
RFID 시스템에서 고속 태그 식별을 위한 동적 FSA 알고리즘

임인택* · 최진오*

Dynamic FSA Algorithm for Fast Tag Identification in RFID Systems

In-Taek Lim* · Jin-Oh Choi*

요 약

RFID 시스템에서 태그들이 동시에 응답을 하면 충돌이 발생하며, 이를 해결하는 기술이 충돌방지 알고리즘이다. 기존의 충돌방지 알고리즘 중에서 SFSA (Static Framed Slot ALOHA) 알고리즘은 구현이 간단한 장점이 있지만, 프레임의 크기가 고정되어 있기 때문에 태그 수가 가변적인 경우에는 시스템 성능이 저하되는 단점이 있다. 따라서 본 논문에서는 충돌이 발생한 슬롯의 수를 이용하여 매 프레임마다 최적의 프레임 크기를 결정하는 DFSA (Dynamic FSA) 알고리즘을 제안한다. 성능 분석의 결과, DFSA 알고리즘은 기존의 SFSA 알고리즘에 비하여 빠른 태그 식별이 가능함을 알 수 있었다.

ABSTRACT

In RFID system, when multiple tags respond simultaneously, a collision can occur. A method that solves this collision is referred to as anti-collision algorithm. Among the existing anti-collision algorithms, SFSA, though simple, has a disadvantage that when the number of tags is variable, the system performance degrades because of the fixed frame size. This paper proposes a new anti-collision algorithm called DFSA which determines the optimal frame size using the number of collided slots at every frame. According to the simulation results, the tag identification time of the proposed algorithm is faster than that of SFSA.

키워드

RFID, Anti-collision algorithm, FSA

I. 서 론

현재 RFID 시스템에서 사용되는 태그는 그 능력이 매우 제한적이어서 다른 태그들과 통신할 수 없고 단지 리더와 통신할 수 있다. 리더는 무선채널을 통하여 각각의 태그들과 통신하는데, 모든 태그들은 리더가 보낸 신호를 동시에 듣게 된다[1][2]. 리더로부터 요청 메시지를 받은

태그들은 동시에 리더로 자신의 식별코드를 전송하기 때문에 태그 충돌(Tag collision)이 발생한다. 이 때 리더가 동시에 응답한 여러 개의 태그를 식별해야하는 문제가 발생하는데 이를 해결하는 기술이 충돌방지(Anti-collision) 알고리즘이며, 이는 RFID 시스템에서 가장 핵심이 되는 기술이다[3][4].

RFID 시스템 성능의 두 가지 중요한 척도는 태그를 식

별하기 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[5].

다중 태그 식별을 위한 충돌방지 알고리즘은 크게 확률적 알고리즘과 결정적 알고리즘으로 구분된다[6][7]. 확률적 알고리즘은 13.56MHz 대역을 사용하는 EPC Class 1과 ISO 15693 표준에서 채택하고 있으며, 슬롯 ALOHA 방식을 기반으로 하고 있다[8][9]. 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[10][11].

13.56MHz 대역을 사용하는 대부분의 RFID 시스템은 슬롯 ALOHA 방식을 기반으로 하는 고정된 프레임 크기를 갖는 SFSA 알고리즘을 사용하고 있다. 따라서 리더의 식별영역 내에 많은 태그가 있을 경우 프레임 크기를 작게 하면 빈번한 충돌로 인하여 식별시간이 길어진다. 또한 태그 수가 적은 경우, 프레임 크기를 크게 하면 낭비되는 슬롯이 많아지는 문제점이 있다. 따라서 본 논문에서는 리더의 식별영역 내에 있는 태그의 수를 기반으로 매 프레임마다 프레임의 크기를 가변적으로 할당하는 DFSA 알고리즘을 제안한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 기존의 SFSA 알고리즘의 문제점을 제시하고, III장에서는 II장에서 제시한 문제점을 해결하기 위한 DFSA 알고리즘을 제안한다. IV장에서는 제안한 알고리즘과 기존 알고리즘의 성능을 비교 분석하고, 마지막으로 V장에서는 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[1][9]. 프레임이란 리더가 명령을 전송하고 다음 명령을 전송할 때까

지의 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 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 자신의 식별코드를 전송한다. 여러 개의 태그들이 동일한 슬롯을 선택하여 전송하면 충돌이 발생한다. 이때 전송에 성공한 태그는 리더와의 통신을 통하여 이후의 요청 메시지에 대해 응답하지 않도록 설정되고, 전송에 실패한 태그는 이후의 요청 메시지에 대해 위과정정을 반복한다. 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 1번을 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.

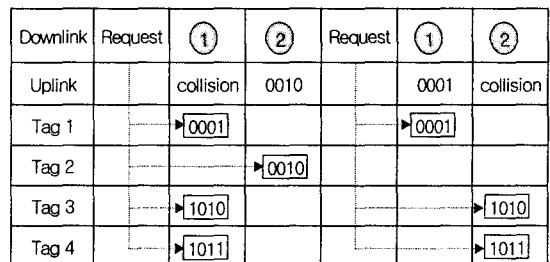


그림 1. SFSA 알고리즘 동작
Fig. 1. Operation of SFSA algorithm.

III. DFSA 알고리즘

3.1. SFSA 알고리즘의 수학적 분석

본 논문에서는 프레임의 크기를 고정으로 했을 때의 문제점을 파악하고, 이를 해결하기 위한 새로운 알고리즘을 제안한다. 이를 위하여 본 절에서는 SFSA 알고리즘의 성능을 해석적 방법으로 분석한다.

SFSA 알고리즘의 성능을 분석하기 위하여 프레임의 크기를 N 개 슬롯으로 하고, 리더의 식별영역 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[8].

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

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

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.

$$D = E[S_{n,N}(k)] \times N = \frac{N}{\left(1 - \frac{1}{N}\right)^{n-1}} \quad (8)$$

그림 2와 그림 3은 프레임 크기와 식별영역 내에 있는 태그의 수에 따라 SFSA 알고리즘의 효율과 식별시간을 각각 비교한 것이다. 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.

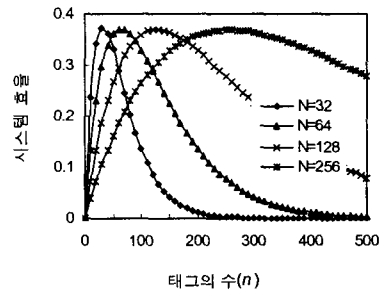


그림 2. SFSA 알고리즘의 효율
Fig. 2. Efficiency of SFSA algorithm

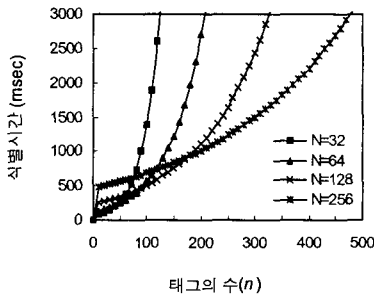


그림 3. SFSA 알고리즘의 식별시간
Fig. 3. Identification time of SFSA algorithm.

표 1은 그림 2와 그림 3을 바탕으로 SFSA 알고리즘에서 최적의 효율과 식별시간을 얻을 수 있는 프레임 크기별 태그의 수를 나타낸 것이다. 표에서 나타낸 바와 같이 태그의 수와 프레임의 크기는 성능에 상관관계가 있음을 알 수 있다. 따라서 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
Table 1. Number of tags vs. frame size for optimal performance.

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

3.2. DFSA 알고리즘 동작

본 논문에서 제안하는 DFSA 알고리즘의 기본적인 동작은 매 리드 사이클마다 리더가 프레임 크기를 동적으로 할당하는 것을 제외하고는 SFSA 알고리즘과 동일하다. 본 논문에서 제안하는 DFSA 알고리즘에서 프레임의 크기는 이전 프레임에서 발생한 충돌 슬롯의 수를 기반으로 결정된다.

예를 들어, 프레임이 하나의 슬롯으로 구성되고, 해당 슬롯에서 충돌이 발생한 경우, 리더는 최소한 두 개의 태그가 응답을 한 것으로 판단할 수 있다. 따라서 이 경우, 리더는 다음 리드 사이클에서 프레임 크기를 두 개의 슬롯으로 할당한다. 다음 프레임에서 두 개의 슬롯에서 발생하면, 동일한 방법으로 리더는 최소한 네 개의 태그가 응답한 것으로 판단하여 다음 리드 사이클에서 프레임의 크기를 네 개의 슬롯으로 할당한다. 다음 프레임에서 네

개의 슬롯 중에서 두 개의 슬롯이 성공하고 하나의 슬롯이 충돌이 발생하고 나머지 하나의 슬롯이 빈 슬롯이면, 리더는 최소한 두 개의 태그가 여전히 충돌이 발생하였으므로 다음 리드 사이클에서 프레임의 크기를 두 개의 슬롯으로 한다.

위의 예에서 나타난 것처럼 리더는 충돌이 발생한 최소 태그의 수를 추적할 수 있다. 따라서 리더는 이전 프레임에서의 빈 슬롯의 수(N_b), 성공한 슬롯의 수(N_s), 및 충돌이 발생한 슬롯의 수(N_c)로부터 태그 식별에 실패한 슬롯의 수를 추정할 수 있고, 이를 이용하여 다음 리드 사이클에서 필요로 하는 최소 프레임 크기를 추정할 수 있다.

k 번째 프레임에서 충돌이 발생한 슬롯의 수와 성공한 슬롯의 수를 각각 $N_c^{(k)}$, $N_s^{(k)}$ 라 하고, 할당된 프레임의 크기를 $M^{(k)}$ 라 하면, 이를 이용하여 $(k+1)$ 번째 프레임에서 할당하는 프레임의 크기 $M^{(k+1)}$ 은 다음과 같다.

$$N^{(k+1)} = \begin{cases} N_{\min} & , \text{if } N^{(k)} = N_s^{(k)} \\ \max\{N^{(k)} - N_s^{(k)}, 2 \times N_c^{(k)}\} & , \text{if } N^{(k)} \neq N_s^{(k)} \end{cases} \quad (9)$$

여기서, N_{\min} 은 초기 최소 프레임 크기를 나타낸다.

IV. 성능 분석

본 논문에서는 기존의 SFSA 알고리즘과 본 논문에서 제안한 DFSA 알고리즘의 성능을 효율과 식별시간의 관점에서 분석하였다. 성능 분석은 시뮬레이션을 통하여 이루어졌으며 시뮬레이션을 위한 프레임의 구조와 슬롯의 길이는 Auto-ID 센터에서 제안한 13.56MHz ISM 대역의 RFID 시스템[9]의 매개변수들과 동일하게 설정하였다. 한편 초기 프레임의 크기는 16으로 설정하였다.

그림 4는 본 논문에서 제안한 DFSA 알고리즘의 효율을 기존의 SFSA 알고리즘과 비교한 것이다. DFSA 알고리즘은 프레임의 크기를 태그의 수에 따라 최적으로 유지한다. 따라서 그림 4에서 나타낸 바와 같이 태그의 수에 관계없이 거의 일정한 효율을 나타낸다. 이 경우, DFSA 알고리즘의 효율은 슬롯 ALOHA 알고리즘의 최대 효율인 0.36을 거의 일정하게 유지함을 알 수 있다. 그림 5는 DFSA 알고리즘의 식별시간을 기존의 SFSA 알고리즘과 비교한 것이다. 리더의 식별영역 내에 500개의 태그가 있는 경우, DFSA 알고리즘은 프레임 크기가 128인 SFSA 알

고리즘에 비하여 약 4.4배정도 빨리 식별할 수 있으며, 프레임의 크기가 256인 SFSA 알고리즘에 비하여 약 1.2배 빨리 식별할 수 있다. 또한 태그의 수가 증가하면 할수록 DFSA 알고리즘은 SFSA 알고리즘에 비하여 월등히 빨리 식별할 수 있다.

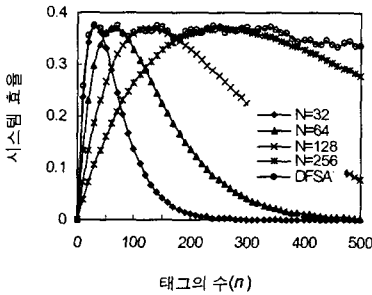


그림 4. 태그 수별 효율
Fig. 4. Efficiency vs. number of tags.

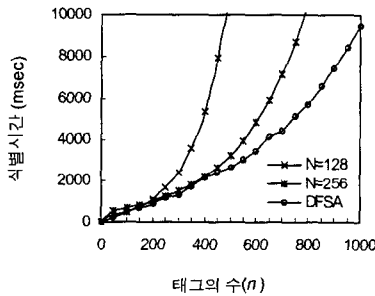


그림 5. 태그 수별 식별시간
Fig. 5. Identification time vs. number of tags.

V. 결 론

본 논문에서는 식별영역 내에 있는 태그의 수를 기반으로 리드 사이클마다 프레임의 크기를 가변적으로 할당하는 DFSA 알고리즘을 제안하고, 이에 대한 성능을 분석하였다. 제안한 알고리즘에서는 이전 리드 사이클에서 식별에 성공한 슬롯의 수와 충돌이 발생한 슬롯의 수를 기반으로 다음 리드 사이클의 프레임 크기를 할당한다. 성능 분석의 결과, 본 논문에서 제안한 DFSA 알고리즘은 프레임 크기가 고정인 SFSA 알고리즘에 비하여 시스템 효율 및 식별시간 성능이 월등히 우수함을 알 수 있었다.

참고문헌

- [1] K. Finkenzeller, *RFID Handbook: Fundamentals and Applications in Contactless Smart Cards and Identification*, Carl Hanser Verlag GmbH & Co., 2002.
- [2] 이근호, "무선식별(RFID) 기술", *TTA 저널*, 제89호, pp.124-129, 2003.10
- [3] I. Papadimitriou, and M. Paterakis, "Energy-Conserving Access Protocol for Transmitting Data in Unicast and Broadcast Mode," *Proc. of IEEE PIMRC2000*, vol.2, pp.984-988, Sept. 2000.
- [4] I. Chlamtac, C. Petrioli, and J. Redi "Energy-Conserving Access Protocols for Identification Networks," *IEEE/ACM Trans. Networking*, vol.7, no.1, pp.51-59, Feb. 1999.
- [5] 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.
- [6] 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.
- [7] 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.
- [8] H. Vogt, "Efficient Object Identification with Passive RFID Tags," *First International Conf. on Pervasive Computing, LNCS*, vol.2414, pp.99-113, Springer-Verlag, 2002.
- [9] Auto-ID Center, "860MHz-930MHz Class 0 Radio Frequency Identification Tag Protocol Specification Candidate Recommendation, Version 1.0.0," June 2003.
- [10] C. Law, L. Lee, and K. Y. Siu, "Efficient Memoryless Protocol for Tag Identification," Auto-ID Center, *MIT-AUTOID-TR-003*, Oct. 2000.
- [11] M. Jacomet, A. Ehsam, and U. Gehrigm "Contactless Identification Device with Anticollision Algorithm," *Proc. of IEEE CSCC'99*, Athens Italy, July 1999.

저자소개



임 인택(In-Taek Lim)

1984년 울산대학교 전자계산학과
(공학사)

1986년 서울대학교 계산통계학과
(이학석사)

1998년 울산대학교 컴퓨터공학과(공학박사)

1986년 1월~1993년 2월 : 삼성전자(주) 특수연구소 선임
연구원

1993년 3월~1998년 2월 : 동부산대학 전자계산과 조교수

1998년 3월~현재 : 부산외국어대학교 컴퓨터공학부 부
교수

※ 관심분야 : 무선 ATM망, 이동통신, MAC 프로토콜



최 진오(Jin-Oh Choi)

1991년 부산대학교 컴퓨터공학과
(공학사)

1995년 부산대학교 컴퓨터공학과
(공학석사)

2000년 부산대학교 컴퓨터공학과(공학박사)

1998년 3월~2000년 2월 : 경동대학교 정보통신공학부 전
임강사

2000년 3월~현재 : 부산외국어대학교 컴퓨터공학부 부교수

※ 관심분야 : 공학데이터베이스, 지리정보시스템, 모바일
GIS