

[23]

氏名	藤本 まなと
博士の専攻分野の名称	博士(工学)
学位記番号	理工博第 22 号
学位授与の日付	平成 27 年 3 月 31 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当
学位論文題目	パッシブ RFID システムにおける RFID タグ位置推定に関する研究
論文審査委員	主査教授 飯田 幸雄 副査教授 大村 泰久 副査教授 村中 徳明

論文内容の要旨

近年、ユビキタス環境実現のための新たな識別情報源として、RFID (Radio Frequency Identification) システムが世界的に注目を集めている。RFID システムは、電波を用いて情報通信することにより、RFID タグ内の情報を読み取ったり書き込んだりする自動識別技術のことである。パッシブ型 RFID タグ (以下、RFID タグ) による RFID システムを用いた重要な技術の 1 つとして、RFID タグの位置推定がある。これは検知対象物に取り付けた RFID タグの位置を推定する技術のことである。この技術が確立されると様々なアプリケーション、例えば、自律移動ロボットによる屋内ナビゲーションシステムなどに応用可能と考えられているため、これまで数多くの手法が提案されている。しかし、RFID タグの位置を推定する効果的な手法は少なく、まだ未成熟な分野である。その中でも、効果的な RFID タグ位置推定法だと考えられる代表的な従来方式として、単一通信レンジ方式、マルチ通信レンジ方式、通信境界法が提案されているが、位置推定誤差が大きく、位置推定誤差を小さくするには多くの観測点を必要とすることなどの問題がある。

本論文では、これらの問題を解決するための様々な RFID タグ位置推定法を新たに提案し、その有効性を示したものである。以下、本論文の内容を各章ごとに要約する。

第一章では、序論として、研究背景、従来方式の概要、本研究の概要を述べ、本研究の位置付け及びその意義を明確にしている。

第二章では、RFID タグ位置推定を理解するための最小限の知識である RFID のシステム構成、通信方式、性能について述べている。

第三章では、RFID タグ位置推定に関する代表的な位置推定技術と問題点について述べている。第 1 の単一通信レンジ方式は、単一の大きさの通信範囲を用いて RFID タグの位置を推定する手法で、RFID タグ位置推定法の最も代表的な位置推定技術である。第 2 のマルチ通信レンジ方式は、単一通信レンジ方式の拡張方式であり、RFID タグの位置を大きさの異なる 3 つの通信範囲を用いて探索する手法である。第 3 の通信境界法は、アンテナを回転させながら RFID タグが検知可能となる瞬間と検知不可能になる瞬間である通信

境界を探索し、それらを用いて RFID タグの位置を推定する手法である。これら 3 方法のそれぞれについて問題点を述べ、最後に、これらの問題点をまとめている。

第四章では、ブロード型マルチ通信レンジ方式を新たに提案している。本方式は、アンテナ素子間隔の動的変化と送信電力制御とを組み合わせることにより、大きさの異なる 4 つの通信範囲を新たに作り出し、これらの通信範囲を効果的に用いることで、RFID タグの位置を効率良く推定する手法である。本方式の有効性を示すため、コンピュータシミュレーションによる性能評価を行い、位置推定誤差特性および最大確率ポジションの数を評価することにより、本方式の有効性を明らかにしている。

第五章では、動的マルチ通信レンジ方式を用いた三次元 RFID タグ位置推定法を新たに提案している。動的マルチ通信レンジ方式は、移動体の移動を伴わずアンテナの回転のみで RFID タグの位置を推定できる手法である。そのため、素早い位置推定が可能となる。本方式の有効性を示すため、実環境における三次元 RFID タグ位置推定実験により性能評価を行い、角度誤差特性、最大確率ポジションの分布特性および三次元位置推定誤差特性などを評価することにより、本方式の有効性を明らかにしている。

第六章では、通信エリアモデルを用いた即時型通信境界法を新たに提案している。本方式は、通信エリアモデルと呼ばれるアンテナと RFID タグ間の相対角度に応じて動的に変化する仮想的な近似通信範囲を用いて、RFID タグの位置を推定する手法である。まず最初に、通信エリアモデルの測定と作成方法を述べ、その後、実環境における位置推定実験およびコンピュータシミュレーションによる性能評価を行っている。性能評価では、位置推定誤差特性、推定時間特性を評価することにより、本方式の有効性を示している。また、コンピュータシミュレーションでは、位置推定誤差特性を用いて単一通信レンジ方式と性能比較することにより、本方式の有効性を示している。

第七章は、結論であり、本研究で得られた結果をまとめている。

論文審査結果の要旨

パッシブ型 RFID タグ（以下、RFID タグ）による RFID システムを用いた重要な技術の 1 つとして、RFID タグの位置推定がある。この技術が確立されると様々なアプリケーション、例えば、自律移動ロボットによる屋内ナビゲーションシステムなどに応用可能と考えられているため、これまで数多くの手法が提案されている。しかし、RFID タグの位置を推定することは難しく、まだ未成熟な分野である。その中でも、効果的な RFID タグ位置推定法だと考えられる代表的な従来方式として、単一通信レンジ方式、マルチ通信レンジ方式、通信境界法が提案されているが、位置推定誤差が大きく、位置推定誤差を小さくするには多くの観測点を必要とすることなどの問題がある。本論文は、これらの問題を解決するための様々な RFID タグ位置推定法を新たに提案し、その有効性を示したものである。以下、本論文で得られた研究内容をまとめる。

(1) ブロード型マルチ通信レンジ方式を本論文で新しく提案した。本方式は、アンテナ素子間隔の動的変化と送信電力制御とを組み合わせることで、ブロードレンジと呼ばれる、これまでに無い特殊な通信範囲を含む 4 つの通信範囲を作り出し、これらの通信範囲

を検知結果により使い分けることで、RFID タグの位置を高精度に推定できる手法である。本方式の有効性を示すため、ロボットの移動を想定した L 字移動モデル、カーブ移動モデル、U ターン移動モデルを用いてコンピュータシミュレーションにより性能評価を行った。その結果、特に L 字移動モデル、U ターン移動モデルにおいては、提案方式は従来方式に比べ少ない観測点で RFID タグの位置を 10cm 以下の精度で推定できることを示した。

(2) 動的マルチ通信レンジ方式を用いた三次元 RFID タグ位置推定法を本論文で新しく提案した。動的マルチ通信レンジ方式は、アンテナと RFID タグ間の相対角度の変化に応じてセンサモデルを動的に変化させながら RFID タグの位置を推定するという従来には無い全く新しい手法であり、移動体の移動を伴わずアンテナの回転のみで RFID タグの位置を高精度に推定できるものである。本方式の有効性を示すために、三次元 RFID タグ位置推定実験により性能評価を行い、角度誤差特性、最大確率ポジションの分布特性および三次元位置推定誤差特性などを評価した。実験の結果、高さ方向の誤差を約 4cm 程度の精度で推定でき、アンテナから RFID タグまでの距離誤差も約 4cm 程度の精度で推定できた。また、従来方式では、最大 30cm 程度あった三次元位置推定誤差を約 5cm 程度に改善できることもわかった。

(3) 通信エリアモデルを用いた即時型通信境界法を本論文で新しく提案した。本方式は、RFID タグ位置推定における新たな概念である、通信エリアモデルと呼ばれるアンテナと RFID タグ間の相対角度に応じて動的に変化する仮想的な近似通信範囲を用いて、RFID タグの位置を推定する手法である。本方式の特徴は、通信エリアモデルを用いることで、通信境界法に比べて位置推定手順を大幅に簡略化でき、位置推定精度も比較的高精度に推定できることである。本方式の有効性を示すため、位置推定誤差特性、推定時間特性を評価した。その結果、提案方式は 1 つの観測点でアンテナを回転させるのみで、RFID タグの位置を約 10~15cm 程度の精度で推定できることがわかった。

以上のように、パッシブ型 RFID タグ位置推定として、本論文は、ブロード型マルチ通信レンジ方式、動的マルチ通信レンジ方式を用いた三次元 RFID タグ位置推定法、および通信エリアモデルを用いた即時型通信境界法を新しく提案し、コンピュータシミュレーションや実環境における実験によってその妥当性、有効性を実証したものであり、学術上、實際上寄与するところが大きい。よって、本論文は博士論文として価値あるものと認める。