

無線 IC カードの高速高密度識別方式

竹下孝徳 川越康弘 松川公一 川田省二

日本信号株式会社 宇都宮事業所 技術部
〒321-8651 栃木県宇都宮市平出工業団地 11 番地
{takesita, kawagoe, kmatsu, kawada}@signal.co.jp

あらまし 多数の無線 IC カードを同時に識別するための輻輳制御方式として、8 チャンネルのデータ伝送路を使用した周波数ホッピング方式を考案した。この方式において無線 IC カードは乱数発生回路により応答チャンネルの選択を行う。また、質問器はコマンドにより、無線 IC カードのパワーモード制御および質問器への応答を中止するミュートモードを設定することができる。質問器が短時間で効率的に無線 IC カードを識別するためには、コマンドの送信手順が重要となる。無線 IC カードが 100 枚の場合を想定したシミュレーションによる検討を行い、高速に識別する方式を開発した。

Multiple IC Card Identification

Takanori TAKESHITA Yasuhiro KAWAGOE
Koichi MATSUKAWA Shoji KAWADA

The Nippon Signal Co.,LTD
Utunomiya Plant
11-2 Hiraide kogyodanchi Utunomiya Tochigi Japan
{takesita, kawagoe, kmatsu, kawada}@signal.co.jp

Abstract The 8 channels frequency hopping and the power mode control were devised as a function to identify multiple contact less IC cards at high speed. A card decides a reply channel and the power mode by the random numbers generator. We developed the communication process between an interrogator and cards by the simulation which 100 stacked cards were presumed.

1 はじめに

近年、非接触でデータの読み書きができる無線 IC カードが注目されている。無線 IC カードは、①セキュリティ性が高い②高速な情報の通信・処理ができる③耐久性が高い④高機能、⑤メモリ容量が大きいなどの特長をもつ。このことから鉄

道・交通分野、入退出管理分野、物流分野、金融分野などでの利用が期待されている。[1][2]

本研究は、多数の荷物や郵便物などを集配する物品管理に無線 IC カードを利用し、集配作業の効率化をはかることを目的とし、システム検討および機器の開発を行っている。物品に貼付けた無線 IC カードの ID 番号を読み込むなどして物品

の識別を行う場合、従来は個々の物品を読み取り装置に通過させていた。本研究では、多数の物品が梱包された状態であっても無線 I C カードと安定した通信を行い、高速にすべての無線 I C カードを識別することを目標としている（高速高密度識別）。

無線 I C カードは（以下、カード）、質問器が発生する磁界から I C 作動用の電力を得て動作し、質問器のコマンドに応じて、I D 番号やデータの読書の通信を行う。

梱包状態にある多数のカードと通信を行うには何らかの輻射制御をしなければならない。本研究では、8チャンネルのデータ伝送路を使用した周波数ホッピング方式を考案した。この方式においてカードは乱数発生回路により応答チャンネルの選択を行う。また、質問器はコマンドにより、カードのパワーモード制御および質問器への応答を中止するミュートモードを設定することができる。質問器はこれらのコマンドにより輻射制御をして、カードと通信を行う。

本報告では、多数のカードを高速に識別する通信手順について、カードが 100 枚の場合を想定したシミュレーションによる検討を行い、方式を開発したので報告する。

2 開発機器の概要

本研究における開発機器について説明する。

2.1 質問器

図 1 に質問器の機能ブロック図を示す。

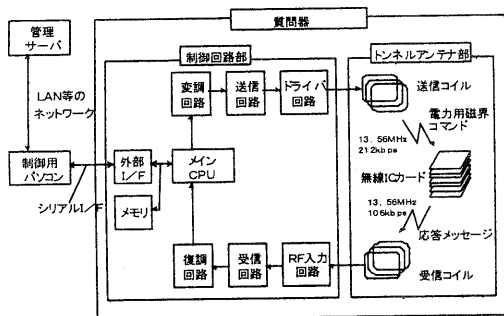


図 1 質問器の機能ブロック図

多数の物品（無線 I C カード）の梱包物は、質問器のトンネルアンテナ内に置かれる。トンネルアンテナは、X 軸、Y 軸、Z 軸方向にそれぞれ均一磁界を発生するループコイルとなっており、カ

ードがどのような姿勢であっても電力を供給できる。質問器はコマンドを送信し、カードの I D 番号の返信やメモリの読み書きを指令する。

制御回路部は、電波の送受信回路と送受信信号の処理回路からなる。

2.2 無線 I C カード

図 2 に無線 I C カードの機能ブロック図を示す。

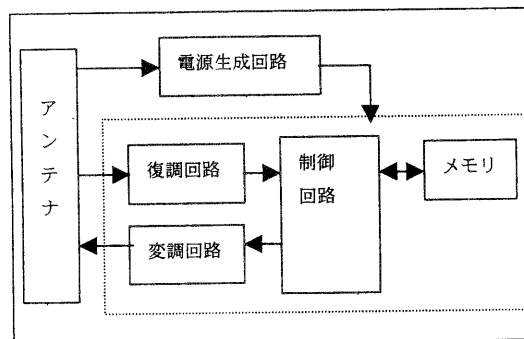


図 2 無線 I C カードの機能ブロック図

図 2 において、電源生成回路と点線内の回路は 1 チップの I C で構成される。

2.3 電波インタフェース

表 1 に電波インタフェースを示す。

変調方式の PJM(Phase Jitter Modulation)は、キャリアに 90 度または -90 度位相をシフトさせた信号を加算し、伝送情報の 1 と 0 を表す方法である。[3] PJM の特徴は、①無線 I C カードへの安定した電力供給、②狭い帯域幅 である。

表 1 電波インタフェース

質問器 (コマンド)	周波数	13.56MHz
	変調方式	PJM, BPSK
	符号方式	Miller coding
	通信速度	212kbps
無線 I C カード (レスポンス)	変調方式	ロードスイッチング, BPSK
	サブキャリア	969kHz~3.013MHz (8チャンネル)
	符号方式	Miller coding
	通信速度	106kbps

3 高速高密度識別の方式

本研究では 100 枚のカードが重なっていても数秒以内に、すべてのカードを識別することを目指している。これを実現するために、次の方式を考案した。

3.1 周波数ホッピング

多数のカードから ID 番号を読み込む場合、カード 1 枚ごとに応答させる方式は、①通信回数が多い、②質問器側の制御が煩雑になる、といった点から識別に非常に時間がかかる。そこで次の周波数ホッピング方式を考案した。

- ・カードが応答するチャンネル（周波数）をマルチチャンネルとする
- ・どのチャンネルで応答するかは、カードが決め質問器側ではその制御を行わない
- ・カードは自身の ID 番号を初期値とした擬似乱数発生器からランダム値を生成し応答チャンネルを決定する
- ・質問器からのコマンドを受信するたびに、ランダム値を生成し応答チャンネルを変えるていく。

この方式はチャンネル数が多いほど同時に応答できるカード数が増えるだけでなく、選択チャンネルの衝突頻度が減少し、応答を受信できる期待値（カード数）が大きくなる。（図 6 参照）

一方、チャンネル数を多くすると、①通信帯域が広がる、②帯域を制限すると隣接チャンネルの間隔が狭くなり通信速度が下がる、③高調波成分が他チャンネルと重なりやすくなる。本開発機器では搬送波 13.56MHz で通信速度 106kbps を目標としていることから、通信帯域を 900 kHz ~ 3MHz とし、その帯域に 8 チャンネルの伝送路を確保した。

3.2 パワーモード制御

梱包内のカードは互いに非常に接近している（高密度）。このような場合、カードアンテナ間の相互インダクタンスの影響によりカードの IC が作動するに必要な十分な電力を受電できない状態が起きる（以下、近接という）。このような状態を回避するためにカードにローパワーモードとノーマルパワーモードを考案した。

ローパワーモードは、ノーマルパワーモードへの待機モードであり、IC 機能のほとんどが休止し非常に少ない電力で作動する状態である。その

ためアンテナに流れる電流が少なく、相互インダクタンスの影響を小さくできる。

ノーマルパワーモードは質問器からのコマンドに反応できるモードであり、IC 機能はフル稼働する。

- ・ローパワーモードからノーマルパワーモードへの移行は、質問器からの Break 信号（搬送波の短時間休止）によって行われる。
 - ・カードにパワーモードコントロールカウンタを持たせ、パワーオン時にカウンタにランダムな初期値が設定される。
 - ・Break 信号受信のたびにカウントアップし、カウンタがオーバーフローとなったらノーマルパワーモードへ移行する。
 - ・ノーマルパワーモード時に、Break 信号を受信するとローパワーモードに移行し、カウンタにランダムな初期値が再設定される。
- これによりローパワーカードとノーマルパワーカードが梱包内で分散し、近接の状態が起きる頻度を少なくすることができる。

3.3 ミュートモード

識別を完了したカードに対し、コマンドによりミュートモードを設定する。カードはローパワーモードで無応答状態を維持する。

これにより、ノーマルパワーのカードが順次減っていき近接状態になる頻度がさらに少なくなる。

4 方式実現の検討

3 節の方式に基づき、質問器とカードの通信手順を検討する。図 3 に基本の手順を示す。

Break 信号により梱包内の何枚かのカードがノーマルパワーモードになる。ノーマルパワーモードのカードは、ID 要求コマンドに応じカード自身が決定するチャンネルで ID 番号を応答する。しかし確率的に反応チャンネルが衝突することがあり、反応したすべてのカードの ID 番号を質問器で受信できないことがある。質問器は ID 番号を受信できたカードに対し、ミュートモードを指令する。ID 番号を受信されなかったカードは、次の Break 信号でパワーモードコントロールカウンタにランダム値を設定し、再びローパワーモードになる。そして Break 信号をカウントしながらノーマルパワーモードになるのを待つ。

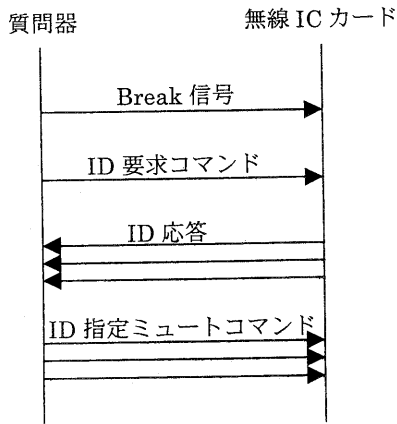


図3 基本の通信手順

応答した ID 番号がすべて受信されるのであれば、梱包内のカードをすべて識別するまで質問器は同じ手順を繰り返せばよい。

識別を高速に行うには、ID 番号を受信できなかったカード数を考慮した手順を検討しなければならない。しかし質問器は ID 番号を受信できなかったカードの枚数を知ることはできない。そのため、期待値として推測する方法を検討した。

4.1 ID 番号を受信できる期待値

カードは自身の乱数発生回路で応答チャンネルを選択するため、チャンネルが衝突する可能性がある。衝突が起これずに ID 番号を受信できるカード枚数は、つぎのように期待値として計算される。

チャンネル数を m として、 N 枚のノーマルパワーモードカードが図4の状態にあるとする。ここで a を応答したチャンネル数、 b を衝突したチャンネル数として、この状態を $N a b$ と表記する。

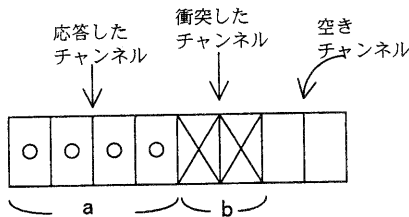


図4 状態 Nab のチャンネル

ノーマルパワーモードのカードが 1 枚増えた場合には、図5のような確率で状態が変化する。

①は空きチャンネル、②はすでに衝突しているチャンネル、③は新たに衝突したチャンネルを選択する確率を示している。

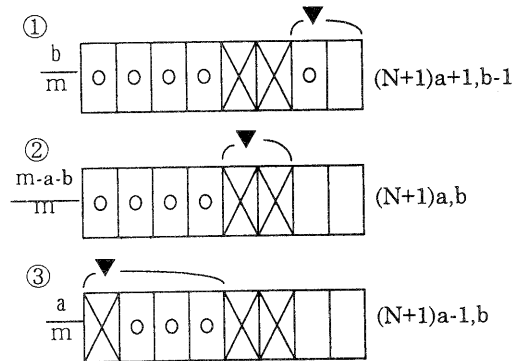


図5 $N+1$ 枚の状態

すべての状態についてそれぞれの起きる確率を A であらわすと、

$$\mathbf{V}_{N+1} = A \mathbf{V}_N \quad (1)$$

となる。そして、

$$\mathbf{V}_N = \begin{bmatrix} n_{00} \\ n_{01} \\ \vdots \\ n_{0m} \\ n_{10} \\ \vdots \\ n_{mm} \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$\mathbf{V}_0 = \begin{cases} 1 & (n_{00} \text{ のみ}) \\ 0 & (\text{それ以外}) \end{cases} \quad (3)$$

$$\mathbf{V}_1 = \begin{cases} 1 & (n_{1(m-1)} \text{ のとき}) \\ 0 & (\text{それ以外}) \end{cases} \quad (4)$$

$$A = \begin{cases} \frac{b}{m} & (a \times (m+1) + b, (a+1) \times (m+1) + (b-1) \text{の成分}) \\ & (0 \leq a \leq m-1, 1 \leq b \leq m) \\ \frac{a}{m} & (a \times (m+1) + b, (a-1) \times (m+1) + b \text{の成分}) \\ & (1 \leq a \leq m, 0 \leq b \leq m) \\ \frac{m-a-b}{m} & (a \times (m+1) + b, (a+1) \times (m+1) + b \text{の成分}) \\ & (0 \leq a \leq m, 0 \leq b \leq m, m-a-b \geq 0) \end{cases} \quad (5)$$

N枚のノーマルパワーモードのカードが衝突せずに受信できる期待値Eは、

$$E = CA^N V_0 \quad (6)$$

ここで、Cは

$$C = \underbrace{[0, 0, \dots, 0]}_{m \text{個}}, \underbrace{[1, 1, \dots, 1]}_{m \text{個}}, \underbrace{[m, m, \dots, m]}_{m \text{個}} \quad (7)$$

チャンネル数が4, 8, 16の場合の計算結果を図6に示す。チャンネル数が多いほどID番号を受信する期待値が大きくなる。また、計算による期待値のピーク値とそのときのノーマルパワーモードのカード数を表2に記す。

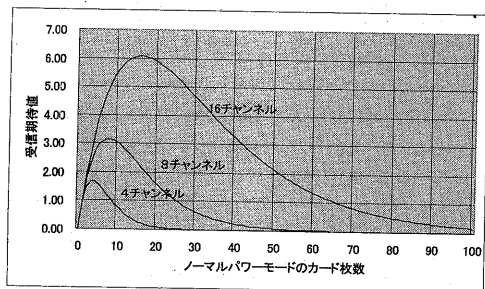


図6 ID番号受信の期待値

表2 ID番号受信の期待値のピーク

チャンネル数	ノーマルパワーカードの枚数	ID番号受信の期待値(枚数)
4	3	1.69
8	7	3.14
16	14	6.05

4.2 ノーマルパワーモードのカード枚数

カードがノーマルパワーモードになるタイミングは、パワーモードコントロールカウンタの値で可変。

梱包物と共にカードがトンネルアンテナ内に入るとICは一斉に動作を開始し、カウンタにランダム値が設定される。この時点では、カウンタ値は均等に割振られていると仮定する。しかし、識別の過程でID番号を識別されなかったカードは、再び初期値が設定されるので、カウンタ値の割振りは徐々に均等でなくなり、ノーマルパワーモードになるカードの枚数は変化する。

4.3 近接の発生する確率

近接状態は、カードがローパワーモードからノーマルパワーモードになれず、質問者のID要求コマンドに応えられない。これは、チャンネル衝突と同様な状況になる。

シミュレーションでは梱包内のカード配置を図7のように想定している。

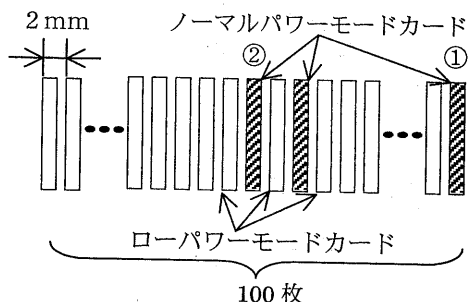


図7 無線ICカードの梱包配置モデル

ダミーカードによる実験で、ノーマルパワーモードのカード同士が直接隣り合わなければ近接とならないことが、確認されている。したがって近接が起きる確率は、隣同士のカードが同じパワーモードコントロールカウンタ値となる確率として計算できる。

パワーモードコントロールカウンタと近接状態の起きる確率を表3にまとめた。図7の①のカードは片側にだけ他カードがある場合、②のカードは両側に他カードがある場合。

表3 近接状態のおきる確率

パワーモードコントロールカウンタ	①のカードに起きる確率	②のカードに起きる確率
3ビットカウンタ	0.125(=1/8)	0.25(=1/4)
4ビットカウンタ	0.0625(=1/16)	0.125(=1/8)
5ビットカウンタ	0.0312(=1/32)	0.0625(=1/16)

4.4 通信手順の検討

100枚すべてのカードを識別する通信手順は、図3の基本の手順から、次の2つが考えられる。

図8の通信手順1は、1回のBreak信号に対し1回のID要求コマンドを出し、100枚すべてを識別するまで繰り返す(ループA)。通信の制御は簡単だが応答チャンネルの衝突でID番号が受信されずに再びローパワーモードに戻るカードがあるので、100枚識別するのに非常に時間がかかる。

図9の通信手順2は、ID要求コマンドを繰り返す(ループB)ことで応答チャンネルの衝突に対処する。質問器はノーマルパワーのカード数や衝突数がわからないので、繰り返し回数Xを未識別のカード数から推測する。推測が外れると繰り返しは無駄な処理となってしまう。

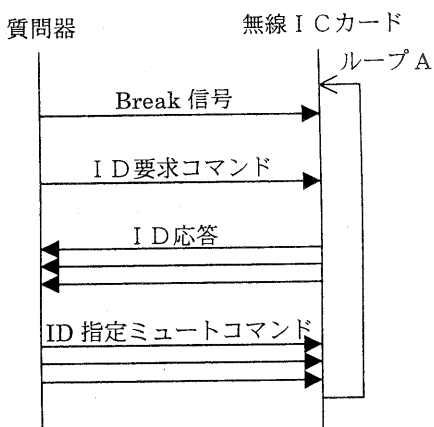


図8 識別の通信手順1

5. 識別シミュレーション

5.1 シミュレータソフト

図10にシミュレータソフトの構成図を示す。シミュレータソフトは質問器とカード100枚の動作を同時にシミュレートする。

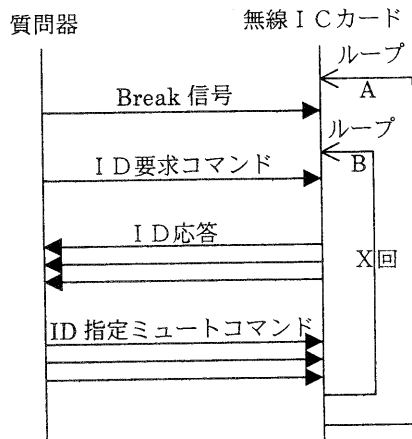


図9 識別の通信手順2

質問器動作ファイルは、図9のループBの繰り返し回数を未識別のカード枚数(10枚単位)ごとに設定する。質問器モジュールは動作ファイルに従い、Break信号とID要求ファイルを出し、100枚すべてを識別するまで動作を繰り返す。

100枚カード設定ファイルは、カード100枚分のID番号(ランダムな32ビット値)をもつ。またパワーモードコントロールカウンタのカウント長を3、4、5ビットの中から設定する。カードモジュールは、パワーモードと応答チャンネルを決定する。また近接状態を監視する。

質問器モジュールは、Break回数/コマンド回数/ノーマルパワーカード数/近接カード数/衝突数/識別数(受信回数)を履歴ファイルに保存する。

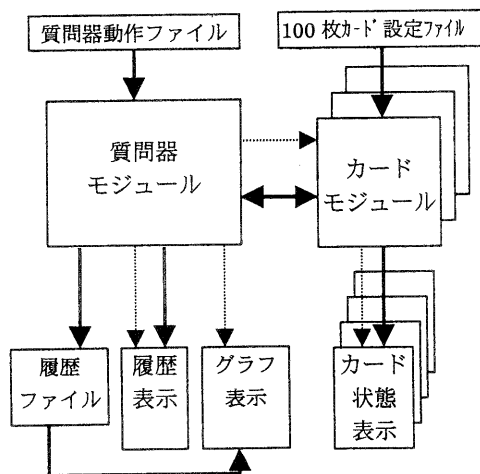


図10 シミュレータソフトの構成図

5.2 シミュレーション

100枚識別に要する時間は、パラメータを次のように設定し、式(8)から算出する。

- ・ Break 信号時間 : 10ms
- ・ 送信処理時間 : 750us
- ・ ID要求コマンド送信時間 : 377us
(80ビット×2)
- ・ ID番号受信時間 : 906us
(96ビット)
- ・ 受信処理時間 : 1800us

$T = 10\text{ms} \times \text{Break 信号回数}$

$$+ (750+377)\text{us} \times \text{ID 要求コマンド送信回数}$$

$$+ (1800+906)\text{us} \times \text{ID 番号受信回数}$$

$$+ (750+377)\text{us} \times \text{ミュートコマンド送信回数}$$

(8)

ここで、ミュートコマンド送信回数は100回。

結果は、カードのそのときどきのランダム値により送受信の回数がばらつく。そのため同一条件でのシミュレーションを20回行い、その平均を結果とした。

5.2.1 シミュレーション1

カードのパワーモードコントロールカウンタを3, 4, 5ビットとして識別時間の比較を行った。通信手順は図8の手順1とした。結果を表4に示す。

表4 シミュレーション1の結果

項目	3ビット	4ビット	5ビット
Break回数	41.35	48.35	65.85
送信回数	41.35	48.35	65.85
受信回数	37	39.85	47.9
識別時間 ms	673	758	975
近接率	0.254	0.125	0.065

パワーモードコントロールカウンタが、
3ビット<4ビット<5ビット
の順に、識別時間が短くなる。これは未識別のカードが少なくなるにつれ、ビット長の大きいカウンタの場合ノーマルパワーモードになるカードの頻度が少なくなるためである。
近接の起きる率は、表3の②で計算した値とよく一致する。

5.2.2 シミュレーション2

パワーモードコントロールカウンタが3ビットの場合について、図9の手順2で繰返し回数Xを変えて、識別時間の比較を行った。結果を表5と図11に示す。繰返し回数1回は、手順1である。

繰返し回数4および5回で識別時間が短くなっている。Break信号は、コマンドやID番号の応答に比べ、通信時間が長いので1度ノーマルパワーモードになったカードは取りこぼさずに、その時点で識別したほうがよいことを示している。

表5 シミュレーション2の結果

繰返し回数 N	Break回数 および 送信回数	受信回数	識別時間 ms
1回 (手順1)	41.35 41.35	37	673
2回	26.4 51.8	37.1	535
3回	21.5 62.35	38.2	501
4回	19.5 73	38.8	495
5回	18.2 87	38.7	497
6回	19.5 112.1	37.7	536

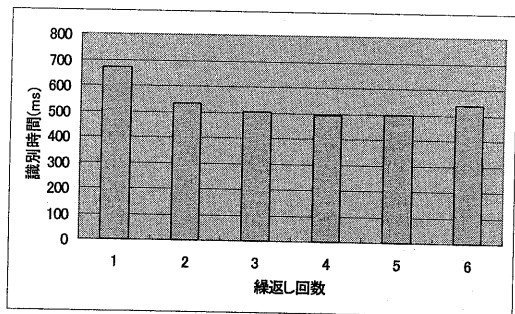


図11 シミュレーション2の結果

5.2.3 シミュレーション3

パワーモードコントロールカウンタが3ビットの場合について、図9の手順2で繰返し回数Xを未識別のカード数(10枚単位)に応じて変えた場合の識別時間算出した。繰返し回数の設定値を表6に示す。この設定は、シミュレーション2の繰返し1回(手順1)の履歴から、識別カード10枚単位に、1回のBreak信号でノーマルパワ

一モードになるカード数を求め、図7のID番号受信の期待値から推測した。結果を表7に示す。

表6 繰返し回数の設定

未識別数	繰返し回数	未識別数	繰返し回数
100~91	4	50~41	3
90~81	4	40~31	3
80~71	4	30~21	3
70~61	4	20~11	3
60~51	4	10~1	1

表7 シミュレーション3の結果

Break 回数	送信回数	受信回数	識別時間 m s
49.9	37.8	20.7	478

シミュレーションの中では最も識別時間が短い。未識別のカード数に応じ、ID番号の受信期待値から、繰返し回数を推測する方式は、有効である。

6 まとめ

多数の無線ICカードを高速に識別するために周波数ホッピング方式、パワーモード制御方式を考案し、識別の通信手順を開発した。カードが100枚の場合を想定したシミュレーションを行い、その有効性を確認した。

謝辞

本研究に際し、有益なコメントを頂いた関係諸氏に感謝いたします。なお、今回の研究は、郵政省が通信・放送機構(TAO)を通じて実施している委託研究である「物品管理用無線ICカードの同時識別技術に関する研究開発」プロジェクトのもと行われたものであります。

参考文献

- [1] 石上圭太郎：非接触ICカード事業の展開，非接触ICカード技術と材料，p.3-10（シーエムシー，1998）。
- [2] 大山満澄：伝送技術，FRAM ICカード

技術，p.113-120（サイエンスフォーラム，1999）。

- [3] Graham Murdoch, Stuart Littlechild
A Transmitter and a method for
Transmitting Data WO99/34526 PCT
8.July 1999 .