

(続紙 1)

京都大学	博士（ 情報学 ）	氏名	Nguyen Thanh Chuyen
論文題目	Studies on Algorithms for Tag Identification and Tag Set Cardinality Estimation in Radio Frequency Identification Systems		
(論文内容の要旨)			
本論文は、RFIDシステムにおけるタグ識別およびタグ数推定に関して、非常に多くのタグが存在する場合にも効率的にタグを検出可能なプロトコル、現実的な無線通信路の影響を考慮したタグ数推定アルゴリズム、及び、セキュリティやプライバシーを考慮したタグ数推定アルゴリズムについての研究成果をまとめたものであり、全体で6章から構成されている。 第1章では、研究の背景として従来のタグ識別法およびタグ数推定法について述べるとともに、非常に多くのタグを同時に検出する場合や無線通信路での伝送誤りが生じる場合に発生する従来の手法の問題点を指摘している。そして、論文全体の構成を簡単に紹介している。 第2章では、多くのRFIDシステムで採用されているフレームドスロットテッドアロハ方式に基づいたタグ識別プロトコルを改良することで、タグ数がフレームの最大サイズよりもはるかに大きい場合にも効率的なタグ識別が可能なプロトコルを提案している。本提案手法は、各タグが確率的に返信することで、ランダムアクセスのコンテンションにおける実効的なタグ数を減らし、かつ、実効的なフレームサイズの粒度を任意に設定可能とするものであり、計算機シミュレーションによってその有効性を確認している。さらに、AWGN通信路やレイリーフェージング通信路等の性質を利用することで、既存のRFID識別プロトコルを変更することなく提案方式のアイデアを実装するための現実的な手法についても示されている。 第3章では、無線通信路において誤りが発生する場合の、タグ数推定アルゴリズムについて議論している。最尤推定に基づいたタグ数と誤り確率の推定法を検討し、タグ数の離散性の取り扱いに関して異なる3つのアルゴリズムを提案している。いずれも既存の手法に比べて、タグ数と誤り確率を高精度に推定可能であることが計算機シミュレーションによって示されている。さらに、尤度関数の振る舞いの解析結果に基づいた探索終了条件を利用するアルゴリズムは、全探索を用いた場合と比べて大幅な計算量の削減を実現しつつ、ほぼ同等の特性が得られることが、計算機シミュレーションによって示されている。 第4章では、伝送誤りだけでなく、現実的な無線通信路で発生するキャプチャー効果と呼ばれる現象についても考慮したタグ数推定アルゴリズムについて検討している。キャプチャー効果は、ランダムアクセスにおいて衝突に関与した信号のいずれかが検出されるものであり、伝送路の減衰やフェージングによって発生する。これまで、無線通信路での伝送誤りとキャプチャー効果の両方の影響を考慮したRFIDのタグ数推定法は検討されておらず、最尤推定に基づいた提案方式を採用することで、既存の手法をキャプチャー効果の存在する環境に用いた場合に比べて、リーダのセンシング範囲内に存在するタグの数を高精度に推定可能であることが計算機シミュレーションによって示されている。 第5章では、セキュリティやプライバシーを考慮したタグ数推定の問題について検			

討している．フレームドスロットテッドアロハを仮定し，各タグは自身のIDではなく，1ビットあるいはビット列からなる信号を返信することで，リーダは各スロットが空であるかそうでないかの情報のみが得られることを想定している．タグ数が多い場合の既存手法の問題点を指摘し，最大事後確率推定に基づいた提案手法により推定精度を改善できることを，計算機シミュレーションによって明らかにしている．

第6章では，本論文での成果の総括と今後の展望を述べている．

(論文審査の結果の要旨)

本論文は、RFIDシステムにおけるタグ識別およびタグ数推定に関して、非常に多くのタグが存在する場合にも効率的にタグを検出可能なプロトコル、現実的な無線通信路の影響を考慮したタグ数推定アルゴリズム、及び、セキュリティやプライバシーを考慮したタグ数推定アルゴリズムについての研究成果をまとめたものであり、その成果は以下のように要約される。

1. RFIDシステムのタグ識別問題に対し、従来のフレームドスロットテッドアロハ方式に基づいたタグ識別プロトコルを改良することで、タグ数がフレームの最大サイズよりもはるかに大きい場合にも効率的なタグ識別が可能なプロトコルを提案した。提案手法は、各タグが確率的に返信することで、ランダムアクセスのコンテンションにおける実効的なタグ数を減らし、かつ、実効的なフレームサイズの粒度を任意に設定可能とするものであり、計算機シミュレーションによってその有効性を示した。そして、AWGN通信路やレイリーフェージング通信路等の性質を利用することで、既存のRFID識別プロトコルを変更することなく提案方式のアイデアを実装するための現実的な手法についても示した。

2. RFIDシステムのタグ数推定問題に対し、現実的な無線通信路における信号の減衰やフェージングなどの影響を考慮した推定法を新たに提案した。伝送誤り確率や、キャプチャー効果によって衝突信号が正しく復号される確率を陽に取り込んだモデルに対して最尤推定を行なうことで、これらの確率とタグ数の両方を推定可能なアルゴリズムを導出した。伝送誤りなどが生じる場合でも、無線通信路の影響を考慮しない既存の推定法と比べて、リーダのセンシング範囲内に存在するタグの数を高精度に推定可能であることを、計算機シミュレーションによって示した。

3. セキュリティやプライバシーを考慮し、各タグが自身のIDではなく1ビットあるいはビット列からなる信号を返信する場合のタグ数推定について論じた。空スロット数の情報のみを利用する既存手法ではタグ数が多い場合にその推定精度が著しく低下するという問題を指摘し、空スロット数と返信のあったスロット数の相関を考慮したタグ数推定法を最大事後確率推定に基づいて導出した。そして、タグ数が多い場合に提案手法により推定精度を改善できることを、計算機シミュレーションによって示した。

以上要するに本論文は、現実的な環境でRFIDシステムが直面するタグ数が非常に多い場合や伝送誤りが生じる場合などのタグ識別およびタグ数推定の問題に対して、現実的かつ具体的な解法を提供するものであり、物理世界と仮想世界をつなぐRFIDシステムの今後の発展に貢献する内容で、その意義は極めて大きい。よって、本論文は博士（情報学）の学位論文として価値のあるものと認める。また、平成25年2月

22日に実施した論文内容とそれに関連した試問の結果合格と認めた.