

学位論文題名

Design and Implementation of Indoor Location Based Service Platform

(屋内位置サービスプラットフォームの設計と実装)

学位論文内容の要旨

人や物の位置情報は、多くの状況依存システムやサービスにおける基本的な情報の一つであり、また、この位置情報が取得できることによる実現が期待できる利便性の高いシステムは数多く考えられる。本研究はこれらの根幹となる位置情報の取得に必要な技術およびシステム構成論について着目する。

屋外における位置情報の取得については、GPS を代表とする GNSS の民間への普及により、多くの関連システムやサービスが実現されてきた。そして、位置情報を円滑に取得し目的のアプリケーションシステムへ受け渡すプラットフォームである位置情報サービスプラットフォームについても、屋外におけるそれは GPS などの自律型測位システムと、移動体通信システムによって多くの実用的システムが確立しようとしている。

一方、屋内環境、特に、施設の規模が大きい大規模屋内商業施設においても、屋内測位システムを用い位置情報サービスの実現の期待が高い。また、多くの先行事例によってこの屋内測位システムおよび位置情報サービスの実現について考究されている。しかしながら、これに関する事例の多さにもかかわらず、屋内測位として決定的に優れている手法およびシステムは存在しない。その理由の一つに、屋内位置情報プラットフォームを構成する主要素の一つである位置推定手法を含む屋内測位システムが、屋内環境特有の現象に対して完全に対応できていないことが挙げられる。その屋内環境特有の現象の一つが、多数の来訪者などによって発生する位置推定に必要な無線などの観測情報の揺らぎである。この観測情報の揺らぎを既存手法の延長線上で対応するためには、多くの処理コストや複雑な追加機構が必要となり、実環境における現実的な対応が難しいのが現状である。

そこで本研究では、屋内位置情報サービスプラットフォーム、特に屋内測位について、実験室レベルではなく大規模商業施設等の生活空間においても実用的な精度を実現するために必要な技術ならびに実証システムの実現を目指す。具体的には次の二つを目標として掲げる。

- 1) 実空間においても動作可能かつ実装可能である頑健性の高い屋内測位技術の開発:高価なデバイスや特殊なデバイスではなく、生活空間に投入可能な無線通信デバイスを用いた屋内測位システムの設計と実装を行う。特に生活空間において起こる各種の環境や状況の変化に対しても頑健性の高い、かつ、精度の高い位置推定が可能な技術の実現を目指す。
- 2) 屋内測位および非常信号配信が実現可能な無線センサネットワークの設計:屋内測位に必要な観測信号(以下、ビーコン信号)を配信するインフラとして無線センサネットワークに着目した。位置情報単体のみではなく、環境のセンシング情報を統合することにより、よりの確な状況依存情報をユーザに提供可能であることが期待できるシステムを実現する。また、環境内にて発生した非常事態をユーザの端末に通知することは避難誘導への適用も含め施設の安全性を高める上でも有益である。このような屋内測位および非常信号配信が動作可能な無線センサネットワークについて、通信プロトコルを中心に考究を進める。

これら 1) および 2) の実環境上での動作を確認するために、提案システムを実際に大規模屋内商業施設へ実装することにより、実環境への実用的な実装に必要な知見の収集を行う。

前述の二点の目的を実現するために本研究では、次のような手法および方策を適用して、一定の成果を得た。

1) については、位置推定のよりどころとなる観測情報としてビーコン信号の受信時の電界強度を用いた。この電界強度は容易に取得可能である反面、環境の変化に敏感であることから、これを受容できる頑健な位置推定手法として確率推論の一種である逐次モンテカルロ法の一形態であるパーティクルフィルタを適用した。システムを実装し、実際に ISM 無線ノードを用いた自律型測位基盤を構築した環境にて収集した実環境計測データを用いたシミュレーション検証では、システムは 2m 程度の測位誤差にて安定的に位置推定を行うことを確認した。

2) については、独自の無線センサネットワークシステム ComPass System を設計した。同時に、屋内測位の無線ビーコン信号の配信、各種センサ情報の配信、および非常信号の無線ビーコン信号への重畳による配信を実現する ComPass-B ESD 通信プロトコルを設計した。さらに、この通信プロトコルを、低消費電流である微弱無線通信による無線ノードと、より出力が大きい汎用性の高い IEEE802.15.4(ZigBee) による無線ノードの二種類に対して実装した。

これら 1) および 2) の実環境への実装については、本研究によって設計開発された測位システムおよび無線センサネットワークを横浜ランドマークプラザ(神奈川県横浜市)へ実装し、長期間にわたり実証実験を行った。同施設および周辺環境は特色的な構造を有しており、屋内測位の検証を行う場としては最適である。応用例として実装するサービスとして、本研究にて開発した屋内測位システムを使用した屋内ナビゲーションサービスを実装した。検証の結果、作業内容や事前計測に制約があるのにも関わらず、システムは正常に稼働したことを確認した。特に屋内測位については参照情報の計測が簡易的であるにもかかわらず、実用に十分な測位精度を実現した。システムは現在もお安定的に稼働している。

今後の展望として、より汎用的な無線ネットワークである Wi-Fi の環境においても、本研究で開発した測位システムが現実的かつ実用的に適用可能にすることが挙げられる。具体的には、本研究の成果と同等の測位性能が実現できるようにすることはもちろん、使用するハードウェアにおける無線部の差異を考慮した柔軟な観測情報および参照情報の処理手法の確立、そして、本来の測位用インフラと Wi-Fi 通信も含む他の通信インフラとの効果的な共存を考慮したシステムへの発展などが考えられる。

学位論文審査の要旨

主査	教授	鈴木	恵二
副査	教授	栗原	正仁
副査	特任教授	古川	正志
副査	教授	小野	哲雄
副査	准教授	川村	秀憲

学位論文題名

Design and Implementation of Indoor Location Based Service Platform

(屋内位置サービスプラットフォームの設計と実装)

本論文は大規模商業施設等に向けた頑健な無線ベースの屋内位置測位システムの構築手法に関して論じたものである。屋外における位置情報の取得については、GPS を代表とする GNSS の民間への普及により、多くの関連システムやサービスが実現されてきた。その一方で、屋内環境、特に、施設の規模が大きい大規模屋内商業施設においても、屋内測位システムを用い位置情報サービスの実現の期待も高い。実際、多くの先行事例によってこの屋内測位システムおよび位置情報サービスの実現について考究されている。しかしながら、屋内位置測位に関しては測定環境の測位へ及ぼす影響が大きくなり、その克服が課題となっている。すなわち、屋内環境特有の現象の一つが、多数の来訪者などによって発生する位置推定に必要な無線などの観測情報の揺らぎであり、この観測情報の揺らぎを既存手法の延長線上で対応するためには、多くの処理コストや複雑な追加機構が必要となり、実環境における現実的な対応が難しいのが現状である。

上記のような背景のもと、本論文では屋内位置プラットフォームを構成する屋内測位システムおよび関連システムについて、大規模商業施設等の生活空間においても実用的な精度を実現するために必要な技術ならびに実証システムの実現を目指すため、目標として、1) 実空間においても動作可能かつ実装可能である頑健性の高い屋内測位技術の開発、2) 屋内測位および非常信号配信が実現可能な無線センサネットワークの設計、を掲げている。また同時に、これらを実空間における実証実験によってその動作を検証している。本論文では、これらの目的に対するアプローチや提案手法、実装システムおよび検証結果などについて次の構成で述べている。

第1章では、本論文の序論として、これに含まれる各考究の概要について述べている。

第2章では、背景として位置サービスプラットフォームの概要と、既存の測位手法やシステムの概要を述べている。同時に屋内測位に関した要件を示した上で、既存手法がそれらに対して不十分であることを述べ、本論文における目的を定めている。

第3章では、第2章で示された要件の一つである頑健性を考慮した、パーティクルフィルタによる屋内測位システムについて述べられている。提案システムの最大の特徴は、存在位置の分布を形成することにより位置を連続的に推定することであり、観測情報を直接評価して位置を決定しないため、観測情報の揺れに対して頑健性が期待できる。実環境での計測データを用いたシミュレーション環境での検証結果では、提案システムは実環境への適用が期待できる程度の測位性能を示している。

第4章では、もう一つの要件である、屋内測位に必要な観測信号(以下、ビーコン信号)を配信するインフラについて、無線センサネットワークに着目し、センシング情報を含む信号をビーコン信号として使用する事を提案している。本章では、このような屋内測位に適用可能な無線センサネットワーク ComPass System を提案し、それを構成するプロトコルおよび実装について述べている。また、提案システムには火災などの非常時を通知する非常信号配信機構も含まれている。さらに、提案システムの無線ノードへの実装については、微弱無線ノードと ZigBee 無線ノードへの適用を行っている。

第5章では、第3章および第4章にて提案されたシステムの実証事例について、大規模商業施設である横浜ランドマークプラザへの実証について述べている。この実証の中では、提案システムを使用したサービスの一例として屋内ナビゲーションサービスおよび非常時の避難誘導支援システムを実装している。検証の結果、様々な制約があるのにも関わらず、システムは正常に稼働したことを確認し、特に屋内測位については実用に十分な測位精度を実現していることを報告している。

第6章では、本論文の結論と今後の展望について述べている。

これを要するに、著者は、頑健な無線ベースの屋内位置サービスプラットフォームを形成するに必要な屋内測位手法および環境インフラ構成に関する新知見を得たものであり、位置情報を使用した様々な領域および複雑系工学の進歩に寄与するところ大なるものがある。よって著者は、北海道大学博士(情報科学)の学位を授与される資格があるものと認める。