
태그 수 추정에 기반한 동적 프레임 크기 할당 기법

임인택*

Dynamic Frame Size Allocation Scheme based on Estimated Number of Tags

Intaek Lim*

요 약

RFID 시스템은 식별되고자하는 사물에 부착된 태그들과 이를 인식하는 리더로 구성된다. 기존의 바코드 시스템과는 달리, 태그와 리더 간에 접촉이 없이도 저장된 정보를 읽을 수 있는 특징이 있다. 이러한 비접촉 특성으로 인하여 RFID 기술은 다양한 응용 분야에서 바코드를 대신할 기술이 될 것이다. 13.56MHz 대역을 사용하는 대부분의 RFID 시스템은 리더의 식별 영역에 있는 다중 태그를 식별하기 위하여 FSA 알고리즘을 사용한다. FSA 알고리즘인 경우, 식별 영역 내에 있는 태그의 수와 프레임의 크기에 따라 태그 식별 지연 시간과 시스템 효율이 크게 변화한다. 본 논문에서는 이러한 RFID 시스템에서 태그의 수를 추정하고, 추정된 태그의 수를 기반으로 프레임 크기를 동적으로 할당하는 기법을 제안한다.

ABSTRACT

An RFID system consists of radio frequency tags attached to objects that need to be identified and one or more electromagnetic readers. Unlike the traditional bar code system, the great benefit of RFID technology is that it allows information to be read without requiring contact between the tag and the reader. For this contact-less feature, RFID technology in the near future will become an attractive alternative to bar code in many application fields. In almost all the 13.56MHz RFID systems, FSA algorithm is used for identifying multiple tags in the reader's identification range. In FSA algorithm, the tag identification time and system efficiency depend mainly on the number of tags and frame size. In this paper, we propose a tag number estimation scheme and a dynamic frame size allocation scheme based on the estimated number of tags.

키워드

RFID, Tag number estimation, FSA, Anti-collision algorithm

I. 서 론

대부분의 13.56MHz 대역의 RFID 시스템에서는 다중 태그 식별 기법으로 FSA (Framed Slot ALOHA) 알고리즘을 사용한다. FSA 알고리즘에서 리더는 먼저 인식할 수 있는 영역 내의 모든 태그들에게 요청 메시지를 발송하고 태그들로부터 응답을 수신하기 위하여 한 프레임

동안 기다린다[1,2]. 여기서 정의되는 프레임은 태그들이 응답을 전송하는데 사용되는 몇 개의 슬롯으로 구성된다. 리더가 태그들에게 발송하는 요청 메시지는 프레임의 크기와 슬롯 선택에 대한 정보가 함께 제공된다. 리더의 요청 메시지를 수신한 태그들은 요청 메시지와 함께 제공된 정보를 이용하여 프레임 내에서 자신이 사용할 임의의 슬롯을 선택하고, 선택한 슬롯을 통하여 자

신의 식별코드를 전송한다. 여러 개의 태그들이 동일한 슬롯을 선택하여 전송하면 충돌이 발생한다[3]. 이 때 전송에 성공한 태그는 리더와의 통신을 통하여 이후의 요청 메시지에 대해 응답하지 않도록 설정되고, 전송에 실패한 태그는 이후의 요청 메시지에 대해 위의 과정을 반복한다.

FSA 알고리즘인 경우, 고정된 프레임에 갖기 때문에 식별 영역 내에 있는 태그의 수와 프레임의 크기에 따라 알고리즘의 성능이 크게 변화한다[4,5]. 따라서 본 논문에서는 리더의 식별 영역 내에 있는 태그의 수를 매 리드 사이클마다 추정하고, 추정한 태그의 수를 기반으로 매 프레임마다 프레임의 크기를 동적으로 할당하는 기법을 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 기법을 제안한다. IV장에서는 리더의 식별 영역 내에 있는 태그의 수를 추정하는 기법을 제안하고, V장에서는 시뮬레이션을 통하여 얻은 성능을 비교 분석하고, 마지막으로 VI장에서는 결론을 맺는다.

II. FSA 알고리즘 분석

FSA 알고리즘의 성능을 분석하기 위하여 리드 사이클에서 태그들이 응답하는 프레임의 크기는 N개 슬롯으로 구성되어 있고, 리더의 식별영역 내에는 n개의 태그가 있는 것으로 가정한다. n개의 태그가 N개의 슬롯 중에서 임의의 하나를 선택하여 응답할 때, 하나의 슬롯에 r개의 태그가 응답을 전송할 확률 $B_{n,N}(r)$ 은 다음과 같다.

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

위의 식을 이용하여 N개의 슬롯 중에서 응답하는 태그가 없는 슬롯의 평균 개수, 오직 하나의 태그만 응답하는 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.

$$a_{n,N}(0) = N \cdot B_{n,N}(0) = N \left(1 - \frac{1}{N}\right)^n \quad (2)$$

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

$$a_{n,N}(\geq 2) = \sum_{r=2}^n a_{n,N}(r) = \sum_{r=2}^n N \binom{n}{r} \left(\frac{1}{N}\right)^r \left(1 - \frac{1}{N}\right)^{n-r} \quad (4)$$

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 E는 다음과 같다.

$$E = \frac{n}{N} \left(1 - \frac{1}{N}\right)^{n-1} \quad (5)$$

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.

$$S_{n,N} = \frac{B_{n,N}(1)}{n} \times N = \left(1 - \frac{1}{N}\right)^{n-1} \quad (6)$$

$$F_{n,N} = 1 - S_{n,N} \tag{7}$$

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

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.

$$S_{n,N}(k) = F_{n,N}^{k-1} \times (1 - F_{n,N}) \tag{8}$$

$$E[S_{n,N}(k)] = (1 - F_{n,N}) \sum_{k=1}^{\infty} k F_{n,N}^{k-1} \tag{9}$$

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

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

$$D = E[S_{n,N}(k)] \times N \tag{10}$$

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

III. 프레임 크기 할당 기법

본 장에서는 FSA 알고리즘에서 최대의 시스템 효율과 최소의 식별 지연 시간을 얻기 위한 프레임의 크기를 알아보하고자 한다. 이를 위하여, 먼저 최대의 시스템 효율을 얻기 위한 프레임 크기를 구한다. 시스템 효율을 최대 하기 위하여 FSA 알고리즘의 시스템 효율을 나타내는 식 (5)를 프레임 크기 N 에 대하여 1차 미분하면 다음과 같다.

$$\frac{dE}{dN} = \frac{n(n-N)(N-1)^{n-2}}{N^{n+1}} \tag{11}$$

시스템 효율을 프레임 크기에 대하여 1차 미분한 식 (11)이 0이 되는 프레임 크기 값이 시스템 효율을 최대로 하는 프레임 크기를 나타낸다. 따라서 식 (11)로부터 시스템 효율이 최대가 되기 위한 프레임 크기는 $N=n$ 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 1은 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.

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 (10)을 프레임 크기 N 에 대하여 1차 미분하면 다음과 같다.

$$\frac{dD}{dN} = \frac{N^{n-2}(N-n)}{(N-1)^{n-1}} \tag{12}$$

따라서 식 (12)로부터 식별 지연 시간이 최소가 되기 위한 프레임 크기는 $N=n$ 또는 $N=0$ 인데, 태그를 식별하기 위하여 리더는 프레임 크기를 할당해야하므로 $N=n$ 일 때 식별 지연 시간이 최소가 된다.

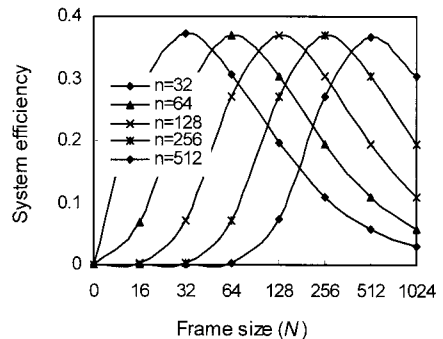


그림 1. 프레임 크기별 시스템 효율
Fig. 1. System efficiency according to frame size.

그림 2는 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.

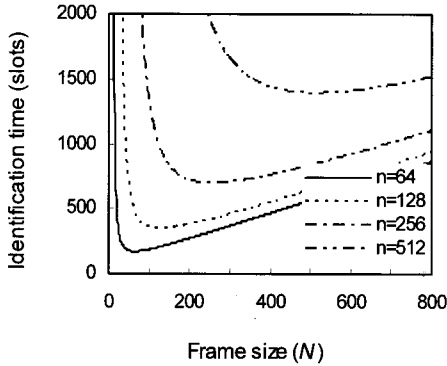


그림 2. 프레임 크기별 식별 지연 시간
Fig. 2. Identification delay according to frame size.

그림 1과 2로부터 최대의 시스템 효율과 최소의 식별 지연 시간을 얻기 위해서 리더는 식별 영역 내에 있는 태그의 수와 동일한 프레임 크기를 매 리더 사이클마다 할당해야함을 알 수 있다.

IV. 태그 수 추정 기법

본 논문에서는 리더 사이클 이후에 태그들이 응답한 프레임의 관측을 통하여 얻은 결과와 확률적 계산을 통하여 얻은 결과를 조합하여 태그 수를 추정한다. 리더 사이클 이후에 관측된 빈 슬롯의 수를 N_e 라 하고, 성공한 슬롯의 수를 N_s 라 한다. 만일 관측을 통하여 얻은 N_e 와 N_s 가 식 (2)와 식 (3)에서 각각 구한 빈 슬롯의 평균 개수와 성공한 슬롯의 평균 개수와 같다면 N_e 와 N_s 는 각각 다음과 같다.

$$N_e = N \left(1 - \frac{1}{N}\right)^n \quad (13)$$

$$N_s = n \left(1 - \frac{1}{N}\right)^{n-1} \quad (14)$$

식 (13)과 식 (14)를 이용하여 이전 프레임에서 리더 사이클에 참여한 태그의 수를 구하면 다음과 같다.

$$n = (N - 1) \frac{N_s}{N_e} \quad (15)$$

다음 리더 사이클에 참여할 태그의 수는 이전 프레임에서 충돌이 발생한 태그의 수(n_c)와 같다. 따라서 이는 식 (15)에서 성공한 슬롯의 수를 뺀 것과 같다.

$$n_c = (N - N_e - 1) \frac{N_s}{N_e} \quad (16)$$

리더는 이전 프레임에서 성공한 슬롯의 수와 빈 슬롯의 수를 관측할 수 있으므로 식 (16)으로부터 남은 태그의 수를 추정할 수 있다. 그러나, 식 (16)에서 나타낸 바와 같이 성공한 슬롯의 수 또는 빈 슬롯의 수가 없는 경우에는 위의 식을 사용할 수 없다. 따라서 본 논문에서는 이를 보완하기 위하여 확률적 계산을 기반으로 한 방법을 추가한다.

충돌인 슬롯 당 평균 태그의 수를 a 라 하면, 이는 다음과 같다.

$$a = \frac{\sum_{r=2}^n rN \binom{n}{r} \left(\frac{1}{N}\right)^r \left(1 - \frac{1}{N}\right)^{n-r}}{N - N \left(1 - \frac{1}{N}\right)^n - n \left(1 - \frac{1}{N}\right)^{n-1}} \quad (17)$$

그림 3은 프레임 크기가 태그의 수와 같을 때, 충돌이 발생한 슬롯 당 태그의 수를 나타낸 것이다. III장에서 나타낸 바와 같이 프레임의 크기가 태그의 수와 동일할 때 시스템 효율이 최대가 되고 태그 식별 지연 시간이 최소가 된다. 따라서 이 경우, 그림에서 나타낸 바와 같이 충돌이 발생한 각각의 슬롯으로 평균 2.4개의 태그가 응답한다. 관측을 통하여 얻은 충돌이 발생한 슬롯의 수를 N_c 라 하면, 남은 태그의 수(n_c)는 다음과 같다.

$$n_c = 2.4N_c \quad (18)$$

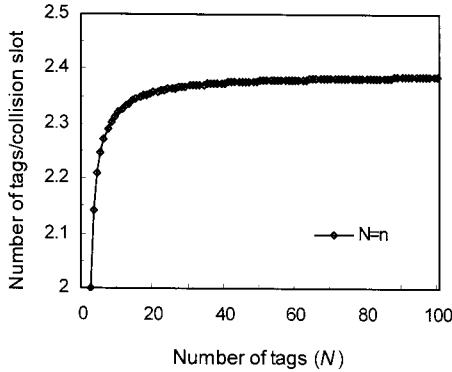


그림 3. 충돌 슬롯 당 충돌 태그의 수
Fig. 3. Number of collision tags per collision slot.

관측을 통하여 얻은 결과 식 (16)과 확률적 계산을 통하여 얻은 결과 식 (18)을 조합하여 본 논문에서 제안하는 태그 수 추정 기법은 다음과 같다.

$$n_c = \begin{cases} (N - N_e - 1) \frac{N_s}{N_e} & , \text{if } N_e \neq N_s \neq 0 \\ 2.4N_c & , \text{otherwise} \end{cases} \quad (19)$$

V. 시뮬레이션 결과

시뮬레이션을 위한 프레임의 구조와 슬롯의 길이는 Auto-ID 센터에서 제안한 13.56MHz RFID 시스템[6]의 매개변수들과 동일하게 설정하였다. 그림 4는 Auto-ID 센터에서 제안한 13.56MHz RFID 시스템의 프레임 구조를 나타낸 것이고, 표 1은 64비트의 EPC 코드를 가정한 경우, 각 슬롯들의 시간 값을 나타낸 것이다.

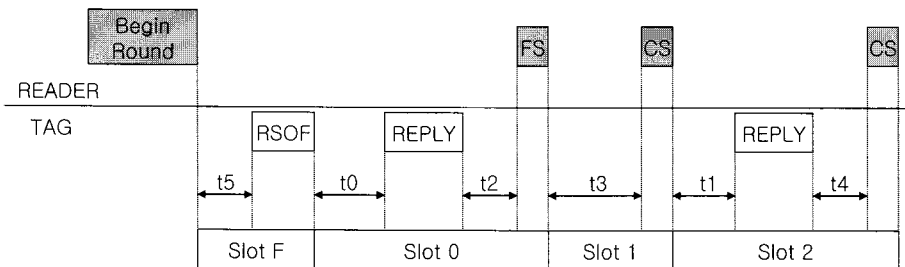


그림 4. 프레임 구조
Fig. 4. Frame structure

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

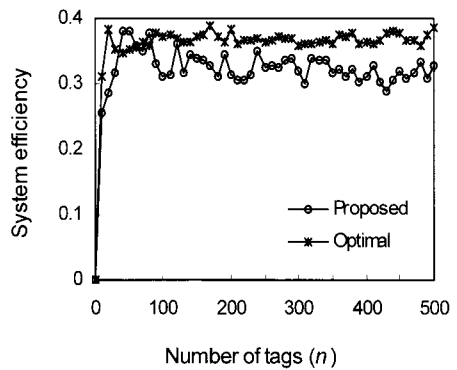


그림 5. 태그 수에 따른 시스템 효율
Fig. 5. System efficiency vs. number of tags.

그림 5와 그림 6은 본 논문에서 제안한 기법의 시스템 효율과 식별 지연 시간을 최적의 기법과 비교한 것이다. 성능 비교를 위한 최적의 기법은 리더의 식별 영역 내에 있는 태그의 수를 정확히 알고 있다고 가정한 경우를 나타낸 것이다. 최적인 경우 시스템 효율은 평균 0.36을 나타내고, 본 논문에서 제안한 방법으로 태그 수를 추정한

경우 시스템 효율은 평균 0.33을 나타낸다. 또한 그림 6에서 나타낸 바와 같이 식별 지연 시간은 최적의 경우와 제안한 기법이 그다지 차이가 없음을 알 수 있다.

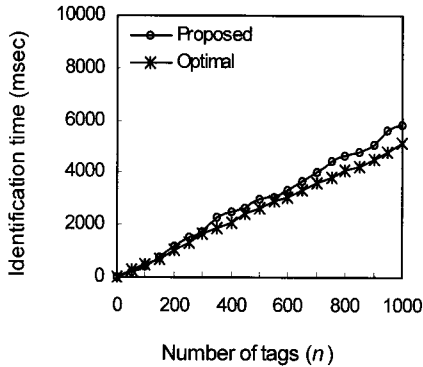


그림 6. 태그 수에 따른 식별 지연 시간
Fig. 6. Identification time vs. number of tags.

VI. 결 론

본 논문에서는 리더의 식별 영역 내에 있는 태그의 수를 추정하는 기법과 이를 이용하여 프레임의 크기를 가변적으로 할당하는 기법을 제안하였다. 제안한 태그 수 추정 기법은 이전 프레임을 관측한 결과와 확률적 계산을 통하여 얻은 결과를 조합하였다. 시뮬레이션을 통한 성능 분석의 결과, 본 논문에서 제안한 태그 수 추정 기법의 성능은 리더의 식별 영역 내에 있는 태그의 수를 미리 알고 있다고 가정한 경우의 성능과 그다지 차이가 나지 않음을 알 수 있었다.

참고문헌

[1] 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.

[2] K. Romer, T. Schoch, F. Mattern, and T. Dubendorfer, "Smart Identification Frameworks for Ubiquitous Computing Applications," *Kluwer/ACM Wireless*

Networks(WINET), vol.10, no.6, Dec. 2004.

[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.

[4] 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.

[5] 임인택, 최진오, "RFID 시스템에서 고속 태그 식별을 위한 동적 FSA 알고리즘," *한국해양정보통신학회 논문지*, 제10권 제5호, pp.806-811, 2006.5.

[6] Anti-ID Center, "13.56MHz ISM Band Class 1 Radio Frequency Identification Tag Interface Specification: Candidate Recommendation, Version 1.0.0," May 2003.

저자소개



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 임베디드IT학과
교수
※ 관심분야 : 무선 ATM망, 이동통신, MAC 프로토콜