

研究種目：基盤研究 (B)  
 研究期間：2007-2008  
 課題番号：19360173  
 研究課題名 (和文) 大量の電子タグの同時読み出し手法の実装評価  
 研究課題名 (英文) Implementation and evaluation of simultaneous readout of huge quantities of electronic tags  
 研究代表者  
 中野 博隆 (NAKANO HIROTAKA)  
 大阪大学・サイバーメディアセンター・教授  
 研究者番号：90379107

研究成果の概要：

電子タグの大量一括読み出しにおいては、応答が衝突し読み出しに失敗することが問題となる。従来はリーダからの読み出し要求に対し、電子タグが連続する読み出しスロットの何れかを選んでこの衝突を回避していた。それでも発生する衝突による、読み出し速度低下が問題となっていたが、従来方式よりも 2 倍以上の読み出し高速化が可能な方式をシミュレーション確認するとともに、無線機能付き組込み機器用開発モジュールを用いてその基本動作を確認した。

交付額

(金額単位：円)

|         | 直接経費      | 間接経費      | 合計        |
|---------|-----------|-----------|-----------|
| 2007 年度 | 2,900,000 | 870,000   | 3,770,000 |
| 2008 年度 | 3,100,000 | 930,000   | 4,030,000 |
| 年度      |           |           |           |
| 年度      |           |           |           |
| 年度      |           |           |           |
| 総計      | 6,000,000 | 1,800,000 | 7,800,000 |

研究分野：工学

科研費の分科・細目：電気電子工学・通信・ネットワーク工学

キーワード：通信方式 (無線, 有線, 衛星, 光, 移動), 電子タグ(RFID)

1. 研究開始当初の背景

大量の電子タグの同時読み出しにおいて、電子タグからの応答が衝突して読み出しに失敗することの回避法 (衝突回避法) は重要な課題である。従来の衝突回避法は、電子タグがリーダからの読出し要求に対し、連続する読出しスロットの何れかを選ぶ方法 (DFSA: Dynamic Framed Slotted ALHA) により回避していた。これに対して、1 回の読出し毎に電子タグからの応答確率をリーダから指示するのが提案方式 (RPCM: 応答確率制御法) である。応答確率制御法においては、電子タグが静止した環境中の読み出しで既存の方

式の 1. 6 倍以上の高速化が可能なことがシミュレーションにより示されていた。

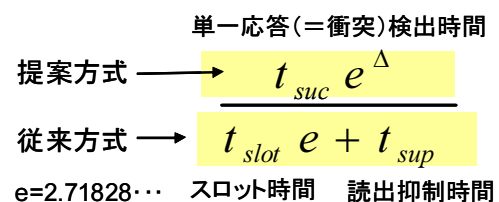


図1 電子タグ読み出し時間の比較

従来方式と提案方式の電子タグ読み出し時間の比較を図1に示す。従来方式では、 $t_{slot}$  は読み出しスロット時間、 $t_{sup}$  は読み出し成功タグに対して読み出し抑制を指示するのに必要な時間として、読み出し成功確率が最大  $1/e$  となることから、1 電子タグ当たりの読み出し時間は読み出しスロット時間の  $e$  倍の項を含む。一方、提案方式では、 $t_{suc}$  を読み出し成功時の読み出し時間（読み出しコマンド時間+読み出し時間）として、読み出し時間は  $e$  の  $\Delta$  乗であらわされる。 $\Delta$  はタイムアウト検出時間により決まる値で、タイムアウト検出時間がゼロに近づくとき  $\Delta$  もゼロに近づく。読み出しコマンドにより、読み出し成功を通知できるため、読み出し抑制時間は必要ない。このように、タイムアウト検出を高速化することにより、読み出し時間は  $t_{suc}$  に近づけることができる。

## 2. 研究の目的

電子タグ読み出し時間の解析はコンピュータシミュレーションにより確認しているが、下記の仮定をおいている。

- (1) 電子タグの中において高速に乱数を発生できる。
- (2) キャプチャ効果（受信電力差がある程度あると強い電力を持つ信号が完全に受信される効果）を無視する。なお、研究担当者の知る限り、他の電子タグ研究も同様の仮定をおいている。
- (3) 電子タグはCPUとメモリを備え、プログラム処理が可能である。

本研究は、応答確率制御法のさらなる性能向上を図るとともに、上記の仮定 (1) (2) の妥当性を確認し、ハードウェア上で動作確認することを目的とする。

## 3. 研究の方法

複雑な状況下における電子タグの読み出しはVC++を用いたコンピュータシミュレーションで確認した。乱数の高速発生、キャプチャ効果の確認、電子タグとしてのハードウェアエミュレーションについては、無線機能付き組み込み機器開発モジュールを用いて確認した。

## 4. 研究成果

(1) 動きのある電子タグの読み出し  
 応答確率制御法は、リーダーに対して、電子タグが連続的に動く場合は、動かない場合に比較し、さらに優れた特性を出すことを見出した。動く例を図2に示す。

従来の読み出し法では、状況の変化に読み出し処理が追いつかないのに対し、応答確率制御法はどのような状況変化にも高速に対応できるからである。

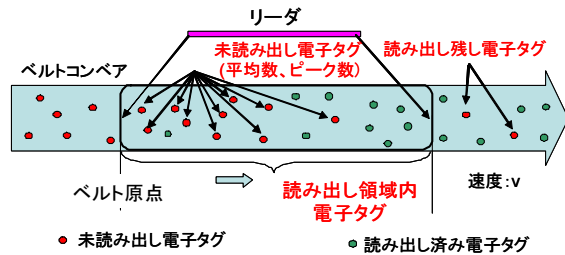


図2 ベルトコンベア上の電子タグの読み出しシミュレーション

応答確率制御法(RPCM)、及びその改良法と従来の読み出し法(DFSA)のそれぞれについて、動きのある電子タグの読み出し速度を図3に示す。応答確率制御法では、従来方式に対して最大で2.6倍の読み出し速度が得られている。

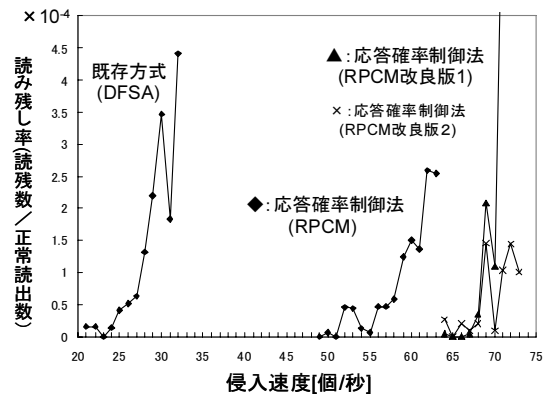


図3、動きのある電子タグの読み出し速度(シミュレーション)

## (2) 無線による送受信特性

電子タグ動作の基本となる無線部分の特性について、開発モジュールを用いて詳細な調査を行った。調査した特性は、①伝送距離と正常読み出し率の関係、②壁や天井などの環境が及ぼす伝送特性への影響、③読み出し衝突と正常受信の関係である。既存の電子タグはコストを抑えるために振幅変調を用いているが、調査した評価ボードでは位相変調を用いている。このため、従来の電子タグ研究では無視しているキャプチャ効果が大きくでることが分かった。

測定結果に基づき電子タグに位相変調方式を用いるときの受信モデルを作成した。このモデルは、ノイズ源のモジュールと読み出し対象モジュールの相対的な位置関係を変えて正常読み出し率を観測し、得たものである。この受信モデルは、①受信電力（送信モジュールの電力）と雑音電力（雑音源モジュールの電力）の比（SIR: Signal Interference Ratio）が一定( $\gamma$ )以上あるとき、受信に成功する、②上記で得られたSIRに対し、ある平均値( $m$ )と分散値( $\sigma$ )を持った正

規分布に従う確率変数を掛けて、環境（マルチパス）の影響を表す。観測結果とモデル特性の比較例を図4に示す。

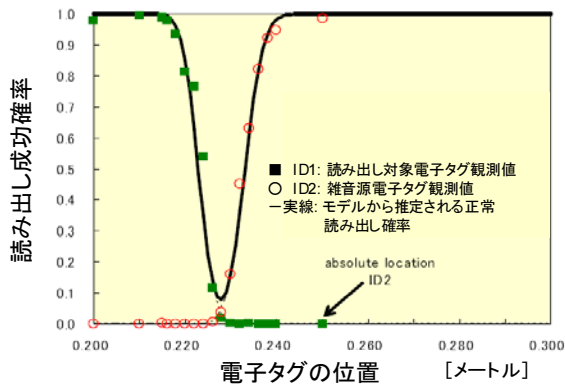


図4、読み出しモデルと観測値(O、■)

モデルに用いたパラメータ( $\gamma$ ,  $m$ ,  $\sigma$ )はモデル曲線が観測値と近くなるように調整している。この結果、電波反射の影響を表す平均値( $m$ )はモジュールの置き場所により大きく変わることが、 $SIR(\gamma)$ は1に近い1.07付近となることが判明した。 $SIR(\gamma)$ が1に近いということはキャプチャ効果が大きく出ていることを示す。

(3) 無線機能付き組込み機器用開発モジュールによる電子タグ基本機能の確認

① 電子タグとしての基本機能の確認

電子タグの処理の基本部分について、組込み機器用開発モジュールを用いて、電子タグが実現できることを確認した。

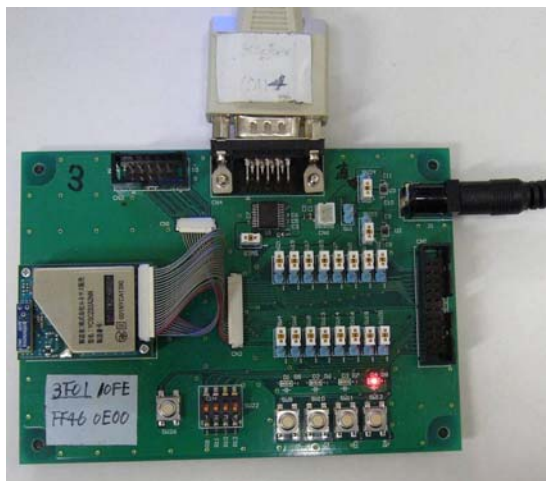


図5、電子タグエミュレーションに用いたモジュール

このモジュールは ZigBee 開発キットとして提供されているものであり、ZigBee 用無線 IC、16ビットプロセッサ、128MBのフラッシュメモリ、その上のリアルタイムOS

( $\mu$  ITRON) 及び ZigBee プロトコルスタック (AODV “Adhoc On-demand Distance Vector” ルーチング処理) により構成されている。本研究では ZigBee プロトコルスタックは用いず、ZigBee 用無線 IC による物理層のみを用いている。開発言語としてはクロスコンパイラ C++ がサポートされている。

エミュレーションに用いたモジュールを図5に、事前確認としてソフトウェアシミュレーションによって得た読み出し特性を図6 (未読み出し電子タグ数と推定電子タグ数の変化) に示す。なお、このシミュレーションは1000個の電子タグを用いた場合のものである。なお、規模の制約から、無線機能付き組込み機器用開発モジュールによる観測では小数のモジュールによる観測に留まった。

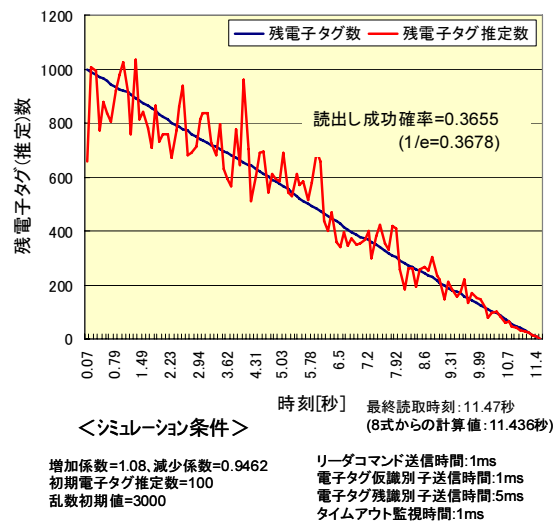


図6、未読み出し電子タグ数と推定電子タグ数の変化

② 乱数発生機構の検討

電子タグのエミュレーションで必要となる乱数発生機構として、開発言語に備わっている組込み関数 (単精度整数乱数関数) を用いた。乱数の種の与え方も含め、ソフト的な乱数発生機構で十分であることを検証した。但し、電子タグとしては規模と性能が大きい MPU を使っており、より性能の低い MPU での実現性については、今後の課題である。

③ 衝突時、無応答時の読み出しタイムアウト制御方式

本項については、ハードに依存した制御が必要であり、無線機能付き組込み機器用開発モジュールでは十分な検証ができなかった。汎用ボードを用いた検証では、全て同じ状況であると推定される。このような微妙なタイミングの検証については今後の課題である。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 2 件)

- ① Hirota Nakano and Masahiro Sasabe,  
“High-Speed Collective Readout of Large Quantities of Moving Electronic Tags using the Response Probability Control Method,” IEEE Systems Journal, vol. 1, No. 2, pp. 160-167, Dec. 2007. (査読あり)
- ② 中野博隆, 長手航, 平野裕介, 笹部昌弘,  
“応答確率制御法による大量電子タグの高速読み出し,” 電子情報通信学会論文誌, Vol. J90-C, No. 6, pp. 491-501, June 2007. (査読あり)

[学会発表] (計 6 件)

- ① Toshiaki Hidekuma, Go Hasegawa, Masahiro Sasabe, and Hirota Nakano,  
“Degree-Based Power Control Method for Increasing Spatial Reuse in TDMA-Based Wireless Mesh Networks,” in Proceedings of The Eighth International Conference on Networks (ICN 2009), Cancun, Mar. 3rd 2009. (査読あり)
- ② Hiroshi Tokito, Masahiro Sasabe, Go Hasegawa, and Hirota Nakano,  
“Routing Method for Gateway Load Balancing in Wireless Mesh Networks,” in Proceedings of The Eighth International Conference on Networks (ICN 2009), Cancun, Mar. 3rd 2009. (査読あり)
- ③ 秀熊俊昭, 長谷川剛, 笹部昌弘, 中野博隆,  
“無線メッシュネットワークにおける無線資源の利用効率を向上するための電力制御手法,” 電子情報通信学会技術研究報告(AN2008-25), pp. 61-66, 函館, July 25th 2008. (査読なし)
- ④ 時任宏, 笹部昌弘, 長谷川剛, 中野博隆,  
“無線メッシュネットワークにおけるゲートウェイ負荷を均一化するための経路制御手法,” 電子情報通信学会技術研究報告(AN2008-25), pp. 73-78, 函館, July 25th 2008. (査読なし)
- ⑤ Hiroshi Tokito, Masahiro Sasabe, and Hirota Nakano,  
“Improvement of the Capacity of Wireless Networks by Optimizing Communication Distance,” in Proceedings of The Ninth International Conference on Mobile and Wireless Communications Networks (IFIP/IEEE MWCN 2007), pp. 6-15, Cork,

Sep. 19th 2007. (査読あり)

- ⑥ Akiko Miyagawa, Masahiro Sasabe, and Hirota Nakano,  
“Transmission Power Control for Avoiding Cell Overlapping in Micro-Cellular Networks,” in Proceedings of International Conference on Wireless Information Networks and Systems (WINSYS 2007), pp. 45-50, Barcelona, July 29th 2007. (査読あり)

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

中野 博隆 (NAKANO HIROTAKA)  
大阪大学・サイバーメディアセンター・教授  
研究者番号：90379107

### (2) 研究分担者

長谷川 剛 (HASEGAWA GO)  
大阪大学・サイバーメディアセンター・准教授  
研究者番号：00294009  
笹部 昌弘 (SASABE MASAHIRO)  
大阪大学・大学院工学研究科・助教  
研究者番号：10379109

### (3) 連携研究者

該当なし