

RFID 시스템에서의 태그 수를 추정하는 ALOHA 방식 Anti-collision 알고리즘

준회원 차재룡*, 정회원 김재현**

ALOHA-type Anti-collision Algorithms Using Tag Estimation Method in RFID system

Jae-Ryong Cha* *Associative Member*, Jae-Hyun Kim** *Regular Member*

요 약

RFID 시스템에서 같은 주파수를 이용하는 태그가 있을 때 태그의 데이터 전송은 서로 간섭을 일으키게 되어 데이터를 잃게 된다. 태그를 고속으로 인식하기 위하여 이러한 간섭을 해결하는 것이 RFID 시스템에서 가장 핵심이 되는 기술인 Anti-collision 알고리즘이다. 본 논문에서는 태그의 수를 추정하는 Tag Estimation Method (TEM)와 추정된 태그의 수에 맞는 최적의 프레임 크기를 할당하는 Dynamic Slot Allocation(DSA) 방식을 사용하는 Dynamic Framed Slotted ALOHA(DFS-ALOHA) 알고리즘을 제안한다. 또한 제안한 DFS-ALOHA 알고리즘의 성능을 OPNET 시뮬레이션을 이용하여 기존의 Framed Slotted ALOHA(FS-ALOHA) 알고리즘 및 Vogt 에 의해 제안된 두 가지 태그 수 추정 방식과 비교한다. 시뮬레이션 결과 제안한 DFS-ALOHA 알고리즘은 태그의 수와 상관없이 기존의 알고리즘보다 항상 좋은 성능을 보임을 알 수 있었다. 또한 제안한 알고리즘인 DFS-ALOHA I과 DFS-ALOHA II는 거의 동일한 성능을 보이지만 DFS-ALOHA II가 DFS-ALOHA I에 비하여 complexity 가 낮아 실제 시스템에 구현하기에 보다 쉬운 것으로 예상된다.

Key Words : RFID, Anti-collision algorithm, Dynamic Slot Allocation, Framed Slotted ALOHA.

ABSTRACT

When there are many tags using the same frequency around the reader in RFID system, they disturb each other and in the end their response cannot be received by the reader. To solve this disturbance and fast identify the tags, the anti-collision algorithm, which is the core technology in RFID system, is needed. We propose two ALOHA-type Dynamic Framed Slotted ALOHA(DFS-ALOHA) algorithms using Dynamic Slot Allocation(DSA), which dynamically allocates the frame size in accordance with the number of tags and Tag Estimation Method(TEM), which estimates the number of tags around the reader. We also compare the performance of the proposed DFS-ALOHA algorithms with that of the conventional Framed Slotted ALOHA (FS-ALOHA) algorithms and the algorithms proposed by Vogt using OPNET simulation. According to the analysis, the two proposed DFS-ALOHA algorithms(DFS-ALOHA I and DFS-ALOHA II) show better performance than the conventional ALOHA-based algorithms regardless of the number of tags. Although the

* 아주대학교 일반대학원 전자공학과 (builder@ajou.ac.kr), ** 아주대학교 정보통신대학 전자공학부 (jkim@ajou.ac.kr)

논문번호 : KICS2005-04-144, 접수일자 : 2005년 04월 07일

※ 본 연구는 과학기술부 21세기프론티어연구개발사업의 일환으로 추진되고 있는 유비쿼터스컴퓨팅및네트워크원천기반기술개발사업의 지원에 의한 것임.

two proposed DFS-ALOHA algorithms show the similar performance, DFS-ALOHA II is better because it is easier to be implemented in the system and the complexity is lower.

I. 서론

RFID란 사물에 부착된 전자태그로부터 무선 주파수를 이용하여 정보를 송·수신하고 이와 관련된 서비스를 제공하는 기술을 말하며 국내에서는 전자태그 그 자체의 개념과 명칭으로 널리 알려져 있다. RFID 시스템에서 많은 물체가 같은 처리 공간에 있을 때 이러한 물체를 예러 없이 정확히 인식하는 문제가 아주 중요하다. 현재 이러한 물체를 인식하기 위한 기술 중 가장 많이 쓰이고 있는 바코드 시스템은 반드시 리더와 태그가 가시거리 내에 있어야 하고 인식거리가 짧다는 단점이 있다. 그러나 태그에 극소형 칩과 안테나를 부착해 무선을 통해 정보를 저장할 수 있는 신기술인 RFID(Radio Frequency IDentification) 시스템은 바코드 시스템과 달리 인식할 수 있는 위치에 상관없이 보고 보다 많은 정보를 저장할 수 있으며, 부착이 용이하고 장거리 정보 송·수신이 가능하다는 등의 장점을 가지고 있다. 특히, RFID 시스템은 각종 물품에 전자태그를 부착해 스캐너로 하나씩 읽을 필요 없이 이동시 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. 일반적으로 RFID 시스템은 하나의 리더와 많은 태그들로 이루어진다. RFID 시스템에서 이용되는 수동형 RF 태그는 그 능력이 매우 제한적이어서 다른 태그들과 통신을 할 수 없고 단지 리더와 통신할 수 있다. 리더는 무선 채널을 통하여 각각의 태그들과 통신하는데, 모든 태그들이 리더가 보낸 신호를 동시에 듣게 되고 리더의 전송요구에 응답을 한다. 이 때 하나의 리더가 동시에 응답한 여러 개의 태그를 인식해야 하는 문제가 발생 하는데 이를 "Anti-collision problem" 이라고 한다. 태그를 고속으로 인식하기 위해서 이러한 간섭을 해결하는 것이 Anti-collision 알고리즘이며 RFID 시스템에서 가장 핵심이 되는 기술이다^{[1][4]}. 그러나 Anti-collision 알고리즘의 국내 연구는 미비한 상태이고 선진국에서 개발된 기술은 공개되고 있지 않기 때문에 Anti-

collision 알고리즘에 대한 정보를 얻기가 매우 어려운 실정이다. 따라서 본 논문에서는 기존의 binary 방식과 ALOHA 방식 Anti-collision 알고리즘에 대해 간략히 설명을 하고 ALOHA 방식 중 Framed Slotted ALOHA(FS-ALOHA) 알고리즘의 문제점을 도출하여 이를 개선한 Dynamic Framed Slotted ALOHA(DFS-ALOHA) 알고리즘을 제안한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II 장에서는 기존의 binary 방식과 ALOHA 방식 알고리즘에 대해 설명을 한다. III 장에서는 제안한 DFS-ALOHA 알고리즘을 설명하며 제안한 알고리즘에 적용된 Tag Estimation Method(TEM)와 Dynamic Slot Allocation(DSA)을 설명한다. IV 장에서는 시뮬레이션을 통하여 기존의 알고리즘과 제안한 알고리즘의 성능을 비교 및 분석 하고 V 장에서 결론을 맺는다.

II. 기존의 Anti-collision 알고리즘

본 장에서는 기존의 ALOHA 방식과 binary 방식 Anti-collision 알고리즘에 대해 설명한다. ALOHA 방식은 기존의 고정된 프레임 크기를 사용하는 FS-ALOHA 알고리즘과 Vogt 에 의해 제안된 알고리즘이 있다. 그리고 binary 방식은 RFID HANDBOOK 에서 제안한 이진 탐색 알고리즘, ISO 18000-6 TYPE B에서 정의하고 있는 slotted 이진 트리 알고리즘, Audo-ID 센터에서 제안한 bit-by-bit 이진 트리 알고리즘이 있다. 이중 binary 방식에 대해 설명하면 다음과 같다.

2.1 Binary 방식 Anti-collision 알고리즘

2.1.1 이진 탐색 알고리즘

이진 탐색 알고리즘은 충돌이 발생한 부분을 점차 줄임으로써 전송 가능한 태그의 수를 줄여 태그를 인식하는 방식이다. 리더는 인식 가능한 영역에 있는 모든 태그의 ID를 수신하여 충돌이 발생하는 bit의 위치를 파악한다. 그 중 충돌이 발생한 최상위 bit가 1인 태그는 전송이 지연되고, 0인 태그는 ID를 전송한다. 이런 과정을 순차적으로 반복 수행함으로써 하나의 태그를 인식한다.

2.1.2 Slotted 이진 트리 알고리즘

리더가 태그에게 전송요구를 하면 응답한 태그들

은 랜덤하게 0과 1을 선택함으로써 두개의 그룹으로 나누어진다. 만일 리더가 i 번째 슬롯에서 태그에게 전송요구를 하면 모든 태그들은 i 번째 슬롯에서 자신의 ID를 전송한다. 리더의 전송 요구에 응답한 태그 중 0을 선택한 그룹의 태그들은 $i+1$ 번째 슬롯에서 전송을 시도하고 1을 선택한 그룹의 태그들은 0을 선택한 그룹의 태그들이 모두 성공적으로 ID를 전송할 때까지 기다리게 된다. $i+1$ 번째 슬롯이 idle 슬롯이거나 성공적으로 전송을 하게 되면 1을 선택한 두 번째 그룹의 태그들은 $i+2$ 번째 슬롯에서 재전송을 하게 된다. 여기서 idle 슬롯이란 태그로부터의 전송이 없는 슬롯을 의미하며, 리더의 전송요구에 응답한 태그가 모두 0 또는 1을 선택할 때 발생할 수 있다. 그러나 $i+1$ 번째 슬롯에서 또 다시 충돌이 발생하게 되면 다시 랜덤하게 0 또는 1을 선택해서 또 다른 두개의 하위 그룹으로 나누어진다. 이런 과정을 반복적으로 수행함으로써 모든 충돌을 해결할 수 있게 된다.

2.1.3 Bit-by-bit 이진 트리 알고리즘

Auto-ID 센터에서 제한한 bit-by-bit 이진 트리 알고리즘에서, 리더가 인식할 수 있는 영역내의 모든 태그들에게 ID 중 원하는 bit를 순서대로 요청하게 되면 모든 태그들은 리더의 요구에 대한 응답으로 0 또는 1을 전송한다. 충돌이 발생 하지 않으면 리더는 태그로부터 받은 bit를 메모리에 저장한 후 다음 bit를 요청하게 된다. 그러나 충돌이 발생하면 리더는 0 또는 1을 가진 그룹 중에서 알고리즘에 의해 하나의 그룹을 선택하고 다음 bit를 요청하게 된다. 이런 과정을 태그의 ID길이만큼 반복함으로써 하나의 태그를 인식하게 된다.

2.2 ALOHA 방식 Anti-collision 알고리즘

2.2.1 FS-ALOHA 알고리즘

RFID 시스템에서 태그의 충돌을 해결하기 위해 사용되는 Anti-collision 알고리즘 중 가장 기본이 되는 FS-ALOHA 알고리즘은 EPCglobal CLASS 1 G2와 ISO 18000-6 TYPE A에서 기본이 되는 알고리즘이다. 본 절에서는 FS-ALOHA 알고리즘의 기본 동작 과정인 CAS(Collision Arbitration Sequence)를 설명한다. CAS란 FS-ALOHA 알고리즘에서 리더가 인식 할 수 있는 범위에 있는 태그를 인식하기 위한 과정을 말한다. CAS 에서는 리더가 태그에게 ID 전송 요구를 할 때 태그가 자신의 랜덤변

READER	1 st REQ	Slot1	Slot2	Slot3	Slot4	2 nd 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. FS-ALOHA의 태그 인식 과정 (CAS)

수를 선택할 수 있는 정보를 함께 전송을 한다. 태그는 리더로부터 ID 전송 요구를 수신하면 리더로부터 전송 받은 정보를 이용하여 자신이 전송할 슬롯을 결정하여 전송을 시도한다. 만일 두 개 이상의 태그가 같은 슬롯에 전송을 시도하면 충돌이 발생하고 태그들이 전송한 데이터는 잃게 된다.

그림 1은 4개의 태그를 이용한 FS-ALOHA 알고리즘의 CAS를 설명하고 있다. 리더가 첫 번째 ID 전송요구(1stREQ)를 하면 태그는 자신의 랜덤변수를 선택하여 전송을 시도한다. 본 논문에서는 리더의 ID 전송요구에 대한 태그의 응답을 ROUND 라고 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 IDLE 슬롯이 되고 Slot3에서는 TAG2와 TAG3이 자신의 ID를 전송하였기 때문에 충돌이 발생한다. 리더는 충돌이 발생한 TAG2와 TAG3에 대해 두 번째 ID 전송요구(2ndREQ)를 전송하여 첫 번째와 같은 방식으로 CAS 과정을 진행한다^{[5]-[7]}.

2.2.2 Vogt가 제안한 태그 수 추정 알고리즘

Vogt가 제안한 첫 번째 태그 수 추정 방식은 충돌이 발생한 슬롯의 minimum bound를 이용하는 것이다. 즉 한 ROUND 후에 프레임 내에서 충돌이 발생을 하면 그 슬롯은 최소 두 개 이상의 태그가 전송을 시도 하였다는 것을 알 수 있다. 따라서 이를 수식으로 정리하면 다음과 같다.

$$Est_{Vogt_min} = \text{충돌이 발생한 슬롯수} \times 2. \quad (1)$$

두 번째로 Vogt가 제안한 방식은 Chebyshev's inequality를 이용한다. 즉 Chebyshev's inequality에 의하면 랜덤 변수 X 를 이용한 random experiment의

outcome은 랜덤변수 X 의 기대 값과 거의 같다. 따라서 한 ROUND 후의 read results (프레임 크기 N , 충돌이 발생한 슬롯 수 c_k , idle 슬롯 수 c_0 , 성공적으로 전송이 된 슬롯 수 c_1)와 expected value vector $A(a_0, a_1, a_{\geq 2})$ 의 값과의 distance가 최소가 되는 n 값을 택함으로써 태그의 수(n)를 추정한다. 이를 수식으로 정리하면 다음과 같다.

$$Est_{Vogt_dist} = \min(n) \left| \begin{pmatrix} a_0^{N,n} \\ a_1^{N,n} \\ a_{\geq 2}^{N,n} \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} c_0 \\ c_1 \\ c_k \end{pmatrix} \right|. \quad (2)$$

참고문헌 [5]를 참조하면 Vogt가 제안한 태그 수 추정 알고리즘에 대해 보다 자세한 내용을 알 수 있다. 다음 장에서는 기존의 FS-ALOHA 알고리즘의 문제점을 도출하고 이러한 문제를 해결하기 위하여 태그의 수를 추정하여 최적의 프레임 크기를 할당하는 제안한 알고리즘을 설명한다.

III. DFS-ALOHA 알고리즘 및 성능 분석

일반적으로 FS-ALOHA 알고리즘에서 태그의 수가 프레임 크기(슬롯 수)보다 커지면 충돌 발생이 많아져서 태그를 인식하기 위한 시간이 증가한다. 반면 태그의 수가 프레임 크기보다 작을 경우에는 슬롯의 낭비가 발생할 수 있다. 따라서 태그의 수를 추정하여 태그의 수에 따라 슬롯의 크기를 가변시키는 것이 필요하다. ALOHA 방식 Anti-collision 알고리즘에서 태그의 수를 추정하는 것을 “태그 수 추정 방식 (Tag Estimation Method : TEM)”이라고 하고 태그 수에 따라 동적으로 슬롯의 크기를 가변시키는 것을 “동적 슬롯 할당 방식(Dynamic Slot Allocation : DSA)”이라고 한다. 태그 수 추정 방식과 동적 슬롯 할당 방식은 표준^[6]에서 소개되었지만 간단히 개념만 소개하고 있을 뿐 구체적인 방식에 대한 언급은 없다. Vogt의 경우 태그의 수를 추정하여 프레임 크기를 결정하는 방법을 제시 하였지만 프레임 크기 가변 방식이 시뮬레이션 결과에 의한 것이다. 또한 태그의 inactivation 상태(먼저 인식된 태그가 일시적으로 리더의 다음 전송 요구에 응답하지 않는 상태)를 고려하지 않고 시뮬레이션 결과를 도출하였기 때문에 이를 고려하여 실제 RFID 시스템에서 적용 가능한 시뮬레이션 결과를 도출할 필요가 있다^[5].

본 논문에서는 태그 수 추정 방식과 동적 할당

방식을 이용한 두 개의 DFS-ALOHA(Dynamic Framed Slot ALOHA) 알고리즘을 제안한다. 태그의 수를 추정하기 위하여 충돌이 발생한 슬롯의 비율(TEM I)과 프레임 내에서 충돌이 발생한 슬롯 수(TEM II)를 이용한다. 또한 태그 수에 따라 프레임 크기를 할당하기 위하여 시스템의 처리율과 태그의 전송 지연 시간을 이용한다. TEM I 을 이용하여 태그 수를 추정하여 프레임 크기를 가변시키는 알고리즘을 DFS-ALOHA I, TEM II 을 이용하여 태그 수를 추정하여 프레임 크기를 가변시키는 알고리즘을 DFS-ALOHA II 로 명명한다. 제안한 동적 슬롯 할당 방식(DSA)과 태그 수 추정 방식(TEM)에 대하여 설명하면 다음과 같다.

3.1 동적 슬롯 할당 (DSA)

본 절에서는 태그 수에 따라 프레임의 크기를 할당하기 위해 두 가지 방법을 제안한다. 먼저, 태그 수에 따른 최적의 프레임 크기를 결정하기 위하여 태그의 전송 지연 시간(D)을 이용한다. 전송 지연 시간이란 태그가 성공적으로 자신의 ID를 전송할 때 까지 걸린 시간을 의미하며 식 (3)과 같이 정의할 수 있다.

$$D = \text{재전송 회수} \times \text{프레임 크기}. \quad (3)$$

리더는 프레임 크기를 알고 있기 때문에 태그의 전송 지연 시간을 계산하기만 하면 된다. 프레임 크기를 L 이라고 할 때 한 프레임에서 태그가 전송을 시도할 확률 p 는 $1/L$ 이다. 따라서 태그의 수를 n 이라고 하면 특정 슬롯에서 하나의 태그가 성공적으로 ID 를 전송할 확률은 식 (4)와 같다.

$$P_{succ} = \frac{1}{L} \times (1 - \frac{1}{L})^{n-1}. \quad (4)$$

한 프레임 내에서 태그가 성공적으로 ID를 전송할 확률은 식 (5)와 같다.

$$P_{succ,L} = \frac{1}{L} \times (1 - \frac{1}{L})^{n-1} \times L = (1 - \frac{1}{L})^{n-1}. \quad (5)$$

$P_{succ}(k)$ 를 k 번째 프레임에서 하나의 태그가 ID 를 성공적으로 전송할 확률로 정의하면 식 (6)과 같다.

$$P_{succ}(k) = P_{succ,L} (1 - P_{succ,L})^{k-1}. \quad (6)$$

Geometric distribution의 평균을 이용하여 하나의 태그에 대한 평균 재전송 횟수를 구하면 식 (7)과 같다.

$$E(X = k) = \sum_{k=1}^{\infty} kP_{succ}(k) = \left(1 - \frac{1}{L}\right)^{n-1} \quad (7)$$

식 (3)과 식 (7)을 이용하여 태그의 전송지연 시간 D 를 계산하면 식 (8)과 같다.

$$D = \frac{L}{\left(1 - \frac{1}{L}\right)^{n-1}} \quad (8)$$

태그의 전송 지연 시간 D 가 최소일 때의 프레임 크기 L 값을 구하기 위해 D 를 미분하면 식 (9)와 같고

$$\frac{d}{dn} D = \frac{d}{dn} \frac{L}{\left(1 - \frac{1}{L}\right)^{n-1}} = 0 \quad (9)$$

식 (9)를 이용하여 최적의 프레임 크기를 구하면 식 (10)과 같다.

$$L_{optimal} = n \quad (10)$$

본 절에서 최적의 프레임 크기를 구하기 위한 두 번째 방법은 시스템의 처리율을 이용한다. 하나의 슬롯에서 어떤 태그도 자신의 ID를 전송하지 않을 확률은 식 (11)과 같다.

$$P_{idle} = (1 - p)^n \quad (11)$$

n 개 태그 중 하나의 태그가 성공적으로 ID를 전송할 확률은 식 (12)와 같다.

$$P_{succ} = np(1 - p)^{n-1} \quad (12)$$

따라서 식 (11)과 (12)를 이용하여 하나의 슬롯에서 충돌이 발생할 확률을 구하면 식 (13)과 같다.

$$P_{coll} = 1 - P_{idle} - P_{succ} = 1 - (1 - p)^n - np(1 - p)^{n-1} \quad (13)$$

시스템에서 처리율 S 는 식 (14)와 같이 정의 할 수 있다.

$$S = \frac{P_{succ}}{P_{succ} + P_{coll} + P_{idle}} = \frac{np(1 - p)^{n-1}}{np(1 - p)^{n-1}} \quad (14)$$

S 가 최대 일 때 p 와 n 의 관계를 구하기 위하여 S 를 미분하면 식 (15)와 같다.

$$\frac{d}{dp} S = n(1 - p)^{n-1} - n(n-1)p(1 - p)^{n-2} = 0 \quad (15)$$

식 (15)으로부터 p 와 n 의 관계를 구하면 식 (16)과 같다.

$$p = \frac{1}{n} \quad (16)$$

따라서 하나의 프레임 내에서 태그가 자신의 ID를 전송할 확률 p 는 $\frac{1}{L}$ 이므로 식 (16)을 이용하여 최적의 프레임 크기를 구하면 식 (17)과 같다.

$$L_{optimal} = n \quad (17)$$

그림 2는 태그의 수가 증가함에 따라 프레임 크기에 대한 처리율을 나타낸다. 그림 2에서 프레임 크기와 태그의 수가 같을 때 처리율이 최대가 됨을 알 수 있다.

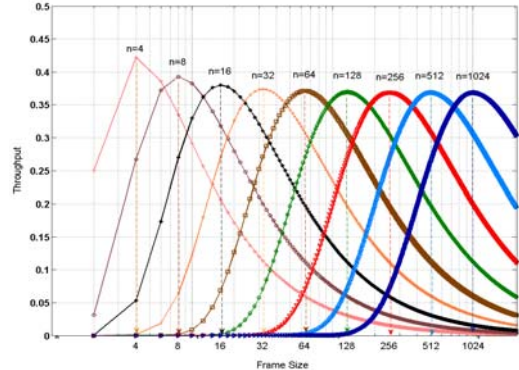


그림 2. 처리율 vs. 프레임 크기

3.2 태그 수 추정 방식

3.2.1 Tag Estimation Method I (TEM I)

프레임 내에서 태그의 ID 전송이 균일하게 분포한다고 가정하면, n 개의 태그 중 r 개의 태그가 특정 슬롯에 자신의 ID를 전송할 확률은 식 (18)과 같다.

$$P(X = r) = \binom{n}{r} \left(\frac{1}{L}\right)^r \left(1 - \frac{1}{L}\right)^{n-r} \quad (18)$$

슬롯 당 r 개의 태그가 ID를 전송할 슬롯의 평균

개수는 식 (19)와 같다.

$$E(X=r) = L \binom{n}{r} \left(\frac{1}{L}\right)^r \left(1 - \frac{1}{L}\right)^{n-r}. \quad (19)$$

본 절에서는 태그의 수를 추정하기 위하여 식 (20)과 같이 Collision ratio (C_{ratio})를 정의한다. Collision ratio란 프레임 크기와 충돌이 발생한 슬롯 수의 비율을 의미한다.

$$C_{ratio} = 1 - \left(1 - \frac{1}{L}\right)^n \left(1 + \frac{n}{L-1}\right). \quad (20)$$

한 프레임 내에서 리더가 태그에게 ID 전송요구를 한 후 태그로부터 ID를 전송 받으면 프레임의 크기와 충돌이 발생한 슬롯의 개수를 알 수 있다. 따라서 이 두 가지 정보를 이용하여 식 (20)으로부터 태그의 수를 추정할 수 있다.

그림 3은 태그의 수에 대한 collision ratio 를 나타낸다. n_{est1} 이 TEM I에 의해 추정된 태그의 개수라고 할 때, 프레임 크기가 320이고, collision ratio 가 0.46323이면, 그림 3으로부터 추정된 태그의 개수 n_{est1} 은 400이 된다.

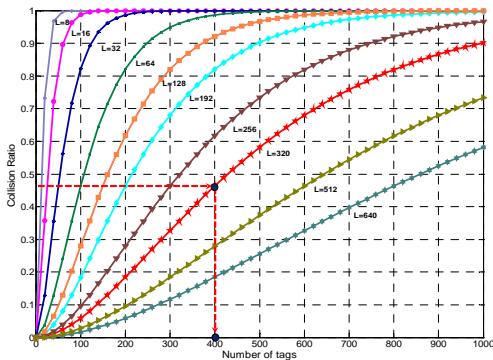


그림 3. 태그의 수에 따른 collision ratio

3.2.2 Tag Estimation Method II(TEM II)

하나의 슬롯에서 충돌과 관련 있는 태그의 수 (C_{tags})를 구하기 위하여 식 (21)과 같이 Collision rate (C_{rate})을 정의한다.

$$C_{rate} = \frac{\text{태그가 충돌이 발생할 확률}}{1 - \text{태그가 성공적으로 ID를 전송할 확률}}. \quad (21)$$

식 (16)으로부터 처리율이 최대일 때 p 는 $1/n$ 이므로 처리율이 최대 일 때의 C_{rate} 의 값을 식 (12)

와 (13)을 이용하여 구하면 식 (22)와 같고

$$\begin{aligned} C_{rate} &= \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{P_{coll}}{1 - P_{succ}} \\ &= \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1 - (1-p)^n - np(1-p)^{n-1}}{1 - np(1-p)^{n-1}} \\ &= \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1 - (1-\frac{1}{n})^n - (1-\frac{1}{n})^{n-1}}{1 - (1-\frac{1}{n})^{n-1}} \\ &= 0.4180 \end{aligned} \quad (22)$$

하나의 슬롯에서 충돌이 발생한 태그의 수 C_{tags} 를 구하면 식 (23)과 같다.

$$C_{tags} = \frac{1}{C_{rate}} = 2.3922. \quad (23)$$

이 때, 한 ROUND 이후 한 프레임 내에서 충돌이 발생한 슬롯의 수를 M_{coll} 이라고 하고 n_{est2} 를 M_{coll} 과 식 (23)을 이용하여 추정된 태그 수라고 하면, n_{est2} 는 식 (24)와 같다.

$$n_{est2} = \lfloor 2.3922 \times M_{coll} \rfloor. \quad (24)$$

여기서 $\lfloor * \rfloor$ 는 * 보다 작거나 같은 최대 정수를 의미한다.

IV. 분석 결과 및 고찰

그림 4는 태그 인식 시간을 구하기 위해 사용된 프레임 구조를 나타낸다^[8]. 여기서 태그 인식 시간이란 각 알고리즘에 의해 모든 태그가 인식될 때까지 걸린 시간을 의미한다. 알고리즘의 진행 순서는 Reader-driven 방식으로 진행되며 태그의 ID 는 96 비트 EPC CODE 중 Serial Number 만을 고려한 36 비트로 가정하였다^[10]. 또한 알고리즘 진행 과정 동안 무선 채널에서 에러로 인한 재전송은 없다고 가정하였다.

그림 5는 기존의 ALOHA 방식 알고리즘과 제안한 DFS-ALOHA I 및 II에서 태그의 개수에 대한

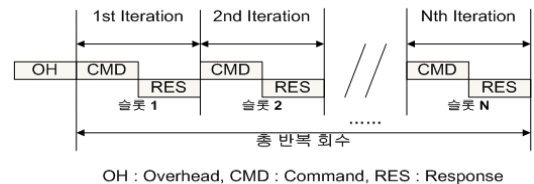


그림 4. 태그 인식 시간을 구하기 위한 프레임 구조

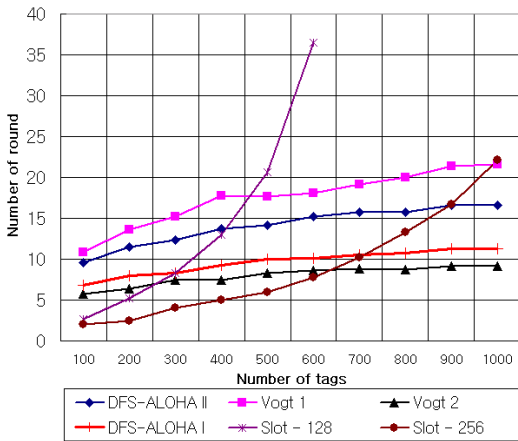


그림 5. 알고리즘별 태그의 수에 따른 ROUND SIZE

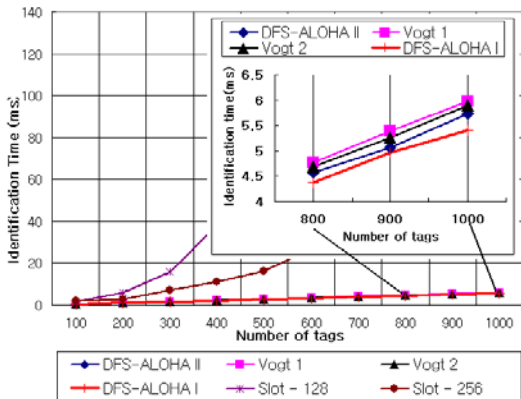


그림 6. 태그의 수에 따른 인식 시간

ROUND SIZE를 나타낸다. 그림 5로부터 고정된 프레임 크기를 사용하는 FS-ALOHA 알고리즘의 경우 태그의 수가 프레임 크기에 비해 커지면 ROUND SIZE가 급격하게 증가하는 것을 알 수 있다. 그러나 태그의 수를 추정하여 추정된 태그의 수에 맞는 최적의 프레임 크기를 할당하는 알고리즘의 경우 태그의 수와 상관없이 안정된 성능을 보임을 알 수 있다.

그림 6은 태그의 수에 따른 각 알고리즘의 태그 인식 시간을 나타낸다. OPNET을 이용하여 시뮬레이션을 하였으며 각 포인트는 20번 시뮬레이션의 평균값을 나타낸다. 그림 6에서 SLOT 128과 SLOT 256은 기존의 고정된 프레임 크기(128, 256)를 이용하는 FS-ALOHA 알고리즘의 태그의 수에 따른 인식시간을 나타내고 Vogt 1 및 Vogt 2는 Vogt 가 제안한 두 가지 태그 수 추정방식을 적용하여 시뮬레이션을 한 그래프를 나타낸다. 또한 DFS-ALOHA I과 DFS-ALOHA II는 제안한 태그 수 추정 방식

(TEM)과 동적 슬롯 할당 방식(DSA)을 이용하는 알고리즘을 나타낸다.

그림 6에서 태그의 수가 300개 미만일 경우 고정된 프레임 크기 128을 이용하는 SLOT 128 알고리즘이 안정적인 성능을 보이지만 태그의 수가 300개 이상 증가함에 따라 태그 인식 시간이 급격히 증가함을 알 수 있다. 고정된 프레임 크기 256을 이용하는 SLOT 256의 경우에도 태그의 수가 600개 이상 증가하면 태그 인식 시간이 급격히 증가함을 알 수 있다. 따라서 많은 양의 태그를 동시에 인식할 필요가 있는 RFID 시스템에 고정된 프레임 크기를 이용하는 SLOT 128 과 SLOT 256을 이용할 경우 시스템의 성능이 불안정하게 되어 태그를 인식하기 위한 시간이 증가함을 알 수 있다. 그러나 태그의 수를 추정하여 추정된 태그의 수에 맞게 프레임 크기를 할당하는 방식의 경우 태그의 수와 상관없이 안정된 성능을 보이며 이 중 제안한 알고리즘의 성능이 가장 좋음을 알 수 있다.

V. 결론

본 논문에서는 RFID 시스템에서 동적 슬롯 할당 방식(Dynamic Slot Allocation)과 태그 수 추정 방식(Tag Estimation Method)을 이용하는 두 개의 Dynamic Framed Slotted ALOHA(DFS-ALOHA) 알고리즘을 제안하였다. 충돌이 발생한 슬롯과 비율을 이용하여 태그의 수를 추정하였으며, 태그의 전송 지연시간과 처리율을 이용하여 최적의 프레임 크기를 결정하였다. 또한 제안한 DFS-ALOHA 알고리즘의 성능을 OPNET 시뮬레이션을 이용하여 기존의 Framed Slotted ALOHA(FS-ALOHA) 알고리즘 및 Vogt 에 의해 제안된 두 가지 태그 수 추정 방식과 비교하였다.

시뮬레이션 결과 FS-ALOHA 는 고정된 프레임 크기를 이용하기 때문에 태그의 수에 따라 그 성능이 변하고 태그의 수가 프레임 크기보다 많아지면 태그를 인식하기 위한 시간이 급격히 증가함을 알 수 있었다. 그러나 태그의 수를 추정하여 적절한 프레임 크기를 할당하는 방식의 경우 태그의 수와 상관없이 좋은 성능을 보임을 알 수 있었다. 그 중 제안한 DFS-ALOHA I 및 II 알고리즘은 태그의 수와 상관없이 기존의 알고리즘보다 항상 좋은 성능을 보임을 알 수 있었다. 또한 제안한 알고리즘인 DFS-ALOHA I과 DFS-ALOHA II는 거의 동일한 성능을 보이지만 DFS-ALOHA II가 DFS-ALOHA

I에 비해 complexity가 낮아 실제 시스템에 구현하기에 보다 쉬울 것으로 예상된다. 따라서 태그의 수에 상관없이 많은 태그를 동시에 인식할 필요가 있는 RFID 시스템에 제안한 동적 슬롯 할당 방식(DSA) 및 태그 수 추정 방식(TEM)을 이용하는 DFS-ALOHA I 및 DFS-ALOHA II를 이용한다면 시스템의 많은 성능향상을 가져올 수 있을 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

[1] S. Sarma, J. Waldrop, and D. Engels, "Colorwave : An Anti-collision Algorithm for the Reader Collision Problem," IEEE International Conference on Communications, ICC '03, vol. 2, May 2003, pp. 1206-1210.

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

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

[4] H. S. Choi, J. R. Cha and J. H. Kim, "Fast Wireless Anti-collision Algorithm in Ubiquitous ID System," in Proc. IEEE VTC 2004, L.A., USA, Sep. 26-29, 2004.

[5] H. Vogt, "Efficient Object Identification with Passive RFID tags," In International Conference on Pervasive Computing, Zürich, 2002, pp. 98-113.

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

[7] R. Glidden et al. , "Design of Ultra-Low-Cost UHF RFID Tags for Supply Chain Applications," IEEE Commun. Mag., Aug. 2004, pp. 140-151.

[8] EPC Global, *EPCTM Tag Data Standards Version 1.1 Rev.1.24*, Apr. (2004).

차 재 룡 (Jae-Ryong Cha)

준회원



2004년 2월 아주대학교 정보통신대학 전자공학부 졸업
2004년 3월~현재 아주대학교 정보통신 대학 전자공학부 석사과정
<관심분야> RFID, MAC 프로토콜, Sensor Network, IEEE

802.11/15

김 재 현 (Jae-Hyun Kim)

정회원



1991년 2월 한양대학교 전자계산학과 졸업
1993년 2월 한양대학교 전자계산학과 공학석사
1996년 8월 한양대학교 전자계산학과 공학박사
1996년 8월~1997년 4월 한양대

학교 공학기술 연구소 연구원
1997년 7월~1998년 6월 UCLA 전기과 Postdoc 연구원
1998년 7월~1998년 9월 IRI Corp. CA, USA
1998년 11월~2002년 2월 Bell Labs, Lucent Tech.
2003년 3월~현재 아주대학교 정보통신대학 전자공학부 조교수
<관심분야> 무선 인터넷 QoS, MAC 프로토콜, IEEE 802.11/15/16/20