

RFID 시스템에서 태그 식별을 위한 SFSA 알고리즘의 성능 분석

임인택*, 최진오*, 최진호*

* 부산외국어대학교 컴퓨터공학부

Performance Analysis of FSA Algorithm for Tag Identification in RFID Systems

In-Taek Lim*, Jin-Oh Choi*, Jin-Ho Choi*

* Division of Computer Engineering, Pusan University of Foreign Studies

E-mail : itlim, jochoi, jhchoi@pufs.ac.kr

요 약

리더기의 식별영역 내에 다수 개의 태그가 동시에 존재할 때, RFID 시스템에서는 리더기로 하여금 각각의 태그 데이터를 읽을 수 있도록 하는 다중 태그 식별 기법을 필요로 한다. 이러한 다중 태그 식별을 위한 기술을 충돌방지 알고리즘으로, 이는 RFID 시스템 구축에 있어서 필수적으로 요구되는 핵심 기술이다. 본 논문에서는 충돌방지 알고리즘 중에서 구현이 비교적 용이한 SFSA 알고리즘의 성능을 분석한다. 분석의 결과, 알고리즘의 성능은 태그의 수와 프레임의 크기에 밀접한 관계가 있음을 알 수 있었다.

ABSTRACT

In RFID system, when a variety of tags are present in the interrogation zone of a single reader at the same time, the system requires a multiple tag identification scheme that allows the reader to read data from the individual tags. Anti-collision algorithms required for the multiple tag identification are essential for the implementation of RFID system. This paper analyzed the performance of SFSA algorithm, which is easy to implement. According to the analytical results, the algorithm's performances are closely related with the number of tags and the frame size.

I. 서 론

RFID 시스템 성능의 두 가지 중요한 척도는 태그를 식별하기 위해 필요한 시간과 태그에 의해 소모되는 에너지이다. 리더에 의해 전송요구가 있을 때 태그가 보낸 데이터가 적을수록 태그식별 시간이 단축되고 태그에 의해 소모되는 에너지도 적다. 따라서 충돌방지 알고리즘은 RFID 시스템의 태그식별 속도 및 정확성을 결정하는 중요한 핵심기술이다[1].

다중 태그 식별을 위한 충돌방지 알고리즘은 크게 확률적 알고리즘과 결정적 알고리즘으로 구분된다[2][3]. 확률적 알고리즘은 13.56MHz 대역을 사용하는 EPC Class 1과 ISO 15693 표준에서 채택하고 있으며, 슬롯 ALOHA 방식을 기반으로 하고 있다[4][5]. 확률적 알고리즘의 대표적인 방식으로는 FSA(Framed Slot ALOHA) 알고리즘이 있다. 결정적 알고리즘은 915MHz 대역의 EPC Class 0에서 채택하고 있으며, 트리 검색 방식을 기반으로 하고 있다[6][7].

13.56MHz 대역을 사용하는 대부분의 RFID 시

스템은 슬롯 ALOHA 방식을 기반으로 하는 고정된 프레임 크기를 갖는 SFSA(Static Frame Slotted ALOHA) 알고리즘을 사용하고 있다. 따라서 리더의 식별영역 내에 많은 태그가 있을 경우 프레임 크기를 작게 하면 빈번한 충돌로 인하여 식별시간이 길어질 것으로 예상된다. 또한 태그 수가 적은 경우, 프레임 크기를 크게 하면 낭비되는 슬롯이 많아지는 문제점이 있을 것이다. 따라서 본 논문에서는 이러한 성능을 보일 것으로 예상되는 SFSA 알고리즘의 성능을 해석적 방법으로 분석한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 기존의 SFSA 알고리즘을 설명하고, III장에서는 SFSA 알고리즘의 성능을 해석적 방법으로 분석하고, 이에 대한 결과를 기술하며, 마지막으로 IV장에서는 결론을 맺는다.

II. SFSA 알고리즘

슬롯 ALOHA 알고리즘이란 태그가 응답하는

시간을 고정된 크기의 슬롯으로 나누고 태그들은 각자 선택한 슬롯에 자신의 식별코드를 전송하는 방식으로, 리더는 슬롯 내의 태그 응답이 충돌 없이 전송될 때만 태그를 식별한다. 현재 사용 중인 RFID 시스템은 슬롯 ALOHA 알고리즘 계열의 하나인 FSA 알고리즘을 사용한다[5]. 프레임이란 리더가 명령을 전송하고 다음 명령을 전송할 때까지의 시간을 의미하며, 하나의 프레임은 여러 개의 슬롯으로 구성되므로 프레임 크기는 슬롯의 수에 따라 변한다.

FSA 알고리즘 중에서 SFSA 알고리즘은 리더와 태그 간의 통신에 사용되는 프레임의 크기가 고정된 알고리즘이다. 리더는 먼저 식별할 수 있는 영역 내의 모든 태그들에게 요청 메시지를 방송하고 태그들로부터 응답을 수신하기 위하여 한 프레임 동안 기다린다. 여기서 정의되는 프레임은 태그들이 응답을 전송하는데 사용되는 몇 개의 슬롯으로 구성된다. 리더가 태그들에게 방송하는 요청 메시지에 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 자신의 식별코드를 전송한다. 여러 개의 태그들이 동일한 슬롯을 선택하여 전송하면 충돌이 발생한다. 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.

Downlink	Request	①	②	Request	①	②
Uplink		collision	0010		0001	collision
Tag 1		→0001			→0001	
Tag 2			→0010			
Tag 3		→1010				→1010
Tag 4		→1011				→1011

그림 1. SFSA 알고리즘 동작

그림 1은 SFSA 알고리즘의 동작 과정을 나타내고 있다. 하나의 프레임으로 구성되는 태그 식별 과정을 리드 사이클이라 하면, 첫 번째 리드 사이클에서 태그 1, 태그 3, 및 태그 4는 슬롯 1 번을 선택하여 자신의 식별코드를 전송함으로써 충돌이 발생하였다. 그 결과 슬롯 1을 통하여 전송한 태그들은 식별되지 않았으므로 두 번째 리드 사이클에서 리더로부터의 요청 메시지에 임의의 슬롯을 선택하여 응답한다. 반면, 태그 2는 첫 번째 리드 사이클에서 충돌이 발생하지 않아서 식별되었으므로 리더는 태그 2에게는 이후의 요청 메시지에 응답하지 않도록 한다.

III. 성능 분석 및 결과

SFSA 알고리즘의 성능을 분석하기 위하여 프레임의 크기를 N 개 슬롯으로 하고, 리더의 식별 영역 내에는 n 개의 태그가 있는 것으로 가정한다. 또한 모든 태그들은 N 개의 슬롯 중에서 임의의 하나를 동일한 확률로 선택하는 것으로 가정한다. n 개의 태그가 N 개의 슬롯 중에서 임의의 하나를 선택하여 응답할 때, 하나의 슬롯에 r 개의 태그가 응답할 확률 $B_{n,N}(r)$ 과 r 개의 태그가 응답하는 슬롯의 평균 개수 $a_{n,N}(r)$ 는 각각 다음과 같다 [4].

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

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

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

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

태그가 식별될 때까지의 지연 시간을 태그의 식별시간이라 하고, 이를 태그의 응답이 성공적으로 전송될 때까지의 시간으로 정의하면, 태그의 지연은 충돌로 인하여 재전송되는 횟수와 프레임 크기의 곱으로 나타낼 수 있다. 임의의 태그가 한 프레임에서 성공적으로 식별될 확률을 $S_{n,N}$ 이라 하고, 임의의 태그가 한 프레임에서 성공적으로 식별되지 못할 확률을 $C_{n,N}$ 이라 하면, $S_{n,N}$ 과 $C_{n,N}$ 은 각각 다음과 같다.

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

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

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. 따라서 $S_{n,N}(k)$ 과 태그의 평균 재전송 횟수는 다음과 같이 정의된다.

$$S_{n,N}(k) = C_{n,N}^{k-1} \times (1 - C_{n,N}) \quad (6)$$

$$E[S_{n,N}(k)] = \frac{1}{\left(1 - \frac{1}{N}\right)^{n-1}} \quad (7)$$

따라서 태그를 식별할 때까지의 식별시간 D 는

다음과 같다.

$$D = E[S_{n,N}(k)] \times N \quad (8)$$

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

그림 2와 그림 3은 프레임 크기와 식별영역 내에 있는 태그의 수에 따라 SFSA 알고리즘의 효율과 식별시간을 각각 비교한 것이다. 성능 분석을 위한 프레임의 구조와 슬롯의 길이는 Auto-ID 센터에서 제안한 13.56MHz ISM 대역의 RFID 시스템의 매개변수들과 동일하게 설정하였다. 그림에서 나타난 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.

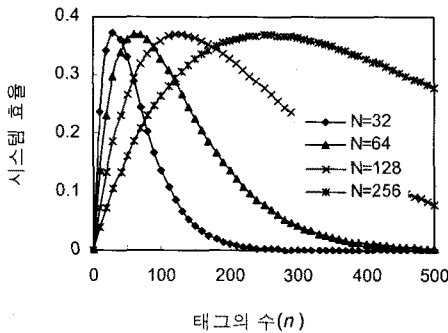


그림 2. SFSA 알고리즘의 효율

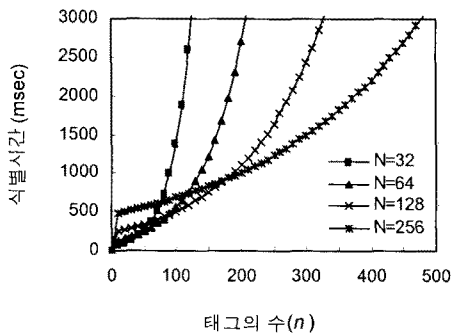


그림 3. SFSA 알고리즘의 식별시간

표 1은 그림 2와 그림 3을 바탕으로 SFSA 알고리즘에서 최적의 효율과 식별시간을 얻을 수 있는 프레임 크기별 태그의 수를 나타낸 것이다. 표에서 나타난 바와 같이 태그의 수와 프레임의 크기는 성능에 상관관계가 있음을 알 수 있다. 따

라서 RFID 시스템의 성능을 최대로 유지하기 위하여 식별영역 내에 있는 태그의 수에 따라 프레임의 크기를 가변적으로 할당하는 DFSA 알고리즘이 필요하다.

표 1. 최적의 성능을 위한 프레임 크기별 태그 수

N	32	64	128	256
n	≤ 44	$45 \leq n \leq 88$	$89 \leq n \leq 177$	$178 \leq n \leq \infty$

그림 4는 프레임 크기에 따라 낭비되는 슬롯의 비율을 나타낸 것이다. 태그의 수가 많을 때, 프레임의 크기가 작으면 작을수록 낭비되는 슬롯의 비율이 낮지만, 그림 3에서 나타난 바와 같이 전체 태그를 식별하는 시간이 길어지는 문제점이 있다.

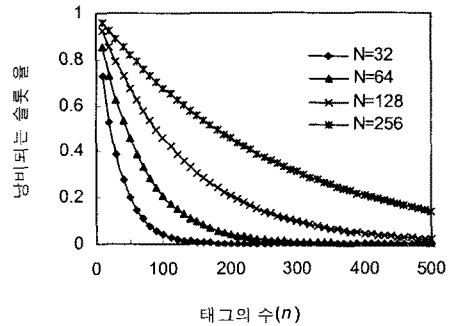


그림 4. 낭비되는 슬롯 비율

V. 결 론

본 논문에서는 RFID 시스템에서 태그 식별을 위한 FSA 알고리즘 중에서 프레임의 크기가 일정한 SFSA 알고리즘의 성능을 해석하였고, 이에 대한 성능 분석의 결과를 기술하였다. 성능 분석의 결과, 리더기의 식별 영역에 있는 태그의 수와 프레임의 크기에 따라 많은 성능의 차이를 나타내고 있었다. 따라서 최적의 성능을 얻을 수 있는 충돌방지 알고리즘을 위해서는 식별 영역 내에 있는 태그의 수를 정확히 추정할 수 있고, 이를 기반으로 최적의 성능을 얻기 위한 프레임의 크기를 할당하는 알고리즘이 필요할 것으로 보인다.

참고문헌

- [1] S. E. Sarma, S. A. Weis, and D. W. Engels, "RFID Systems and Security and Privacy Implications," *Proc. of CHES2002, Lecture Notes in Computer Science*,

- vol.2523, pp.454-469, 2003.
- [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] S. A. Weis, S. E. Sarma, R. L. Rivest, and D. W. Engels, "Security and Privacy Aspects of Low-Cost Radio Frequency Identification Systems," *Proc. of 1st Annual Conf. on Security in Pervasive Computing*, 2003.
 - [4] H. Vogt, "Efficient Object Identification with Passive RFID Tags," *First International Conf. on Pervasive Computing, LNCS*, vol.2414, pp.99-113, Springer-Verlag, 2002.
 - [5] Auto-ID Center, "860MHz-930MHz Class 0 Radio Frequency Identification Tag Protocol Specification Candidate Recommendation, Version 1.0.0," June 2003.
 - [6] C. Law, L. Lee, and K. Y. Siu, "Efficient Memoryless Protocol for Tag Identification," Auto-ID Center, *MIT-AUTOID-TR-003*, Oct. 2000.
 - [7] M. Jacomet, A. Ehrsam, and U. Gehrigm, "Contactless Identification Device with Anticollision Algorithm," *Proc. of IEEE CSCC'99*, Athenes Italy, July 1999.