

---

# RFID 시스템에서 고속 태그 식별을 위한 최적의 프레임 크기 할당 기법

임인택\*

Optimal Frame Size Allocation Mechanism for Fast Tag Identification in RFID System

Intaek Lim\*

## 요 약

13.56MHz ISM 대역을 사용하는 대부분의 RFID 시스템은 슬롯 ALOHA 방식을 기반으로 하는 고정된 프레임 크기를 갖는 FSA 알고리즘을 충돌 방지 알고리즘으로 사용하고 있다. FSA 알고리즘의 경우, 알고리즘의 구현이 간단한 장점이 있지만, 프레임의 크기가 고정되어 있기 때문에 태그 수가 가변적인 경우에는 시스템 성능이 저하되는 단점이 있다. 따라서 본 논문에서는 리더의 식별 영역 내에 있는 태그의 수를 기반으로 매 프레임마다 최적의 프레임 크기를 할당하는 OFSA 알고리즘을 제안한다. 시뮬레이션을 통한 성능 분석의 결과, OFSA 알고리즘은 기존의 FSA 알고리즘에 비하여 항상 최적의 시스템 효율을 얻을 수 있었으며, 최소의 식별 지연 시간을 얻을 수 있었다.

## ABSTRACT

Almost all the RFID systems in the 13.56MHz ISM band adopt the FSA algorithm as the anti-collision algorithm. The FSA algorithm is based on the slotted ALOHA with a fixed frame size. The FSA, though simple, has a disadvantage that when the number of tags is variable, the system performance degrades because of the fixed frame size. Therefore, this paper proposes a new OFSA. The proposed OFSA algorithm dynamically allocates the optimal frame size at every frame based on the number of tags in the reader's identification range. According to the simulation results, the system efficiency of the proposed algorithm should be maintained optimally. Also, the proposed algorithm always obtained the minimum tag identification delay.

## 키워드

RFID, Anti-collision algorithm, Frame size allocation

## I. 서론

RFID 시스템에서 리더는 무선채널을 통하여 각각의 태그들과 통신하는데, 모든 태그들은 리더가 보낸 신호를 동시에 듣게 된다[1][2]. 리더로부터 요청 메시지를 받은 태그들은 동시에 리더로 자신의 식별 코드를 전송하기 때문에 태그 충돌(Tag collision)이 발생한다. 이 때

리더는 동시에 응답한 태그들을 식별해야하는 문제가 발생하는데 이를 해결하는 기술이 충돌방지(Anti-collision) 알고리즘이며, 이는 RFID 시스템에서 가장 핵심이 되는 기술이다[3][4]. 이와 같은 충돌방지 알고리즘은 RFID 시스템의 태그식별 속도 및 정확성을 결정하는 중요한 핵심기술이다.

13.56MHz 대역을 사용하는 대부분의 RFID 시스템은

---

\* 부산외국어대학교 컴퓨터공학부

슬롯 ALOHA 방식을 기반으로 하는 고정된 프레임 크기를 갖는 FSA 알고리즘을 사용하고 있다. FSA (Framed Slot ALOHA) 알고리즘인 경우, 고정된 프레임을 갖기 때문에 식별 영역 내에 있는 태그의 수와 프레임의 크기에 따라 알고리즘의 성능이 크게 변화한다[5]. 따라서 본 논문에서는 리더의 식별영역 내에 있는 태그의 수를 기반으로 매 프레임마다 프레임의 크기를 가변적으로 할당하는 OFSA (Optimal FSA) 알고리즘을 제안한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 기존의 FSA 알고리즘의 성능을 해석적 방법으로 분석하고 이에 대한 결과를 통하여 FSA 알고리즘의 문제점을 제시하고, III장에서는 II장에서 제시한 문제점을 해결하기 위한 동적 프레임 할당 기법인 OFSA 알고리즘을 제안한다. IV장에서는 제안한 알고리즘과 기존 알고리즘의 성능을 시뮬레이션을 비교 분석하고, 마지막으로 V장에서는 결론을 맺는다.

## II. FSA 알고리즘의 성능 분석

### 1. 시스템 효율 분석

FSA 알고리즘의 성능을 분석하기 위하여 리더 사이클에서 태그들이 응답하는 프레임의 크기는  $N$ 개 슬롯으로 구성되어 있고, 리더의 식별영역 내에는  $n$ 개의 태그가 있는 것으로 가정한다. 또한 식별 영역 내에 있는 식별되지 않은 태그들이 응답을 하기 위하여  $N$ 개의 슬롯 중 임의의 하나를 동일한 확률로 선택하는 것으로 가정한다.  $n$ 개의 태그가  $N$ 개의 슬롯 중에서 임의의 하나를 선택하여 응답할 때, 하나의 슬롯에  $r$ 개의 태그가 응답을 전송할 확률  $B_{n,N}(r)$ 과  $N$ 개의 슬롯 중에서  $r$ 개의 태그가 응답하는 슬롯의 평균 개수  $a_{n,N}(r)$ 는 각각 다음과 같다[5].

$$B_{n,N}(r) = \binom{n}{r} \left(\frac{1}{N}\right)^r \left(1 - \frac{1}{N}\right)^{n-r} \quad (1)$$

$$a_{n,N}(r) = N \cdot B_{n,N}(r) = N \binom{n}{r} \left(\frac{1}{N}\right)^r \left(1 - \frac{1}{N}\right)^{n-r} \quad (2)$$

위의 식을 이용하여  $N$ 개의 슬롯 중에서 응답하는 태그가 없는 슬롯의 평균 개수, 오직 하나의 태그만 응답하

는 슬롯의 평균 개수, 및 두 개 이상의 태그가 응답하는 슬롯의 평균 개수를 각각  $a_{n,N}(0)$ ,  $a_{n,N}(1)$ ,  $a_{n,N}(\geq 2)$ 라 하면, 이는 각각 다음 식들과 같이 정의된다.

$$a_{n,N}(0) = N \cdot B_{n,N}(0) = N \left(1 - \frac{1}{N}\right)^n \quad (3)$$

$$a_{n,N}(1) = N \cdot B_{n,N}(1) = n \left(1 - \frac{1}{N}\right)^{n-1} \quad (4)$$

$$a_{n,N}(\geq 2) = \sum_{r=2}^n a_{n,N}(r) = \sum_{r=2}^n N \binom{n}{r} \left(\frac{1}{N}\right)^r \left(1 - \frac{1}{N}\right)^{n-r} \quad (5)$$

위의 식에서 나타낸  $a_{n,N}(0)$ ,  $a_{n,N}(1)$ 은 빈 슬롯의 평균 개수와 성공한 슬롯의 평균 개수를 각각 의미한다. 또한  $a_{n,N}(\geq 2)$ 는 충돌이 발생한 슬롯의 평균 개수를 의미한다.

시스템 효율을 한 프레임에서 성공적으로 식별한 슬롯의 평균 개수로 정의하면, FSA 알고리즘의 시스템 효율  $E$ 는 다음과 같다.

$$E = \frac{a_{n,N}(1)}{N} = \frac{n}{N} \left(1 - \frac{1}{N}\right)^{n-1} \quad (6)$$

### 2. 식별 지연 시간 분석

태그가 식별될 때까지의 지연 시간을 태그의 식별 지연 시간이라 하면, 이는 태그의 응답이 성공적으로 전송될 때까지의 시간으로 정의될 수 있다. 이 경우, 태그의 식별 지연 시간은 충돌로 인하여 재전송되는 횟수와 프레임 크기의 곱으로 나타낼 수 있다.

임의의 한 태그가 한 프레임에서 성공적으로 식별될 확률을  $S_{n,N}$ 이라 하고, 임의의 한 태그가 한 프레임에서 성공적으로 식별되지 못할 확률을  $F_{n,N}$ 이라 하면,

$S_{n,N}$ 과  $F_{n,N}$ 은 각각 다음과 같다.

$$S_{n,N} = \frac{B_{n,N}(1)}{n} \times N \quad (7)$$

$$= \left(1 - \frac{1}{N}\right)^{n-1}$$

$$F_{n,N} = 1 - S_{n,N} \quad (8)$$

$$= 1 - \left(1 - \frac{1}{N}\right)^{n-1}$$

한편,  $S_{n,N}(k)$ 를  $k$ 번째 프레임에서 성공적으로 식별될 확률이라 하면, 이는  $(k-1)$ 번째 프레임까지는 연속적으로 실패하고,  $k$ 번째 프레임에서 성공적으로 식별될 확률과 같다.  $k$ 번째 프레임에서 성공적으로 식별될 확률  $S_{n,N}(k)$ 과 태그의 평균 재전송 횟수  $E[S_{n,N}(k)]$ 는 다음과 같이 정의된다.

$$S_{n,N}(k) = F_{n,N}^{k-1} \times (1 - F_{n,N}) \quad (9)$$

$$\begin{aligned} E[S_{n,N}(k)] &= \sum_{k=1}^{\infty} k S_{n,N}(k) \\ &= (1 - F_{n,N}) \sum_{k=1}^{\infty} k F_{n,N}^{k-1} \quad (10) \\ &= \frac{1}{\left(1 - \frac{1}{N}\right)^{n-1}} \end{aligned}$$

따라서 태그를 식별할 때까지의 식별 지연 시간  $D$ 는 충돌로 인하여 재전송되는 횟수와 프레임 크기의 곱으로 나타낼 수 있으므로, 다음과 같이 정의된다.

$$\begin{aligned} D &= E[S_{n,N}(k)] \times N \quad (11) \\ &= \frac{N}{\left(1 - \frac{1}{N}\right)^{n-1}} \end{aligned}$$

### 3. 분석 결과

그림 1과 그림 2는 프레임 크기와 식별영역 내에 있는 태그의 수에 따라 FSA 알고리즘의 시스템 효율과 식별 지연 시간을 각각 비교한 것이다. 그림에서 나타낸 바와 같이 태그의 수가 많고 프레임 크기가 작으면, 많은 충돌로 인하여 효율은 급격히 저하되며 식별시간은 급격히 증가한다. 한편 태그의 수가 적은 경우, 프레임 크기를 크게 하면 낭비되는 슬롯이 많으므로 프레임 크기가 작은 경우에 비하여 오히려 효율은 떨어지고 식별시간은 길어진다.

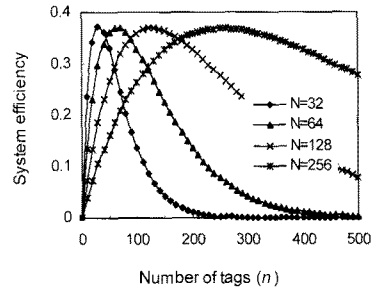


그림 1. FSA 알고리즘의 시스템 효율  
Fig. 1. System Efficiency of FSA algorithm

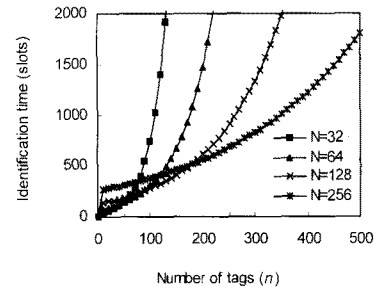


그림 2. FSA 알고리즘의 식별 지연 시간  
Fig. 2. Identification delay of FSA algorithm.

그림에서 나타낸 바와 같이 리더의 식별영역 내에 있는 태그의 수와 프레임의 크기는 성능에 상관관계가 있음을 알 수 있다. 따라서 RFID 시스템의 성능을 최대로 유지하기 위하여 식별영역 내에 있는 태그의 수에 따라 최적의 프레임 크기를 가변적으로 할당하는 알고리즘이 필요하다.

### III. OFSA 알고리즘

본 논문에서는 최대의 시스템 효율과 최소의 식별 지연 시간을 얻기 위하여 리더의 식별영역 내에 있는 태그의 수를 기반으로 프레임 크기를 동적으로 할당하는 방법인 OFSA 알고리즘을 제안하고자 한다. 본 논문에서 제안한 OFSA 알고리즘에서는 초기 리드 사이클의 프레임 크기와 최소 프레임 크기로는  $\min N$ 개를 할당한다. 논문에서 제안하는 OFSA 알고리즘의 기본적인 동작은 매 리드 사이클마다 리더가 프레임 크기를 동적으로 할당하는 것을 제외하고는 FSA 알고리즘과 동일하다.

이를 위하여, 먼저 최대의 시스템 효율을 얻기 위한 프레임 크기를 구하고자 한다. 시스템 효율을 최대로 하기 위하여 FSA 알고리즘의 시스템 효율을 나타내는 식 (6)을 프레임 크기  $N$ 에 대하여 1차 미분하면 다음과 같다.

$$\frac{dE}{dN} = \frac{n(n-N)(N-1)^{n-2}}{N^{n+1}} \quad (12)$$

시스템 효율을 프레임 크기에 대하여 1차 미분한 식 (12)가 0이 되는 프레임 크기 값이 시스템 효율을 최대로 하는 프레임 크기를 나타낸다. 따라서 식 (12)로부터 시스템 효율이 최대가 되기 위한 프레임 크기  $N$ 은  $N=n$  또는  $N=1$ 이다. 일반적으로 다중 태그를 식별하기 위하여 프레임 크기는 1보다 커야하므로  $N=n$ 일 때 시스템 효율이 최대가 된다. 즉, 최대의 시스템 효율을 얻기 위해서 리더는 프레임 크기를 식별 영역 내에 있는 태그의 수와 동일하게 할당해야함을 알 수 있다.

그림 3은 프레임 크기와 태그의 수에 따른 시스템 효율을 나타낸 것이다. 그림에서 나타낸 바와 같이 프레임의 크기가 태그의 수와 동일할 때 시스템 효율이 최대가 됨을 알 수 있다.

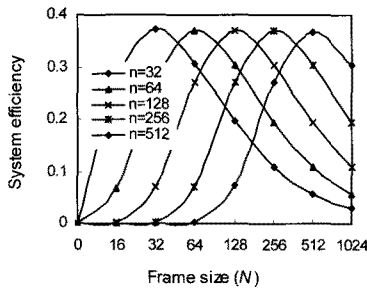


그림 3. 프레임 크기별 시스템 효율  
Fig. 3. System efficiency according to frame size.

한편, 최소의 식별 지연 시간을 얻기 위한 프레임 크기를 구하면 다음과 같다. 식별 지연 시간을 최소로 하는 프레임 크기를 구하기 위해서는 식별 지연 시간을 프레임 크기로 미분하여 0이 되는  $N$ 을 구하면 된다. FSA 알고리즘의 식별 지연 시간을 나타내는 식 (11)을 프레임 크기  $N$ 에 대하여 1차 미분하면 다음과 같다.

$$\frac{dD}{dN} = \frac{N^{n-2}(N-n)}{(N-1)^{n-1}} \quad (13)$$

따라서 식 (13)로부터 식별 지연 시간이 최소가 되기 위한 프레임 크기  $N$ 은  $N=n$  또는  $N=0$ 인데, 태그를 식별하기 위하여 리더는 프레임 크기를 할당해야하므로  $N=n$ 일 때 식별 지연 시간이 최소가 된다.

그림 4는 프레임 크기와 태그의 수에 따른 식별 지연 시간을 나타낸 것이다. 그림에서 나타낸 바와 같이 프레임의 크기가 태그의 수와 동일할 때 식별 지연 시간이 최대가 됨을 알 수 있다.

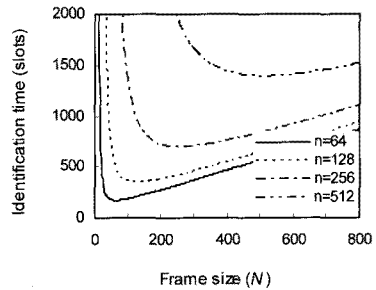


그림 4. 프레임 크기별 식별 지연 시간  
Fig. 4. Identification delay according to frame size.

그림 3과 4로부터 최대의 시스템 효율과 최소의 식별 지연 시간을 얻기 위해서 리더는 식별 영역 내에 있는 태그의 수와 동일한 프레임 크기를 매 리드 사이클마다 할당해야함을 알 수 있다.

#### IV. 시뮬레이션 결과

본 논문에서 제안한 알고리즘의 성능 분석은 시뮬레이션을 통하여 이루어졌으며 시뮬레이션을 위한 프레임의 구조와 슬롯의 길이는 Auto-ID 센터에서 제안한 13.56MHz RFID 시스템[6]의 매개변수들과 동일하게 설정하였다. 또한 리더의 식별 영역 내에 있는 태그의 수는 미리 알고 있다고 가정하고, [5]의 경우와는 달리 최적의 성능을 얻기 위하여 프레임 크기를 태그의 수만큼 할당한다. 그림 5는 Auto-ID 센터에서 제안한 13.56MHz RFID 시스템의 프레임 구조를 나타낸 것이고, 표 1은 64 비트의 EPC 코드를 가정한 경우, 각 슬롯들의 시간 값을

나타낸 것이다.

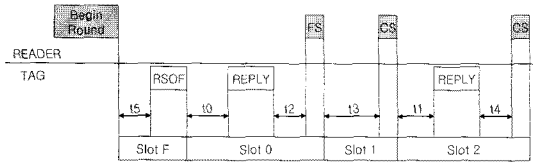


그림 5. 프레임 구조  
Fig. 5. Frame structure.

표 1. 리드 사이클 시간 값  
Table 1. Read cycle timing.

항목	값 (μsec)	
Begin Round	1,623.68	
Slot F	188.79	
Slot 0	성공한 경우	2,756.48
	충돌인 경우	2,114.56
	응답 없는 경우	226.54
Slot n (n≠0)	성공한 경우	2,945.27
	충돌인 경우	2,303.35
	응답 없는 경우	490.85

그림 6은 본 논문에서 제안한 OFSA 알고리즘의 효율을 기존의 FSA 알고리즘과 비교한 것이다. OFSA 알고리즘은 프레임의 크기를 태그의 수에 따라 최적으로 유지한다. 따라서 그림 6에서 나타난 바와 같이 태그의 수에 관계없이 거의 일정한 효율을 나타낸다.

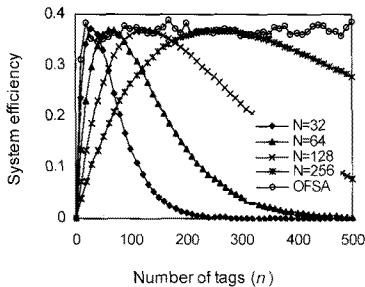


그림 6. 태그 수에 따른 시스템 효율  
Fig. 6. System efficiency vs. number of tags.

그림 7은 OFSA 알고리즘의 식별 지연 시간을 기존의 FSA 알고리즘과 비교한 것이다. 리더의 식별 영역 내에 50개의 태그가 있을 때, 본 논문에서 제안한 OFSA 알고

리즘은  $N=128$ 인 FSA 알고리즘에 비하여 약 2.5배 빨리 식별할 수 있으며,  $N=256$ 인 FSA에 비하여 약 3.4배 정도 빨리 식별할 수 있다. 또한 1,000개의 태그가 식별 영역 내에 있을 경우,  $N=128$ 과  $N=256$ 인 FSA에 비하여 각각 18.9배 및 2.1배 빨리 식별할 수 있다. 이와 같이 FSA의 경우, 프레임의 크기가 작은 경우에는 많은 충돌이 발생하기 때문에 태그의 수가 증가하면 할수록 식별 지연 시간이 기하급수적으로 증가한다. 반면, 본 논문에서 제안한 알고리즘은 식별 영역 내에 있는 태그의 수에 비례하여 프레임의 크기를 동적으로 할당하므로 FSA 알고리즘에 비하여 월등히 빨리 식별할 수 있다.

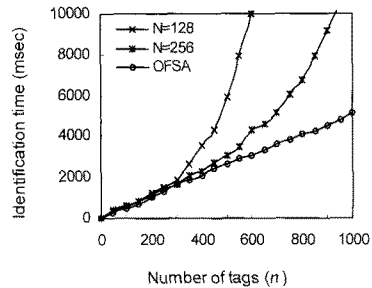


그림 7. 태그 수에 따른 식별 지연 시간  
Fig. 7. Identification time vs. number of tags.

## V. 결론

본 논문에서는 리더의 식별 영역 내에 있는 태그의 수를 기반으로 리드 사이클마다 프레임의 크기를 가변적으로 할당하는 OFSA 알고리즘을 제안하고, 이에 대한 성능을 분석하였다. 제안한 알고리즘에서는 최대의 시스템 효율과 최소의 식별 지연 시간을 얻기 위하여 프레임의 크기를 리더의 식별 영역 내에 있는 태그의 수와 동일하게 할당하였다. 시뮬레이션을 통한 성능 분석의 결과, 본 논문에서 제안한 OFSA 알고리즘은 프레임 크기가 고정인 FSA 알고리즘에 비하여 시스템 효율 및 식별 지연 시간 성능이 월등히 우수함을 알 수 있었다. 다음 연구에서는 리더의 식별 영역 내에 있는 태그의 수를 정확하게 추정하는 방법과 최소 프레임의 크기가 알고리즘의 성능에 미치는 영향을 분석하는 연구가 필요하리라 판단된다.

참고문헌

저자소개

- [1] K. Finkenzeller, *RFID Handbook: Fundamentals and Applications in Contactless Smart Cards and Identification*, Carl Hanser Verlag GmbH & Co., 2002.
- [2] W. Chen, and G. Lin, "An Efficient Anti-Collision Method for Tag Identification in a RFID System," *IEICE Trans Commun.*, vol.E89-B, no.12, pp.3386-3392, Dec. 2006.
- [3] H. Vogt, "Efficient Object Identification with Passive RFID Tags," *First International Conf. on Pervasive Computing*, LNCS, vol.2414, pp.99-113, Springer-Verlag, 2002.
- [1] M. A. Bonucelli, F. Lonetti, and F. Martelli, "Instant Collision Resolution for Tag Identification in RFID Networks," *Ad Hoc Networks*, vol.5, pp.1220-1232, 2007.
- [1] 임인택, 최진우, "RFID 시스템에서 고속 태그 식별을 위한 동적 FSA 알고리즘," *한국해양정보통신학회 논문지*, 제10권 제5호, pp.806-811, 2006.5.
- [1] Anti-ID Center, "13.56MHz ISM Band Class 1 Radio Frequency Identification Tag Interface Specification: Candidate Recommendation, Version 1.0.0," May 2003.



임인택(Intaek Lim)

1984년 2월 울산대학교 전자계산학과 (공학사)  
 1986년 2월 서울대학교 계산통계학과 (이학석사)  
 1998년 2월 울산대학교 컴퓨터공학과 (공학박사)  
 1986년 1월~1993년 2월 : 삼성전자(주) 특수연구소 선임연구원  
 1993년 3월~1998년 2월 : 동부산대학 전자계산과 조교수  
 1998년 3월~현재 : 부산외국어대학교 컴퓨터공학부 부교수  
 ※ 관심분야 : 무선 ATM망, 이동통신, MAC 프로토콜