

# RFIDシステムにおけるパッシブタグ群の ID 識別時間の性能解析

水野 滉也, 高橋 豊

キーワード: RFID, ID 識別, BFSA, DFSA

本稿は、水野 滉也による 2015 年度京都大学工学部に提出した卒業論文をもとに加筆修正したものです。

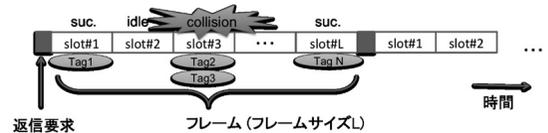


図 1 FS-ALOHA 概略

## 1. はじめに

あらゆるモノがインターネットに接続し情報を共有する IoT (Internet of Things) が近年注目を集めているが、その基盤技術の一つに、RFID (Radio Frequency Identification) がある。これはさまざまなモノに小さなタグを取り付け、ID 情報を記録することで管理を容易にするものである。RFID により、商品の生産管理、在庫管理の高速化、レジでの会計をスムーズに行うことが可能となる。

RFID システムは主にリーダとタグからなり、リーダがタグの ID を識別する。タグにはアクティブ型とパッシブ型があるが、本稿では、内蔵電池を必要とせず低廉な製造と永続的な使用が可能であるため、広く普及しつつあるパッシブタグを用いたパッシブ RFID システムを取り上げた。

パッシブタグの ID を識別するとき、リーダはタグに電力を供給し、返信要求を送る。これを受け取ったタグはリーダに ID を送信する。このとき複数のタグが同時に送信すれば衝突を起こすので、それらのタグの ID をリーダは識別できない。そこで、このような衝突の頻度を低減させるために、anti-collision プロトコルが使用されるが、その代表的なものに Framed Slotted ALOHA 方式 (以下 FS-ALOHA) がある。

FS-ALOHA では、時間をタイムスロット (以下スロット) 単位に区切り、一定個のスロットのまとまりを

みずの こうや, たかはし ゆたか  
京都大学 大学院情報学研究所  
〒 606-8501 京都府京都市左京区吉田本町  
mizuno\_koya@sys.i.kyoto-u.ac.jp  
takahashi@i.kyoto-u.ac.jp

フレームとする。FS-ALOHAの流れは次のようになる。

- (1) タグはフレーム内のスロットからランダムに一つを選びそのスロット内で送信する。
- (2) 衝突を起こしたタグは、次のフレームにおいて再度一つのスロットを選択し、ID を送信する。
- (3) (2) をすべてのタグの ID が識別されるまで繰り返す。

FS-ALOHA には、その基本型として毎回のフレーム内のスロット数 (フレームサイズ) が固定されている BFSA (Basic Framed Slotted ALOHA) がある。しかし、フレームサイズがタグ数に比べ小さいときは衝突するスロットが増え、大きいときはどのタグも送信しない冗長なスロットが増えるため、効率が低下する。したがって、タグ数に応じてフレームサイズを調整し送信に成功するスロットの割合を向上させる DFSA (Dynamic Framed Slotted ALOHA) が考えられている。

RFID システムの性能はタグ ID の識別時間で評価されるが、先行研究においては識別時間を主にシミュレーションによって評価するものが多く、解析的な評価は十分になされていない。また、衝突が起こったスロットとタグの送信がなされないスロットの長さを短縮し時間効率を高めるようなシステムについての議論も十分にされていない。そこで本稿では、(i)BFSA、スロット長固定 (ii)BFSA、スロット長可変 (iii)DFSA、スロット長固定 (iv)DFSA、スロット長可変の四つの場合について解析的な性能比較を行った。

## 2. モデルと解析

FS-ALOHA 方式の anti-collision プロトコルが実装

されたパッシブ RFID システムにおいて、リーダが  $N$  個のタグを識別するまでの過程を数理モデルとして表現し、その識別時間の確率的挙動を解析する。 $N$  の値をリーダは知っているものと仮定する。

まず、リーダは  $N$  個のタグに返信要求を同報する。このとき、同時にフレームサイズ  $L(0)$  を通知する。それぞれのタグは、 $L(0)$  個のスロットのうち一つをランダムに選択し、送信を行う。この際、各スロットにおいて一つのタグのみが送信した場合、そのタグの ID 情報をリーダは識別することができる。リーダは識別したタグに対し、一定時間送信を行わないよう mute コマンドを送信する。複数のタグが送信したスロットでは衝突が起こり、リーダはそれらのタグの ID 情報を識別することができない。送信に成功したスロット、衝突が起こったスロット、どのタグも送信しなかったスロットをそれぞれ success スロット、collision スロット、idle スロットと呼び、スロット長可変の場合、それぞれの長さを  $\tau_s (= 2.5 \times 10^{-3})$ ,  $\tau_c (= 5.0 \times 10^{-4})$ ,  $\tau_i (= 1.0 \times 10^{-3})$  とする。スロット長固定の場合のスロット長は  $2.5 \times 10^{-3}$  とする。1 フレームが経過した後、リーダはフレームサイズ  $L(1)$  を通知し、送信に失敗したタグについて同様の手順を繰り返す。こうして情報の送信が完了していないタグの数は減少し、その数が 0 になればすべてのタグの識別を完了する。

解析ではまず、フレームサイズが  $\ell (\ell = 1, 2, \dots)$  のとき、直前の未確認タグ数が  $i (i = 1, 2, \dots)$  で、直後のそれが  $j (j = 0, 1, \dots)$  へと遷移する確率  $\ell p_{i,j}$  を求め、その場合のフレームの時間長を確率変数  $\ell U_{i,j}$  で表し、また、 $i$  個のタグをすべて識別するのに要した時間を確率変数  $T_i$  で表す。 $\ell p_{i,j}$  と  $\ell U_{i,j}$  を用いて  $T_i$  のラプラス・スティルチェス変換 (LST)  $G_i^*(s)$  は次の再帰式を満たす。

$$G_i^*(s) = \frac{\sum_{j=0}^{i-1} \ell p_{i,j} \cdot \ell F_{i,j}^*(s) \cdot G_j^*(s)}{1 - \ell p_{i,i} \cdot \ell F_{i,i}^*(s)}$$

ここで、 $\ell F_{i,j}^*(s)$  は  $\ell U_{i,j}$  の LST である。 $T_i$  の平均は  $E[T_i] = -G_i^*(0)$  で求められることから、

$$E[T_i] = \frac{\ell p_{i,i} \cdot E[\ell U_{i,i}] + \sum_{j=0}^{i-1} \ell p_{i,j} \cdot (E[\ell U_{i,j}] + E[T_j])}{1 - \ell p_{i,i}}$$

という ID 識別時間の平均に関する漸化式を得る。この式をもとに (i)~(iv) の 4 方式を比較する。なお、DFSA におけるフレームサイズは、1 フレームで識別

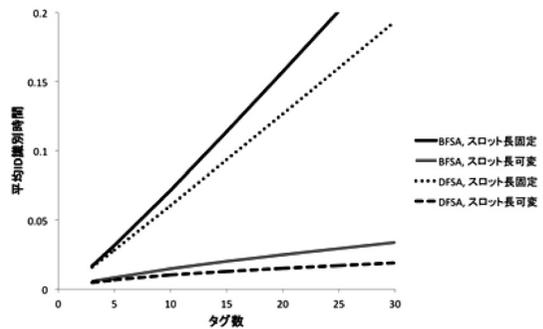


図2 DFSA と BFSFA の平均タグ読み取り時間の変化

できるタグ数の期待値が最大になるよう、フレームサイズを未確認タグ数と等しくなるようにする。

### 3. 数値例

図2は、BFSFA と DFSA における平均 ID 識別時間とタグ数  $N$  の関係を、それぞれスロット長固定の場合と可変の場合で比較したものである。

いずれの場合においても、タグ数の増加に伴い平均 ID 識別時間は直線的に増加している。また、BFSFA、DFSA ともにスロット長が可変の場合は固定の場合と比べ、平均 ID 識別時間が大きく削減されており、大幅に効率化されている。加えて、スロット長固定、可変ともに、DFSA の場合は BFSFA の場合と比べ、平均 ID 識別時間が短いことがわかる。これはフレームサイズを動的に変えることの利点を端的に表しているといえる。

### 4. 今後の課題

本稿では、タグ数を既知としていたが、一般のシステムではタグ数に関する情報は未知であることが多い。よって今後は、タグ数が未知の場合に、タグ数を最尤推定法などで推定する方法の提案とその解析が課題として挙げられる。

#### 参考文献

- [1] R. P. B. Mota and D. M. Batista, "A Dynamic Frame Slotted ALOHA Anti-collision Algorithm for the Internet of Things," In *Proceedings of 29th Annu. ACM Symp. Applied Computing (SAC)*, pp. 686–691, 2014.
- [2] "RFID を使ってみよう概要編 (1)," <http://mobiculous.com>
- [3] "RFID 技術動向・運用環境調査報告書," [http://www.dsri.jp/epcgl/pdf/h19-RFID\\_tech\\_trend\\_study.pdf](http://www.dsri.jp/epcgl/pdf/h19-RFID_tech_trend_study.pdf)
- [4] V. Nambodiri, M. DeSilva, K. Deegala and S. Ramamoorthy, "An extensive study of slotted Aloha-based RFID anti-collision protocols," *Computer Communication*, **35**, pp. 1955–1966, 2012.