

# ALOHA 방식에 기반한 900 MHz RFID 시스템에서의 태그 개수 추정 방법

이지봉, 김완진, 김형남

부산대학교 전자공학과

hnkim@pusan.ac.kr

## Estimation of Number of Tags in a 900 MHz RFID System based on ALOHA algorithm

Ji-Bong Lee, Wan-Jin Kim, Hyoung-Nam Kim

Department of Electronics Engineering, Pusan National University

### 요 약

본 논문에서는 900 MHz RFID 시스템에서 ALOHA 기반의 충돌방지 알고리즘의 성능을 향상시킬 수 있는 새로운 태그 개수 추정 방법을 제안한다. AHOHA 기반의 충돌 방지 알고리즘에서는 태그 개수에 따라 슬롯 크기를 결정함으로써 충돌방지 성능을 최적화 할 수 있다. 즉, 태그 개수를 정확히 알게 되면 최적의 슬롯 크기를 할당할 수 있으므로 충돌 방지 알고리즘의 효율을 향상시킬 수 있다. 제안하는 방법은 태그 개수에 따른 빈 슬롯 개수의 기대값을 이용하여 실제 태그의 개수를 추정해 낸다. 시뮬레이션을 통해 기존의 태그 개수 추정 방법과 비교, 분석하여 제안하는 방법이 태그 개수 추정에 효과적임을 보인다.

### 1. 서론

RFID (Radio Frequency IDentification)란 사물에 부착된 전자태그로부터 무선 주파수를 이용하여 정보를 송·수신하고 이와 관련된 서비스를 제공하는 기술을 말한다 [1]. RFID 시스템에서는 태그에 극소형 칩과 안테나를 부착해 무선을 통해 위치에 상관없이 보다 많은 정보를 저장할 수 있으며, 태그의 부착이 용이하고 바코드에 비해 장거리 정보 송·수신이 가능하다. 특히 유통 및 물류분야에 사용될 900 MHz RFID 시스템은 각종 물품에 전자태그를 부착해 스캐너로 하나씩 읽을 필요 없이 자동으로 물품 명세와 가격, 유통경로 및 기한 등을 파악할 수 있어 유통 및 물류에 대 혁신을 가져올 기술로 각광받고 있다. 또한 앞으로 센서 기술과 소형화 기술 등이 더욱 발전하면 정보를 능동적으로 획득하고 처리하는 능력까지 갖추게 되어 바코드가 하던 역할과는 비교할 수 없을 정도로 많은 일들을 해낼 수 있을 것으로 기대된다 [2].

일반적으로 RFID 시스템에서 사용되는 태그는 수동형과 능동형이 있다. 특히 900 MHz RFID 시스템에서 이용되는 수동형 태그는 그 능력이 매우 제한적이어서 다른 태그들과 통신을 할 수 없고 단지 리더와만 통신이 가능하다. 리더는 무선 채널을 통하여 각각의 태그들과 통신을 하는데, 모든 태그들이 리더가 보낸 신호를 동시에 받게 되고 리더의 전송요구에 응답을 한다. 이 때 하나의 리더가 동시에 응답한 여러 개의 태그를 인식해야 하는 문제가 발생하는데 이를 태그 충돌이라고 한다 [1]. 태그를 고속으로 인식하기 위해서 이러한 문제를 해결하

는 것이 충돌방지 알고리즘이며 900 MHz RFID 시스템에서 가장 핵심이 되는 기술이다 [3]. 본 논문에서는 충돌방지 알고리즘 중의 하나인 ALOHA 방식에 대해 간략히 언급하고 ALOHA 방식의 인식 성능을 결정하는 중요한 요소 중 하나인 태그 개수 추정 방법에 대한 기존의 연구들을 살펴본다. 이어서 효율적으로 태그 개수를 추정할 수 있는 새로운 방법을 제안하고 시뮬레이션을 통해 기존의 방법들과 비교, 분석 결과를 제시한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2, 3 장에서는 ALOHA 방식 충돌방지 알고리즘과 기존의 태그 개수 추정 방법에 대해 살펴보고 4 장에서는 새로운 태그 개수 추정 방법을 제안한다. 5 장에서는 제안하는 방법과 기존 방법들의 성능 비교를 위해 시뮬레이션 결과를 제시한다. 마지막으로 6 장에서 결론을 맺는다.

### 2. ALOHA 방식 충돌방지 알고리즘

AHOHA 방식은 슬롯 크기의 결정 방법에 따라 크게 FSA (Framed slotted AHOHA) 방식과 DFSA (Dynamic Framed slotted AHOHA) 방식으로 분류된다.

#### A. FSA 알고리즘

충돌방지 알고리즘 중 가장 기본이 되는 FSA 알고리즘은 ISO 18000-6 TYPE A [4]와 ISO 18000-6 TYPE C [5]에서 사용되고 있다. FSA 알고리즘에서는 리더가 태그에게 ID 전송 요구를 할 때 태그가 자신의 랜덤변수를 선택할 수 있는 정보를 함께 전송 한다. 태그는 리더로부터 ID 전송 요구를 수신하면 리더로부터 받은 정보를

이 논문은 교육인적자원부 지방연구중심대학육성사업 (차세대 물류 IT 기술연구사업단)의 지원에 의하여 연구되었음.

READER	1 <sup>st</sup> REQ	Slot1	Slot2	Slot3	Slot4	2 <sup>nd</sup> REQ
STATE		1011	IDLE	COLL	0101	
TAG1(1011)		• 1011				
TAG2(1010)				• 1010		1010
TAG3(0011)				• 0011		0011
TAG4(0101)					• 0101	

Frame Size = 4

그림 1. FSA의 태그 인식 과정 (CAS) [3]

이용하여 자신이 응답할 슬롯을 결정한 후 전송을 시도한다. 만일 두 개 이상의 태그가 같은 슬롯에서 전송을 시도하면 충돌이 발생하고 태그들이 전송한 데이터는 손실된다 [1]. 그림 1은 FSA 알고리즘을 이용하여 4개의 태그를 인식해 나가는 한 예를 설명하고 있다. 리더가 첫 번째 ID 전송요구 (1<sup>st</sup> REQ)를 하면 태그는 자신의 랜덤 변수를 선택하여 전송을 시도한다. 본 논문에서는 리더의 ID 전송요구에서부터 이에 대한 태그의 응답의 과정을 하나의 ROUND라고 정의한다. 그림 1에서 TAG1은 Slot1을 선택하였고 TAG2와 TAG3은 Slot3을 선택하였으며 TAG4는 Slot4를 선택하였다. Slot1과 Slot4에서는 하나의 태그만 전송을 시도하였으므로 리더는 TAG1과 TAG4를 성공적으로 인식한다. 반면 Slot2는 자신의 ID를 전송한 태그가 없기 때문에 빈 슬롯이 되고 Slot3에서는 TAG2와 TAG3이 자신의 ID를 전송하였기 때문에 충돌이 발생한다. 리더는 충돌이 발생한 TAG2와 TAG3에 대해 두 번째 ID 전송요구 (2<sup>nd</sup> REQ)를 전송하여 첫 번째 ID 전송요구를 했을 때와 같은 방식으로 태그 인식 과정을 진행한다. 이러한 일련의 과정을 반복하여 리더는 모든 태그를 인식한다 [3].

## B. DFSA 알고리즘

일반적으로 FSA 알고리즘에서 태그의 개수가 프레임 크기 (슬롯 수)보다 커지면 충돌 발생이 많아져서 태그를 인식하기 위한 시간이 증가한다. 반면 태그의 개수가 프레임 크기보다 작을 경우에는 슬롯의 낭비가 발생한다. 따라서 태그의 개수를 추정하여 그 개수에 따라 슬롯의 크기를 최적화 하는 것이 필요하다 [1],[3],[6]. ALOHA 방식 충돌방지 알고리즘에서 태그의 개수를 추정하는 것을 “태그 개수 추정 방법”이라 하고 태그 개수에 따라 동적으로 슬롯의 크기를 최적화 하는 것을 “동적 슬롯 할당 방식”이라고 한다 [3,6]. 즉, 태그 인식 과정을 진행하면서 추정된 태그 개수에 따라 슬롯의 크기를 변화시켜 나가는 알고리즘을 DFSA라 하고, DFSA 알고리즘에서의 태그 인식 효율은 태그의 개수를 정확히 추정하고 이를 이용해 다음 ROUND에서 최적의 슬롯 크기를 할당하는 방법에 달려있다.

## 3. 기존 태그 개수 추정 방법

태그의 개수를 추정하는 방법은 여러 가지가 있다. 이 중 대표적인 방법으로 오차 최소화 기법과 최소치 추정 기법이 있다. 오차 최소화 기법은 체비셰프 부등식 (Cherbyshev's inequality)에 그 기반을 두고 있다. 즉, 일반적으로 모든 랜덤한 값은 대부분 기대값의 주변에 분포된다. 따라서 태그 개수의 추정치는 식 (1)로 계산할 수 있다 [6].

$$e_{vd}(N, c_0, c_1, c_k) = \min_n \begin{pmatrix} a_0^{N,n} \\ a_1^{N,n} \\ a_k^{N,n} \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} c_0 \\ c_1 \\ c_k \end{pmatrix} \quad (1)$$

여기에서  $N$ 은 슬롯 개수,  $n$ 은 태그 개수,  $a_0^{N,n}$ 은  $c_0$  (빈 슬롯 개수)에 대한 기대값,  $a_1^{N,n}$ 은  $c_1$  (식별 슬롯 개수)에 대한 기대값,  $a_k^{N,n}$ 은  $c_k$  ( $k$ 개의 태그가 충돌이 발생한 슬롯 개수)에 대한 기대값으로 슬롯 상태의 실측값과 기대값의 오차를 최소화하는  $n$ 값으로 태그 개수를 추정한다. 오차 최소화 기법의 문제점은 구현이 복잡하다는 데에 있다. 추정치의 오차는 실측값이 어느 정도 평균 기대값에 근접하느냐에 따라 결정되며 또한 계산에서 사용된  $n$ 값의 범위와도 관계가 있다 [7].

실제 대부분의 알고리즘에서는 오차 최소화 기법보다는 구현이 간단한 최소치 추정 기법을 많이 사용한다. 태그 개수의 추정치는 식 (2)로 계산할 수 있다.

$$e_{\min}(N, c_0, c_1, c_k) = c_1 + 2c_k \quad (2)$$

충돌 발생 슬롯은 최소한 두 개의 태그가 동시에 할당되었기 때문에 발생하므로 식 (2)에서 추정된 태그 개수는 최소치를 의미한다 [6],[8]. 최소치 추정 기법은 식 (3)에서와 같이 추정할 수 있는 값의 최대치가 설정된 슬롯 개수의 두 배로서 태그 개수가 그 이상일 경우 상당히 큰 오차가 발생하므로 일반적으로 설정된 슬롯 개수의 두 배 범위 이내의 태그 개수를 예측할 경우 유용하다 [7].

$$e_{\min}(N, c_0, c_1, c_k) = c_1 + 2c_k = 2N - 2c_0 - c_1 \leq 2N \quad (3)$$

최소치 추정 기법은 상기에서 언급되었듯이 설정된 슬롯 개수의 두 배 범위 내에서는 태그 개수 추정에 유용하지만 태그 개수가 늘어나게 되면 오차가 커지게 된다 [7]. 이를 극복하기 위한 방안 중 한 가지를 소개하면 다음과 같다.

$n$ 개의 태그가  $N$ 개의 슬롯을 사용하여 리더와 통신할 경우 하나의 슬롯 내에  $r$ 개의 태그가 존재할 확률은 이항분포 (binomial distribution)를 따르며 식 (4)와 같이 나타낼 수 있다 [6].

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

그러므로 한 ROUND 동안 읽을 수 있는 태그 개수의 기대값은 식 (5), 빈 슬롯 개수의 기대값은 식 (6), 충돌이 발생한 슬롯 개수의 기대값은 식 (7)과 같이 나타낼 수 있다.

$$a_1^{N,n} = N \cdot B_{n, \frac{1}{N}}(1) = n \left(1 - \frac{1}{N}\right)^{n-1} \quad (5)$$

$$a_0^{N,n} = N \cdot B_{n, \frac{1}{N}}(0) = N \left(1 - \frac{1}{N}\right)^n \quad (6)$$

$$a_k^{N,n} = N - N \left(1 - \frac{1}{N}\right)^n - n \left(1 - \frac{1}{N}\right)^{n-1} \quad (7)$$

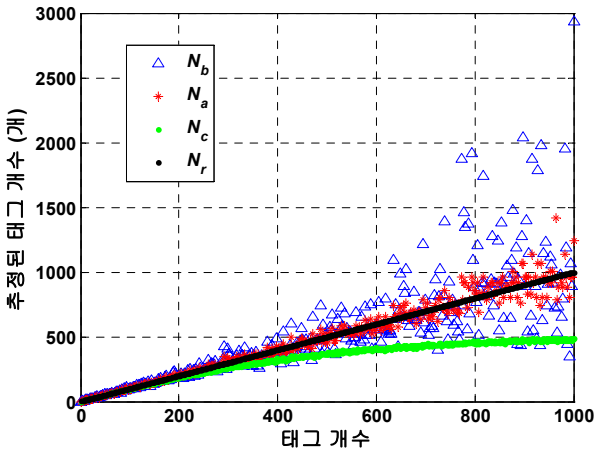


그림 2. 태그 개수 추정치 비교.

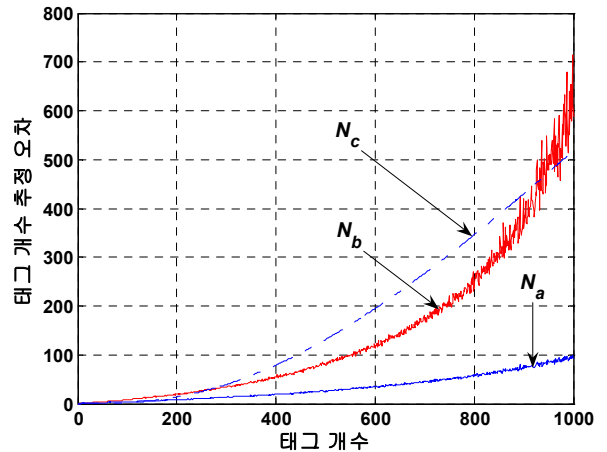


그림 3. 태그 개수 추정 오차 비교.

위의 식 (6)을 식 (5)로 나누어 정리하면 식 (8)을 얻을 수 있다.

$$n = (N - 1)(a_0^{N,n} / a_1^{N,n}) \quad (8)$$

따라서 기대값  $a_1^{N,n}$ ,  $a_0^{N,n}$  대신 실측값  $c_1, c_0$ 를 넣음으로써 태그 개수를 추정할 수 있다 [7]. 이 방법의 추정치 오차는 실측값이 어느 정도 평균 기대값에 근접하느냐에 따라 결정되지만 기존 방법에 비해 계산이 간단하고 최소치 추정 기법에 비해 적용범위가 넓다는 장점이 있다 [7]. 그러나 이 방법은 태그 인식 개수와 빈 슬롯 개수의 비를 이용하여 태그 개수를 추정하므로 실측값 오차에 대해 추정치가 민감하게 반응할 가능성이 있다. 즉, 태그 인식 개수와 빈 슬롯 개수는 서로 독립적인 관계에 있는 것이 아니라 인식 개수가 늘어나면 빈 슬롯의 개수가 줄어드는 반비례 관계에 있으므로 둘 사이의 비를 이용하게 되면 추정치가 실측값 오차에 민감해 지게 된다.

#### 4. 제안하는 태그 개수 추정 방법

3 절에서 언급하였듯이 한 ROUND 동안 읽을 수 있는 태그 개수, 빈 슬롯 개수 및 충돌이 일어난 슬롯 개수에 대한 기대값은 구할 수 있다. 이 중 빈 슬롯 개수의 기대값에 대한 식 (6)을 보면 간단한 지수 함수의 형태로 나타남을 알 수 있다. 식 (6)을 정리하여  $n$  (태그 개수)에 대한 식으로 나타내면 다음과 같이 된다.

$$n = \frac{\log(a_0^{N,n}) - \log(N)}{\log(N - 1) - \log(N)} \quad (9)$$

제안하는 태그 개수 추정 방법은 식 (9)에서 기대값인  $a_0^{N,n}$  대신 실측값  $c_0$ 를 넣음으로써 태그의 개수를 추정하게 된다. 다음 식 (10)을 이용하여 태그 개수를 추정한다.

$$n = \frac{\log(c_0) - \log(N)}{\log(N - 1) - \log(N)} \quad (10)$$

제안하는 방법은 빈 슬롯 개수의 실측값 하나만을 이용하므로 빈 슬롯 개수와 식별 슬롯 개수의 실측값 두 개를 이용하는 식 (8)의 태그 개수 추정 방법보다 실측값

오차에 대한 영향이 작아지게 된다.

#### 5. 시뮬레이션 결과

제안된 태그 개수 추정 방법의 성능 검증을 위해 제안된 방법과 기존의 방법으로 얻어지는 추정치를 시뮬레이션을 통해 비교, 분석하였다. 시뮬레이션에서 설정된 슬롯 개수는 ISO 18000-6 Type C 프로토콜 [5]에 근거하여  $2^Q$  개로 하였다. 여기서  $Q$ 는 1~15까지의 값을 가진다. 태그의 개수는 0 개에서 무한개까지 설정할 수 있으나 본 논문에서는 현실적으로 무한개까지의 태그를 인식할 경우는 없다고 보고 1000 개까지로 한정하였다.

그림 2는  $Q$  값을 8 (슬롯 개수 256)로 했을 경우 제안하는 방법으로 추정된 태그 개수 ( $N_a$ )와 식 (8)을 이용한 추정 방법으로 구해진 개수 ( $N_b$ ) 및 최소치 추정 방법으로 구해진 개수 ( $N_c$ )를 태그 개수의 증가에 따라 보여주고 있다.  $N_r$ 은 이상적인 경우에서의 추정치이다. 이상적인 경우는 추정치가 실제 태그 개수와 일치할 때를 뜻한다. 그림에서 보듯이 제안하는 방법으로 추정된 태그의 개수가 이상적인 경우에 가장 근접한 값을 가짐을 알 수 있다. 또한 최소치 추정 기법은 앞에서 설명된 바와 같이 설정된 슬롯 개수의 2 배, 즉 512 개 이상의 개수를 추정할 경우 오차가 상당히 커짐을 알 수 있다.

그림 3은 각각의 추정치들이 가지는 이상적인 경우와의 차이를 나타낸 그림이다. 데이터는 각각을 1000 회 반복하여 평균한 값이다. 그림에서 보듯이 태그 개수가 작을 때는  $N_a$ 와  $N_b$ ,  $N_c$  모두 이상적인 경우에 가까운 추정치를 가지지만 태그 개수가 많아질 수록 제안하는 방법으로 추정한 값이 작은 오차를 가짐을 알 수 있다.

그림 4는 실측값의 오차가 각각의 태그 개수 추정 방법에 주는 영향을 나타낸 것이다. 즉, 슬롯 개수와 태그 개수를 알 때 식 (6)을 이용해 구해낼 수 있는 빈 슬롯 개수의 기대값과 실측값과의 오차로 태그 개수 추정 오차를 나누어서 실측값의 오차가 태그 추정 오차에 어느 정도 영향을 주는지를 분석한 것이다. 태그 개수에 따른 빈 슬롯 개수의 평균적인 실측값 오차는 그림 5에 나타내었다. 데이터는 1000 회 반복하여 평균한 값이다. 그림 4에서 보는 바와 같이 태그 개수가 작을 경우에는 실측값 오차에 의한 영향이 거의 같지만 개수가 많아질 수록 제안한 방법이 그 영향에 강건함을 알 수 있다.

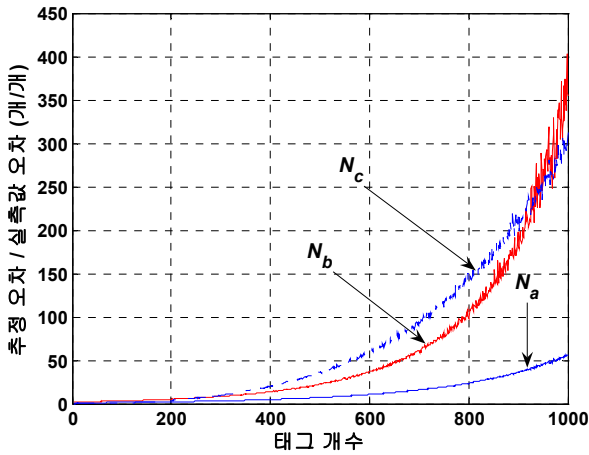


그림 4. 태그 개수 추정에 있어 실측값 오차의 영향

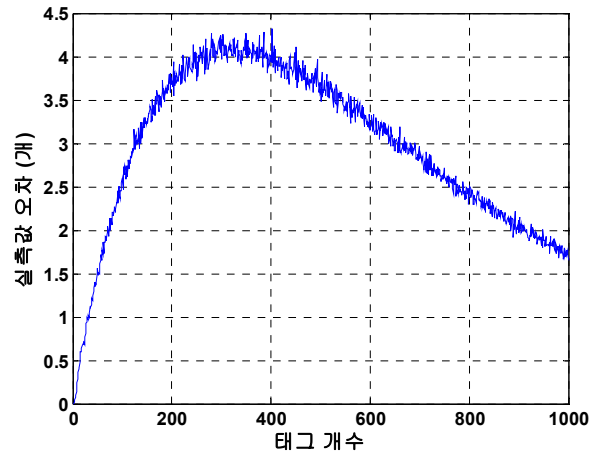


그림 5. 빈 슬롯 개수의 평균 실측값 오차

## 6. 결론

본 논문에서는 900 MHz RFID 시스템에서 ALOHA 기반 충돌 알고리즘의 성능을 향상시킬 수 있는 새로운 태그 개수 추정 방법을 제안하였다. 제안된 방법은 태그 개수에 따른 빈 슬롯 개수의 기대값을 이용해 실제 태그 개수를 추정하는 방법이다. 시뮬레이션을 통해 제안된 방법을 기존 방법과 비교, 분석한 결과 제안된 방법이 실측값 오차의 영향을 덜 받기 때문에 태그 개수 추정에 효과적임을 볼 수 있었다. 따라서 이 방법을 충돌 방지 알고리즘에 적용할 경우 900 MHz RFID 시스템 뿐만 아니라 ALOHA 기반 충돌 방지 알고리즘을 사용하는 타 대역의 RFID 시스템에서도 태그 인식 효율을 향상시킬 수 있을 것으로 기대된다.

## 7. 참고 문헌

[1] K. Finkenzeller, RFID Handbook ;*Fundamentals and applications in Contactless Smart Cards and Identification, Second Edition, John Wiley & Sons Ltd, pp. 195-219,2003.*

[2] S. Sarma, D. Brock, and D.Engels, "Radio frequency identification and electronic product code," *IEEE MICRO*, 2001.

[3] 차재룡, 김재현 "RFID 시스템에서의 태그 수를 추정하는 ALOHA 방식 Anti-collision 알고리즘" *한국통신학회 논문지*, '05-9, vol.30,No.9A,2005.

[4] ISO/IEC 18000-6:2003(E), Part 6: *Parameters for air interfacecommunications at 860-960 MHz*, Nov. 26, 2003.

[5] EPCglobal. "EPCTM Radio-Frequency Identity Protocols Class-1 Generation-2 UHF RFID Protocol for Communications at 860MHz - 960MHz version 1.1.0 Draft 1," *EPCglobal*, July 2005.

[6] H. Vogt, "Efficient Object Identification with Passive RFID Tags," *Proc. Int. Confer. on Pervasive Computing, LNCS.2414*, pp 98-113.Springer-Verlag. August 2002.

[7] 권성호 ,모희숙, 최길영 "슬롯 알로하 기반 RFID 시스템에서의 태그개수 추정기법," *한국통신학회 추계종합학술발표회*, vol.32, session 7-130, 2005.

[8] H. Vogt, "Multiple Object Identification with Passive RFID Tags," *2002 IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics*, October 2002.