律型測位手法の概要、新規に開発した IEEE802.15.4 準拠無線センサノードハードウェアについて述べる(3章)。最後に、これらを統合したシステムの構成とそのシステムの横浜ランドマークプラザへの実装と測位状況について述べる(4章)。

2. 関連先行事例と本研究のアプローチ

本章では、屋内における非常事態発生時の対応に関連した先行事例を挙げると共に、屋内における非常信号の配信に求められる要件について述べる。なお、本稿における「非常信号」とは、非常事態が発生したことを通知する信号であるものとする。

屋内の非常事態発生時における情報サービスに関する関連研究としては、センサネットワークを用いた避難経路生成およびシミュレーション[5][6]、高層ビルにおける避難行動時のエレベータ制御の最適化[7]など様々なものがあるが、その多くは屋外待避時の行動に着目している。本研究では、不特定多数の来訪者が存在する大型商業施設などの公共空間を想定して、屋外待避が必要となった状況における非常信号の配信について検討する。諸施設において屋外待避に至るまでにはいくつかの過程を経ることになり、その指針は消防庁や地方自治体等にて示されているが、大きな段階としては次に挙げる3段階に大別できる[8]。

- 1) 非常状態の認識 環境内のセンサ、自衛消防要員による認知等
- 2) 来訪者への通知 館内放送、携帯電話上でのサービス(地震通知)等
- 3) 屋外避難の開始 非常口の掲示(地図)、自衛消防要員等による誘導等

本研究では、来訪者向けの情報サービスの観点から 2)の来訪者への通知および 3)の避難指示発生時の非常口の提示に着目した。来訪者への通知の遅れや内容の不備など「通知漏れによる被害の拡大」は広く知られており、これを防ぐことを目的とした、来訪者が必要とする情報を効率的に伝達するための現実的な非常情報の通知および提示の実現を目標とする。

2.1 非常信号配信に求められる要件

本論文では、来訪者が非常時に遭遇し、避難指示に従って屋外待避しなくてはならなくなった場合の、避難行動に有用な情報として考えられる要素として次の三点に着目する。

- 1) 災害発生的事实、その状態および発生場所
- 2) 来訪者の現在位置
- 3) 非常口の場所

特に重要なのが来訪者の現在位置であり、この情報がなければ避難を開始するのも困難であり、自己の位置が認識できていない来訪者が大勢存在すればパニック状態に陥る可能性があると考えられ、また、非常口の場所および災害の状態と災害発生場所は、避難の緊急性や避難する移動方向を判断するための有効な情報であると考えられる。従って、少なくとも、災害発生的事实と、現在位置および非常口の場所が分かっていたら、来訪者は自律的に避難行動を行うことが期待できる。

2.2 非常信号配信の現状における欠点と本研究のアプローチ

上記のような非常情報を来訪者に対して的確に通知することは、施設の設計や運用にも関わる重要な問題である。これまで、屋内施設における代表的な非常信号配信手法としては、非常ベルや館内放送など音声による通知システムがあるが、その多くは館内の非常ボタンやセンサなどを起動要因として独立システムとして敷設されており、非常時に非常ベル等の音声通知を起動するものである。また、近年では非常信号の管理装置を日常的に使用する館内放送に接続して一斉放送するものも多い。しかしながら、通知するための媒体は音声であるため、通知の確実性は館内放送スピーカや非常ベルの位置や来訪者の状態に依存する。また、ユーザ所持端末によるサービスを展開している屋内施設においては、これらの手法だけでは端末に非常信号を通知することは難しく、仮に端末が非常時などに対応するサービスを有していたとしても、その起動は所持ユーザによる操作が必要となる可能性が高い。

日本では、近年の携帯電話普及に伴い、携帯電話通信キャリアの通信網を使用した非常信号通知機能を有した端末も発売されている[9]。このサービスは、気象庁の緊急地震速報[10]の早期警戒情報を元にした通知機能であり、地域を限定して配信するものである。ただし、この通知はあくまでキャリアの通信網におけるエリアを元にした限定的配信であり、これより粒度の細かい施設内部に限定した非常信号を配信するシステムではない。これらの手法では、おおまかな災害の状態の通知には有効だが、個々の来訪者の現在位置や最適な非常口など、来訪者が客観的に自分の状況を把握する情報としては十分ではない。災害の状態を通知した時点で、来訪者が現在位置、現在の

状態、非常口の位置を客観的に把握するための情報の提示が必要になるであろう。これらの情報を個別の情報源から別々に提供することも可能であるが、コストや効率の面からも適切であるとは言い難い。

そこで我々はこれらの情報を統合し、単一の系統で一括して取得処理できるようなシステムを、屋内ナビゲーションシステムの上に非常信号の通知機構を追加することで実現した。屋内ナビゲーションシステムは平常時において継続的に使用し利便性を提供するように設計されているため、来訪者に対して端末装置を所持させる動機付けとしては十分である。

3. 提案システムの構成要素

本章では、我々が提案する非常信号配信機構を有した屋内自律型測位システムの構成要素の概要を述べる。具体的には、屋内測位を実行するための無線センサネットワークシステム ComPass System と、同システム上で使用する ComPass-B 通信プロトコルとその拡張系である ComPass-B ESD 通信プロトコル、パーティクルフィルタを用いた位置推定機構、そして、我々が独自に開発した IEEE802.15.4 準拠無線センサノードハードウェアについて述べる。

3.1 ComPass System

我々が独自に開発した ComPass System [1]は、屋内自律型ナビゲーションシステムが動作可能な無線センサネットワークシステムである。ComPass System を用いた屋内自律型ナビゲーションシステムの構成図を Fig.1 に示す。

無線通信を用いた自律型測位には、位置が既知である環境ノードの識別 ID が含まれたビーコン信号が必要である。その他、環境内の計測という目的に対しては、環境ノードに搭載されたセンサによるセンシングデータの送受信システムも必要である。ComPass System はこれら二つの要素を効果的に伝送することを目的とした無線センサネットワークである。

環境内に環境ノードを複数配置し、そこからビーコン信号のデータであるビーコンパケットを定期的に送信する。このパケット内にはノード ID に加えて、センシングデータ等を含むメッセージデータも格納可能である。ユーザ端末と組となっている無線ノード（以下、ユーザノードと呼ぶ）は、このビーコンパケットを受信し、端末パケットという端末とのやりとりをするためのパケットを生成し、Bluetooth および USB 等の端末回線を通じてユーザ端末に対して受信データを送信する。各パケットのフォーマットや通信方式を含む交信手順は、後述の ComPass-B 通信プロトコルに従う。

ユーザ端末としてはスマートフォンや携帯電話を想定しており、位置推定等はユー

ザ端末において実行される。具体的には、端末パケットとして受信された複数のビーコン信号を用いて、後述のパーティクルフィルタを用いた確率推論によりユーザの現在位置を推定する。測位の結果を用いて、端末画面上に地図情報と共に現在位置を表示し、さらに、ナビゲーションサービスを用いて目的地への経路の表示や、店舗情報の案内等を行うなどのサービスが実現される。

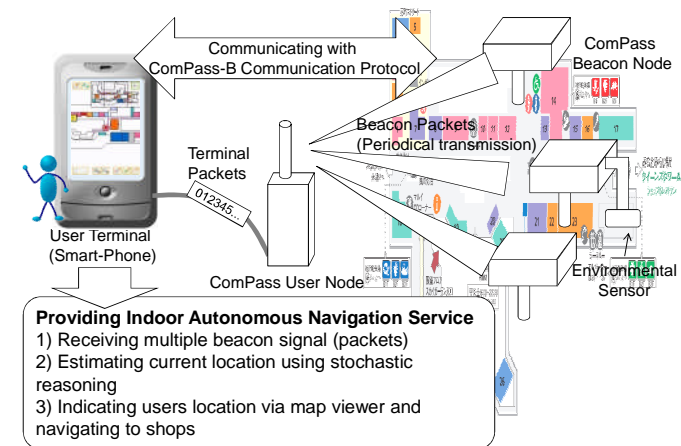


Fig.1: Indoor Autonomous Navigation System with ComPass System

3.2 ComPass-B および ComPass-B ESD 通信プロトコル

ComPass-B 通信プロトコル（以下、ComPass-B と呼ぶ）は、測位等に使用するビーコン信号の発信、ならびにセンシングデータ等の環境情報の配信に主眼を置いた通信プロトコルである。動作を想定しているハードウェアは微弱無線通信（文献[1]で設計）のほか、IEEE802.15.4（本稿にて述べる）、Wi-Fi を用いた無線デバイスである。

また、ComPass-B ESD (Emergency Signal Distribution)は、ComPass-B に非常状態に関する情報を配信可能な機構に追加することで、非常信号配信機構を構成している[4]。具体的には、ComPass-B の測位用ビーコン信号に非常信号を付加できるような拡張設計を行ったものである。環境ノードは平常時および非常時を問わず常時稼働しているため、ナビゲーションサービスを使用している利用者に遅延なく非常信号を通知することが可能となる。

Fig.2 に、ComPass-B および ComPass-B ESD におけるパケットの流れを示す。ComPass-B では、「ビーコンパケット」「端末パケット」と呼ばれる 2 種類のパケットを定義している。ビーコンパケットは、ノードデバイス間の無線通信に用いるパケッ

トであり、ComPass-B では変調後もしくは MAC 層より上のレイヤーのフォーマットを定義している。一方、端末パケットは、端末側の無線ノードとユーザ端末装置間の通信に用いるものであり、その伝送は有線回線やそれに相当する媒体を使用する。

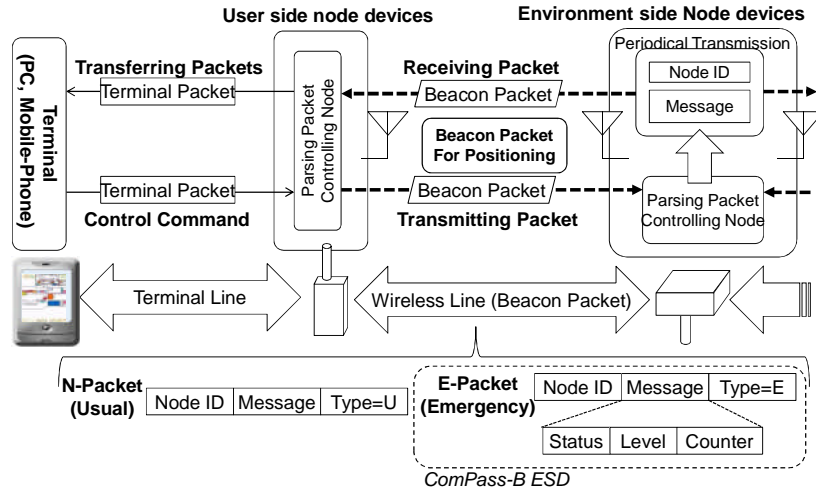


Fig.2: Data Flow of ComPass-B and ComPass-B ESD Communication Protocol

ComPass-B ESD におけるビーコンパケットは、メッセージに非常信号に必要な情報を格納可能なように追加定義したものである。具体的には、非常状態の動作を示すステータス、要因を示す警戒レベル、情報の新鮮度を示すシーケンスカウンタを格納可能とした。ComPass-B ESD 適用下ではビーコンパケットは、平常時に使用する「平常用ビーコンパケット」(N-Packet)、非常時に使用する「非常用ビーコンパケット」(E-Packet)の二つに分けられる。これらのパケットの性質は、メッセージの内容以外に違いはなく、測位エンジンはどちらを使用しても全く同様に位置推定処理が可能である。一方、ユーザ端末上のアプリケーションサービスでは、このパケットの種別を区別することにより、環境が平常時か非常時かを認識する。

パケットの流れは、大きく分けて無線ノードデバイス間のビーコンパケット送受信と、ユーザノードデバイスとユーザ端末の間の端末パケット送受信に分かれる。ビーコンパケットの中には、ノード ID の他にセンシング情報等のメッセージデータ、パケットの種別だけが含まれる。ビーコンパケットに付加的な情報を持たせないのは無線帯域幅の削減による安定的な測位に必要な高頻度発信を考慮したためである。

ComPass-B ESD 通信プロトコルでは上記の非常用ビーコンパケットの定義の他、非常状態のステータスおよびレベルとその遷移条件、ノード間通信による非常信号の伝搬の配信を定義した。ComPass-B ESD による非常信号伝搬の流れを Fig.3 に示す。

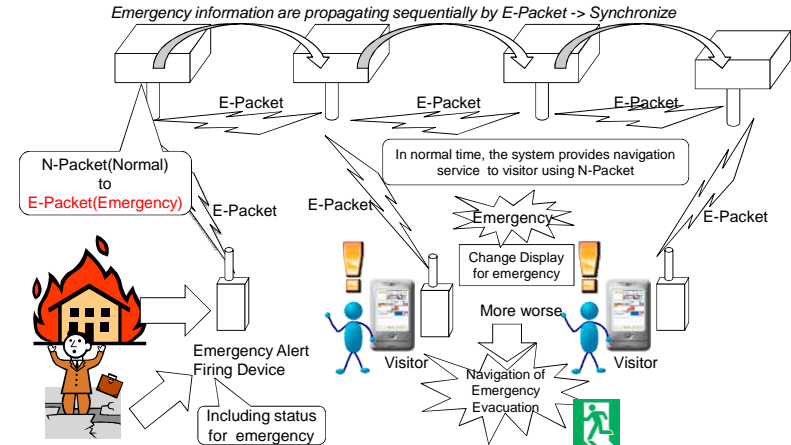


Fig.3: The Emergency Signal Propagation Flow of ComPass-B ESD

ComPass-B ESD 適用下では、平常時は環境ノードから発信されている平常用ビーコンパケットを用いて屋内測位を行うが、何らかの要因が発生した場合、その要因を示す警戒レベルが記述されている非常用ビーコンパケットを管理者管轄下の非常信号発信端末によって環境内に発信する。これを受け取った環境ノードは動作モードを非常用に切り替え、発信ビーコンパケットを平常用から受信した非常情報と同一の非常用ビーコンパケットに切り替える。他の環境ノードも同様に発信が切り替わるため結果として短時間のうちにすべての環境ノードの発信ビーコン信号が非常用に切り替わることが期待できる。ComPass System および ComPass-B ESD では、ルーティング等の通信制御を行わないため、この伝搬は氾濫的(Flooding)に行われる。なお、同様の流れで要因の変化の更新も行われるが、これの新鮮度を保証するためにパケット内のカウンタが使用される。また、ビーコン信号の発信周期は発信するパケット種別に依存しない。非常用ビーコンパケットを受信して自己の発信ビーコンパケット種別が切り替わるのは、周期設定に従った次の発信タイミングである。そのため、この時点で最大で1周期分の遅延が発生する。

一方、非常用ビーコンパケットを受信したユーザ端末は、その内容を画面に表示すると共に、その内容によっては自動的に最寄りの非常口を提示することとなる。その

ため、ユーザ端末は非常時であっても測位は続行する必要があるが、前述の通り測位には平常用および非常用どちらのビーコンパケットも区別なく使用可能である。

3.3 パーティクルフィルタによる屋内自律型測位機構

本システムにて使用する測位機構は、屋内を対象とした環境側から発信されたビーコン信号を用いたものであり、具体的にはビーコン信号受信時の電界強度を観測情報として使用する。この観測情報をパーティクルフィルタ[11]によって確率的に推論し推定位置を算出する。パーティクルフィルタは逐次モンテカルロ法の一様であり、状態モデルが非線形であっても適用可能な柔軟性の高い確率推論方式である。本システムにおけるパーティクルフィルタの動作概要を Fig.4 に示す（詳細は文献 3)を参照）。

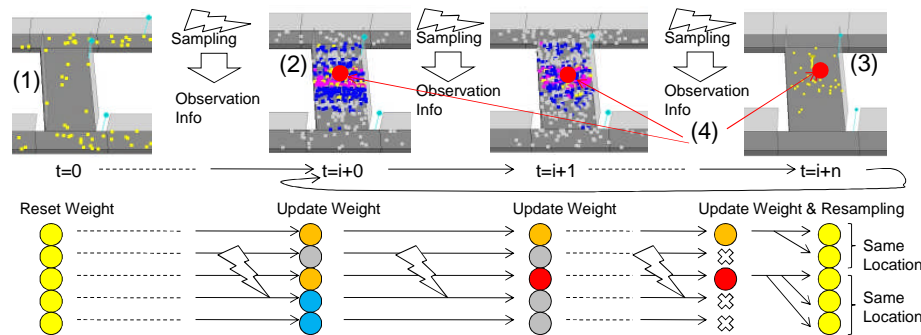


Fig.3: The Overview of Particle Filter for Positioning.

パーティクルフィルタにおける粒子は、本測位機構においては候補点となる座標値とその粒子の存在度合いを示す重み値を持つ。この粒子個々について（初期位置はランダムによって決定、重み値は固定値にリセット（Fig.4 内(1)）、位置を適宜遷移（基本的には正規分布乱数に従う）したうえで、配置位置における事前計測した電界強度群と、受信機から得られた電界強度群を比較することによってその重みを更新し（Fig.4 内(2)）、重みの加重平均によって推定位置を決定する（Fig.4 内(4)）。また、重み値は直前のそれを元に逐次更新されるため、推定を繰り返す度に粒子によってその差が広がる。そのため一定周期毎に重み値を基準に粒子を再選択するリサンプリングを行う（Fig.4 内(3)）。リサンプリングによって存在度合いの高い粒子が残り、そうでない粒子は淘汰される。

本測位機構はその処理のすべてをユーザ端末内にて実行する。そのため、測位のための外部演算サーバ等は必要としない。得られた推定位置は必要に応じてルートマッ

チング等の補正処理を行った後、ユーザ端末の画面上に表示される。このとき、端末において店舗案内等のナビゲーション機能が動作中ならば、必要に応じて進行方向の指示なども行う。

3.4 ComPass-Z: IEEE802.15.4 / ZigBee 準拠無線センサノード

我々はセンサノードハードウェアについて、文献 1)にて開発した微弱無線通信による無線センサノードの他、今回新たに IEEE802.15.4 および ZigBee 規格に準拠した無線センサノード“ComPass-Z”を開発した。ComPass-Z は、IEEE802.15.4 に準拠した無線通信機構を下位レイヤーに持ち、上位レイヤーとしては ZigBee 規格に準拠したソフトウェアスタックを有している。

ComPass-Z において ComPass-B および後述の ComPass-B ESD プロトコルは ZigBee ソフトウェアスタックと並行して実装されており、ComPass-B, ComPass-B ESD は ZigBee のフレームワークには依存していない。これは、ZigBee の通信プロトコルはデータ転送の速達性よりは確実性を重視しており、特に ComPass-B のビーコン信号送受信で用いる一斉送信においては、ZigBee のそれでは無線帯域およびハードウェア内 MPU に大きな負荷を与えるからである。

ComPass-Z の構成および基板形状を Fig.5 に示す。ComPass-Z には、IEEE802.15.4 のベースバンドおよび ADC 等周辺機器を内蔵した統合型 MPU モジュールを用いており、センサ等はコネクタを経由して接続する。アンテナは表面実装型の小型アンテナを実装した。なお、ComPass-Z は総務省の工事設計認証を取得しているため (005WWCA0313)、実環境での稼働が法的に可能である。

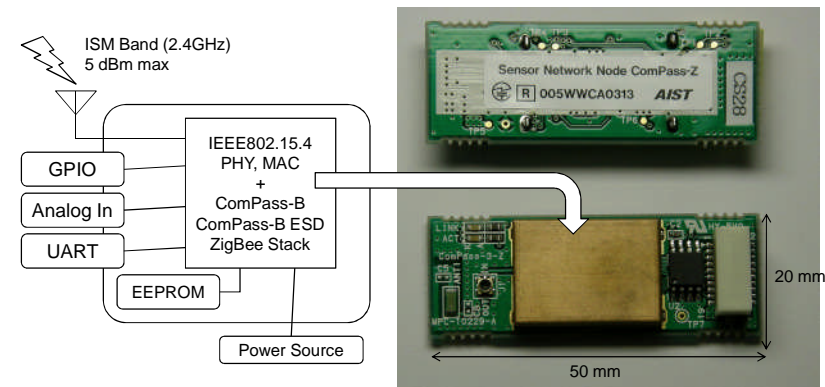


Fig.5: The Architecture and PCB Image of ComPass-Z

4. 非常信号配信機構と屋内自律型測位機構の統合と実環境への実装

本章では、前章で述べた各機構の統合によって形成された非常信号配信機構を有する屋内自律型測位システムについて述べる。また、本システムの実環境への実装例として、横浜ランドマークプラザ[a]における実装状況について述べる。

4.1 非常信号配信機構と屋内自律型測位機構の統合

すでに述べたとおり、非常信号配信機を実現する ComPass-B ESD は ComPass-B の拡張的設計であり、また、本システムの屋内測位機構は平常用および非常用ビーコンパケットのどちらも使用可能である。そのため、この二つの統合は容易に実現可能である。Fig.6 本システムの概念図を示す。

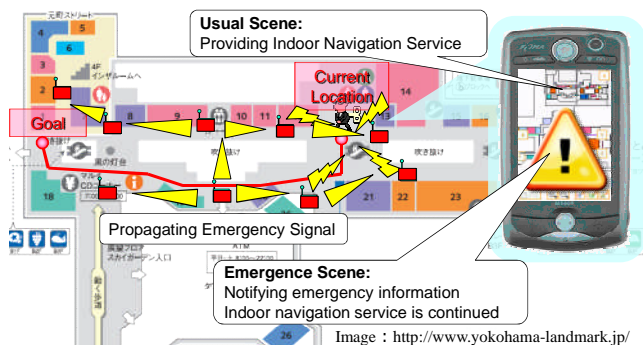


Fig.6: The Overview of Indoor Navigation and Emergency Signal Distribution System

本システムは平常時においては来訪者に対してナビゲーションなどの利便性の高いサービスを提供する。一方、非常時には前述の非常用ビーコンパケットの伝搬に従って全対象者に対して非常情報を通知する。具体的には、ビーコン信号はその用途上、常に定期的に繰り返し配信し続けているため、この信号に含まれている情報は大きな遅延が発生することなくユーザノードへ配信され、ユーザ端末上で解釈し来訪者に通知することが可能である。非常用ビーコンパケットを認識したユーザ端末は、端末画面上において非常信号を受信した旨等を表示することにより、来訪者に災害が発生したことを通知する。非常信号を受信した時点での現在位置は自律型測位機構によって得られているため、その時点で周辺の非常口を地図上に表示することによって、

a 三菱地所株式会社。神奈川県横浜市西区みなとみらい。

来訪者に避難のための情報を与えることが可能となる。

4.2 横浜ランドマークプラザへの実装

前項で示したシステムを横浜ランドマークプラザへ実装した。実装の概要を Fig.7 に示す。なお、本システムの実装は文献 1)で行った実装の一部を取り替えることによって実現している。

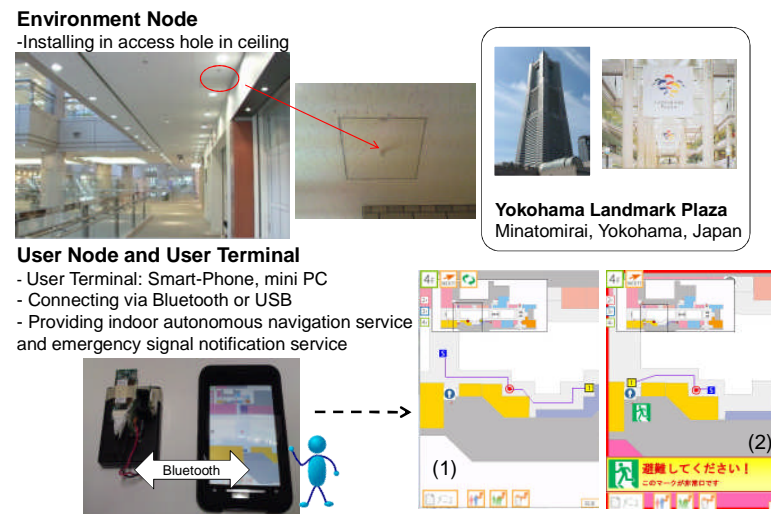


Fig.7: The Overview of Installation on Yokohama Landmark Plaza.

本実装においてサービスエリアを 2F, 3F, 4F と設定し、この領域に環境ノードを歩行可能領域において 114.04 m²あたりに一台の割合で設置した。環境ノードの設置は、文献 1)と同様に天井の点検口としている。また、電源については AC 商用電源を使用した。

ユーザ端末の一つとしてスマートフォン(Softbank X02T)を使用し、ユーザノードデバイスとは Bluetooth を経由して接続した。端末ではユーザノードが受信したビーコンパケットを元に自律型測位機構によって位置推定を行い、平常時には推定結果を基に地図表示や店舗案内などのナビゲーションサービスを行う (Fig.7 内(1))。そして、非常用ビーコンパケットを受信した際には、その内容が画面に割り込み表示され、避難指示が伝達された場合には、非常口の表示や最寄りの非常口までの案内が開始される (Fig.7 内(2))。なお、すでに述べたとおり本システムの測位機構はサーバによる

演算を必要としないため、位置推定のためのサーバアクセスは行なわない。

4.3 測位結果例

実装システムにおいて、実際に被験者が歩行したときの測位結果の例を Fig.8 に示す。これは、横浜ランドマークプラザの 4F 中央部において被験者が歩行軌跡（図中緑線）に従って立ち止まることなく常に歩行した際の、測位機構から出力された推定位置の軌跡（図中赤線）を示したものである。なお、この結果において、被験者が歩行軌跡通りに定速度で移動したことを仮定したときの測位誤差は 2.66 m であった。

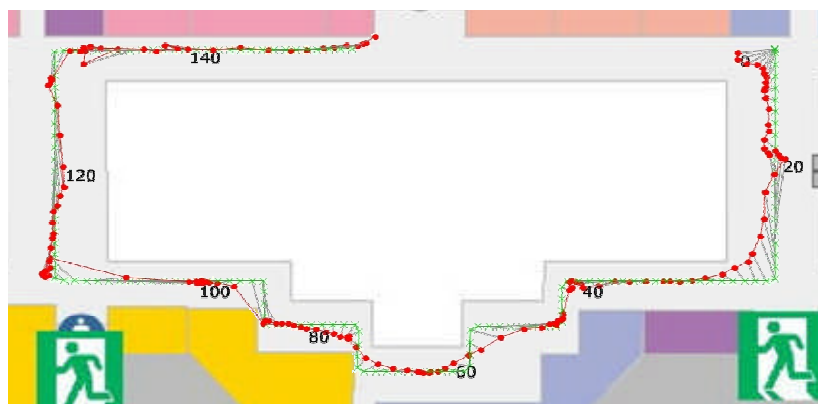
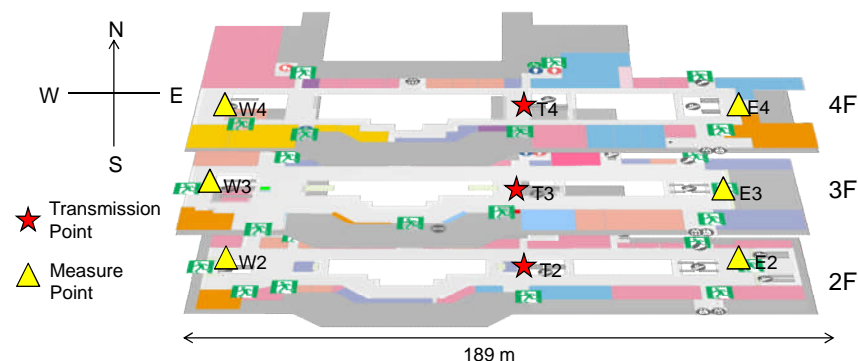


Fig.8: The Example of Estimated Trajectory.

この結果を含め何度か測位実験を行った結果から、測位機構による推定軌跡は歩行軌跡に対して概ね追尾していることが確認できた。

4.4 非常信号の伝搬速度

本システムに含まれている非常信号配信機構について、その伝搬速度を計測した。計測条件および結果を Fig.9 に示す。本計測は非常用ビーコンパケット発信源を各階中央部に配置し(Transmission Point), 各計測地点(Measure Point)において、発信を開始してから最初に発信パケットと同一の非常信号を受信するまでの時間（複数計測したものの平均値）からその伝搬速度を算出した。ただし、どの計測位置においても発信源の非常用ビーコンパケットを直接受信することはできない。



		To West Side Measure Point			To East Side Measure Point		
		W2	W3	W4	E2	E3	E4
From	T2	5.66 sec 18.91 m/s	5.20 sec 20.56 m/sec	5.49 sec 19.58 m/s	7.22 sec 10.70 m/s	4.59 sec 19.62 m/s	5.29 sec 15.67 m/s
	T3	4.23 sec 25.67 m/s	3.97 sec 29.61 m/sec	4.85 sec 22.51 m/s	6.40 sec 12.69 m/s	4.40 sec 18.61 m/s	5.80 sec 14.51 m/s
	T4	3.90 sec 27.68 m/s	3.61 sec 29.65 m/s	3.93 sec 27.46 m/s	7.22 sec 11.49 m/s	5.28 sec 15.91 m/s	7.01 sec 12.18 m/s

Fig.9: The Result of Propagation Test of Emergency Signal

この結果、伝搬速度は条件によっても異なるが、西側への伝搬は平均 24.63 m/sec、東側への伝搬は平均 14.7 m/sec であった。

5. 考察

本章では提案および実装した非常信号配信機構を有する屋内自律型測位システムおよび前章での実環境での検証結果を踏まえて、提案システムの有用性および実用性について議論する。

5.1 ComPass-B ESD の有用性

屋内測位の実現手法には様々なものが存在するが、無線通信を用いた手法に限ると、そのほとんど全ての手法では、RSSI, TOA, TDOA 等の受信信号の物理値を用いた測位演算を行っている。また、無線信号の受信は比較的高頻度であることが求められる。従って、非常信号の伝送だけのパケットを追加的に使用することは、無線通信の通信

量や帯域占有率の観点から好ましくない。非常信号を測位用信号の一部として伝搬させる機構を持つ ComPass-B ESD では、非常信号の伝搬のための追加的な通信量ならびに通信帯域占有率の増加は起こらず、平常時と全く同一の通信量・通信帯域占有率で非常信号の伝搬が可能であり、非常信号の伝搬の安定性が期待できる。

前章にて示した横浜ランドマークプラザにおける実装では、非常信号の伝搬速度は最低でも約 10m/sec であり、最高で約 30 m/sec であった。この速度は非常情報がユーザに伝わるだけでなく、さらに端末も相当の動作モードに切り替わるまでのものを示していることを考慮に入れると、実用的には十分な時間で伝搬しているといえる。

5.2 屋内自律型測位システムに統合した非常信号配信機構の実用性

すでに述べたとおり、非常時に来訪者に提供される情報の内容という観点からは、本システムでは、非常状態の通知に加えて、現在の位置、非常口の位置、そこまでの経路を提供することが可能であり、従来の音声ならびに環境に設置された地図情報に加えてより多くの情報の提示が可能となる。このことは来訪者に対して施設に対する安心感を与えることにもつながると考えられる。また、非常信号を受信することのみを目的とした専用のデバイスを所持させることは、来訪者の施設に対する利便性を低下させる要因になり、その普及に難点が残ると考えられるが、本システムでは、平常時での測位ならびにナビゲーションサービスの実行と非常時の必要な情報の配信ができるように設計されており、非常信号配信用の専用デバイスは必要としない。この点は、従来の非常信号配信機構にはない重要な利点であると考えている。

避難を円滑に行うためには、避難指示が発令された際に提示される非常口が現在位置に対して近傍となることが最適であると考えられ、そのためには高い精度による測位が必要となる。横浜ランドマークプラザの実装において平均測位誤差は、場所にも依存するが約 3 m 程度であり、この誤差は端末使用者の見通しのきく範囲である。ゆえに、本実装システムは平常時および非常時両方において実用的な性能を有している」と結論付けられる。

6. おわりに

本稿では、公共空間における来訪者への非常信号の配信を目的とした、非常信号配信機構を有した屋内自律型測位システムについて述べた。本システムは、非常信号配信機構 ComPass-B ESD については我々が既に開発しているセンサネットワークシステム ComPass System および ComPass-B 通信プロトコルを拡張する形式で実現しており、屋内自律型測位に用いられるビーコンパケットに非常信号を付加することで、来訪者が所持する端末へと非常信号を配信する機能を実現した。非常信号を、位置情報、

非常口情報、そこまでの経路の情報と同時にユーザへ提供できることは、来訪者にとっても施設管理者にとっても有益であろう。

また本稿では、システムの例として横浜ランドマークプラザへの実装について報告した。システムの根幹である屋内自律型測位機構については実用上問題のない精度で測位が実現されることが確認できた。また、非常信号の配信についても十分実用的な伝搬速度で配信されていることを示した。

参考文献

- 1) T. Ikeda, Y. Inoue, A. Sashima, K. Yamamoto, T. Yamashita, and K. Kurumatani, "ComPass System: An Low Power Wireless Sensor Network System and its Application to Indoor Positioning", in the Proc. of the 5th International Conference on Soft Computing as Transdisciplinary Science and Technology Proceedings (Paris), ACM, pp.656-662 (2008).
- 2) Y. Inoue, T. Ikeda, K. Yamamoto, T. Yamashita, A. Sashima and K. Kurumatani, "Usability Study of Indoor Mobile Navigation System in Commercial Facilities", In Proc. of the 2nd International Workshop on Ubiquitous Systems Evaluation (USE 2008) in UbiComp 2008, pp.45-50, Seoul, South Korea (2008).
- 3) 池田剛, 河本満, 幸島明男, 鈴木恵二, 車谷浩一: "ISM 帯無線通信によるパーティクルフィルタを用いた頑健な屋内自律型測位システム", 電気学会論文誌, Vol.131, No. 1, Sec. C. (採録決定)
- 4) T. Ikeda, A. Sashima, and K. Kurumatani: "ComPass-B ESD: An Emergency Signal Distribution Protocol on Low Power Radio Node Devices for Indoor Emergency Evacuation Navigation System," In the Proc. of International Symposium on Ubiquitous Computing System 2009 (UCS-2009), pp.123-132, Information Processing Society of Japan, (2009).
- 5) Lorincz, K., Malan, D. J., Fulford-Jones, T. R.F., Nawoj, A., Clavel, A., Shnyder, V., Mainland, G., Welsh, M. and Moulton, S.: Sensor Networks for Emergency Response: Challenges and Opportunities, IEEE Pervasive Computing, vol. 3, no. 4, pp. 16-23, Oct-Dec (2004).
- 6) M. Barnes, H. Leather, and D.K. Arvind: "Emergency Evacuation using Wireless Sensor Networks", 32nd IEEE Conference on Local Computer Networks, pp. 851-857 (2007).
- 7) M.L. Siikonen, and H.Hakonen: "Efficient Evacuation Method in Tall Building", Elevator World July 2003 (2003).
- 8) 総務省消防庁: "大規模地震等に対応した消防計画作成ガイドラインについて", 消防予第 272 号, <http://www.fdma.go.jp/html/data/tuchi2010/pdf/201021yo272.pdf> (2008)
- 9) M. Nakao, M. Onogi, K. Sugiyama, T. Hayashi, and H. Sakuramoto: "Emergency Information Broadcasting Distribution System", NTT DoCoMo Technical Journal, Vol. 9 No. 4, pp. 4-10 (2007).
- 10) 気象庁: "緊急地震速報について", <http://www.seisvol.kishou.go.jp/eq/EEW/kaisetsu/index.html>
- 11) 麻生英樹: "パーティクルフィルタを用いたベイズ推論のユーザインタフェースへの応用, 信学技報" Vol.105 No.342, pp.31-36 (2005)