

ISO 18000-6 Type C 수동형 RFID 시스템을 위한 태그 및 리더 충돌방지 알고리즘

송인찬 | 홍성현 | 장경희 | 이형섭*

인하대학교, 한국전자통신연구원*

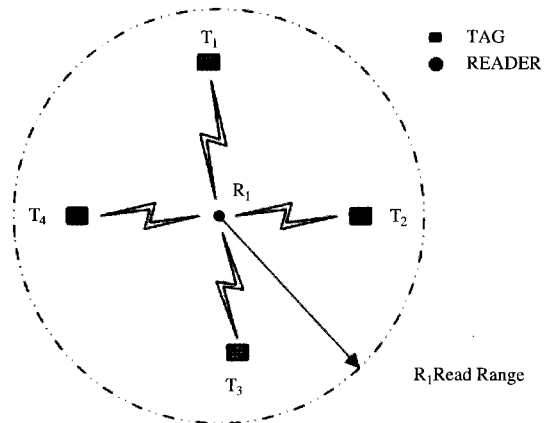
요약

RFID 시스템은 유통물류 분야를 비롯해 다양한 분야에서 활용되고 있지만, RFID 시스템에서의 태그 및 리더 충돌로 인해 태그의 인식효율 및 인식속도의 감소가 RFID 시스템의 확산에 걸림돌이 되고 있다. 본고에서는 RFID 시스템의 효율을 높이기 위한 태그 및 리더 충돌방지 알고리즘들을 소개한다. 특히, ISO 18000-6 Type C 수동형 RFID 시스템에서의 태그 및 리더 충돌방지 알고리즘에 대하여 집중적으로 알아본다.

RFID 시스템 환경에서 충돌은 크게 태그 충돌과 리더 충돌로 분류할 수 있다[3]. 일반적으로 RFID 시스템에서 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 충돌이라 한다[1]. (그림 1)은 하나의 리더에 4개의 태그가 동시에 응답하여 태그 충돌이 발생한 것을 나타내고 있다.

1. 서론

RFID (Radio Frequency Identification)는 모든 사물에 전자 태그를 부착하고 무선 통신 기술을 이용하여 사물의 정보 및 주변 상황정보를 감지하는 인식 기술로서 리더와 태그, 그리고 리더를 지원하는 호스트로 구성된다. 국제 표준으로 권고되고 있는 RFID 사용 주파수는 13.56MHz, 400MHz, 900MHz, 2.4GHz 등이 있으며 이 가운데 900MHz가 비교적 전파 특성이 우수해서 국내외적으로 특히 주목을 받고 있다 [1]. 그러나 RFID 리더 사이의 충돌 또는 태그들의 충돌로 인하여 인식 효율이 떨어지는 등의 문제를 가지고 있다[2]. 특히 RFID 리더 사이의 충돌 또는 태그들의 충돌은 태그의 인식효율 및 인식속도의 감소를 가져오므로, RFID 시스템이 산업화되기 어려운 요인이 되고 있다.



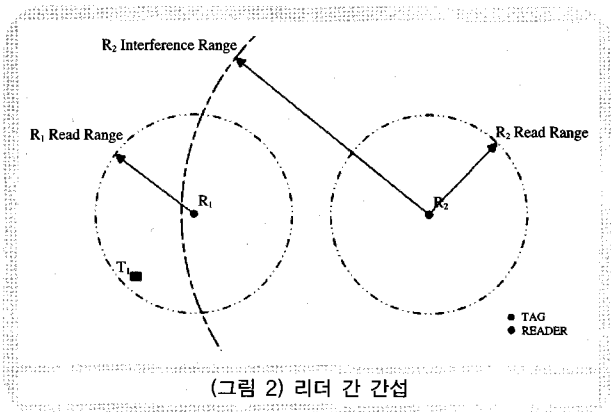
(그림 1) 태그 충돌

리더 충돌은 크게 리더 간 간섭 (Reader to Reader Interference)과 다중 리더에 의한 태그 간섭 (Multiple Reader to Tag Interference)으로 나뉜다[3].

리더 간 간섭이란 처리 공간이 같은 리더들이 동시에 태그

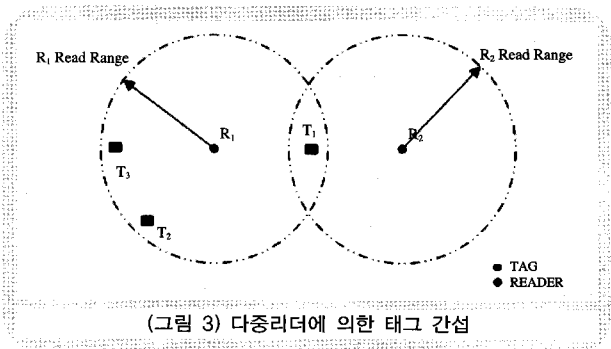
와 통신을 할 경우 발생하는 충돌현상으로 리더 충돌이 발생하면 리더들이 보내는 전파사이의 간섭현상으로 리더 사이에 존재하는 태그가 인식되지 않을 수 있다. 리더 간 간섭은 근접한 위치에 존재하는 리더가 동시에 동일 주파수 혹은 인접한 주파수를 사용하여 발생하는 주파수 간섭으로 동일 채널 간섭 (Co-Channel Interference), 인접 채널 간섭 (Adjacent Channel Interference)으로 나눌 수 있다[4].

(그림 2) [5]의 경우 R1의 입장에서 보면 T1으로부터 수신된 전압에 비해 R2 간섭 신호 전압이 무시할 수 없을 정도로 되어 T1의 정보를 정확히 읽지 못하는 경우이다. 동일채널인 경우, 이론적으로 동일한 시간대에 동일한 주파수를 사용하는 리더는 태그 인식거리의 70배 이상의 거리를 이격해야만 하는 것으로 알려져 있다. 리더거리 동일채널을 사용하지 않도록 적절한 리더의 주파수 할당이 필요하다[4].



(그림 2) 리더 간 간섭

다중리더에 의한 태그 간섭은 (그림 3)[5]에서처럼 두 개 이상의 리더가 하나의 태그에 동시에 접속할 경우 발생하게 된다. 태그는 자체 전지가 없으며, 리더로부터 수신한 신호



(그림 3) 다중리더에 의한 태그 간섭

로 응답을 하기 때문에 주파수를 선택할 수 없다. 따라서 두 리더의 동작 주파수가 다를 경우에도 간섭은 발생하게 된다 [4].

간섭 리더에서 수신되는 전압이 태그에 간섭을 주지 않기 위해서는 동작중인 리더로부터 수신되는 전압보다 작아야 한다. 이는 유통물류 환경에서는 리더간의 거리를 적절히 이격함으로써 해결할 수 있으나, 모바일 RFID 환경에서는 동일한 태그에 리더가 근접하게 되는 경우가 종종 발생하므로 해결하기 어렵게 된다[4].

UHF (Ultra High Frequency) 대역에서의 리더와 태그 간 통신프로토콜인 EPCglobal Class1 Gen2 규격이 900MHz 대역에서 국제 단일 표준인 ISO/IEC 18000-6 Type C로 2006년 6월에 확정되었다. 기존 EPC Class0, Class1 및 ISO 18000-6 Type A, B에 비해 높은 인식속도와 동시에 태그를 액세스할 수 있는 다중 리더 기능, 유연한 태그 식별 프로토콜, 보안 기능의 강화, 밀집리더 모드 지원 등 다양한 측면에서 기술적 우위를 갖는다. <표 1>[6]은 ISO 18000-6을 Type별로 비교한 결과를 나타내었다.

<표 1> ISO/IEC 18000-6 시스템의 Type별 비교

Parameter	Type A	Type B	Type C
순방향링크 (리더-태그)인코딩	PIE	Manchester	PIE (Nominal90%)
Modulation index	27% ~ 100%	18%or100%	80% ~ 100%
데이터 전송률	33Kbps (평균)Tari=20usec	10/40 Kbps (국가나지역의 규격에 따름)	128~26.7Kbps
태그 인식속도	100 Tags/sec	100 tags/sec	1500 Tags/sec
역방향링크 (태그-리더)인코딩	FM0	FM0	FM0 혹은 Millermodulated subcarrier
보안 고려	없음	없음	RN-16을 이용 암호화 32 bit access Kill password
Collisionarbitration	Framed Slotted ALOHA	Deterministic Binary Tree	Probabilistic Slotted(ALOHA)
Collisionarbitration 선형성	250 태그 이하	2 ²⁵⁶ 태그 이하	32767태그 이하

본고의 구성은 다음과 같다. 먼저 II장에서는 기존 태그 충돌방지 알고리즘들과 이러한 태그 충돌방지 알고리즘의 성능을 개선하기 위하여 QueryAdjust 명령어, Chebyshev 부

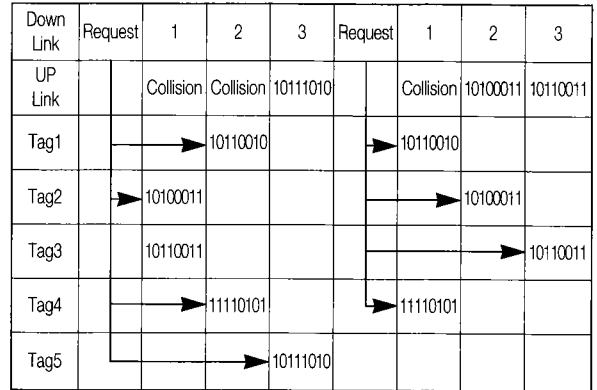
등식 등을 이용한 태그 충돌방지 알고리즘들을 소개한다. III장에서는 리더 충돌방지 알고리즘으로 Channel Monitoring 알고리즘, Pulse Protocol 알고리즘, 그리고 이 두 알고리즘의 장점을 이용한 Hybrid 알고리즘을 소개하고 마지막으로 IV장에서는 결론을 맺는다. II장에서의 태그 충돌방지 알고리즘에 대한 설명은 Type A, B, C의 수동형 RFID 시스템 모두를 예로 들어 설명하였으나, 전반적으로 본고에서는 ISO 18000-6 Type C 수동형 RFID 시스템에서의 태그 및 리더 충돌방지 알고리즘에 집중하여 설명하고자 한다.

II. 태그 충돌방지 알고리즘

태그 충돌방지를 위해 Slotted ALOHA, Binary Tree 등 다양한 방법들이 제시되었고 국제 표준안으로 발표되었다[7]. Slotted ALOHA 알고리즘은 지정된 N개의 슬롯으로 구성된 프레임에 리더기와 태그 간 통신에 사용하여 리더기 식별영역 내의 각 태그는 태그의 정보를 전송할 슬롯을 임의로 선택하여 해당 식별자를 적재하는 방식을 사용한다. Binary Tree 알고리즘은 이진비트로 표현되는 태그 식별자의 비트들을 사용하여 이진트리를 구성한 후 그 트리의 노드를 순회하며 태그 식별을 수행하는 방법으로서 태그 식별과정이 예측 가능하다는 특징을 갖고 있다[8].

1. Framed Slotted ALOHA 알고리즘

ISO 18000-6 Type A에서 정의된 Framed Slotted ALOHA (FS-ALOHA) 알고리즘은 리더와 태그 사이의 통신에 크기가 고정된 프레임을 사용하는 알고리즘이다. 리더가 요청 명령(Request Command)을 전송할 때, 태그들에게 프레임 크기와 임의의 번호(Random Number)를 보내주어 태그가 이 정보를 이용하여 프레임 내에서 자신이 사용할 슬롯을 선택할 수 있게 한다. 태그는 선택한 슬롯에 자신의 태그 ID를 리더에게 전송한다. 이 때 태그의 응답 사이에서 충돌이 발생하면 리더는 다른 임의의 번호를 태그에게 전송하여 다시 인식을 시도한다. (그림 4)는 FS-ALOHA 알고리즘의 동작과정을 나타내고 있다.



(그림 4) Framed Slotted ALOHA의 기본 동작 과정

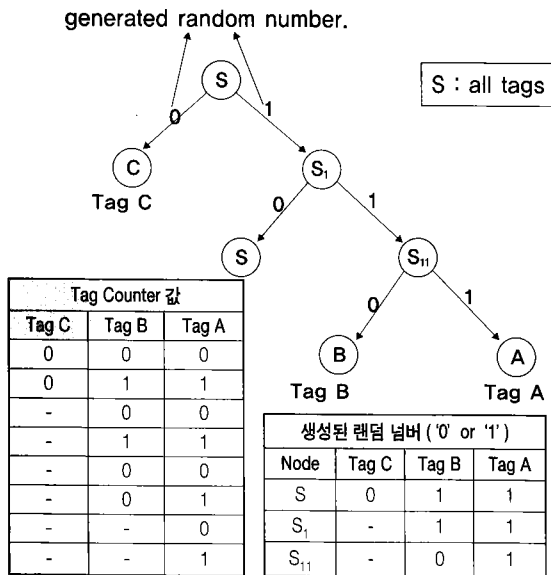
리더의 명령과 다음 명령사이의 간격으로 1회의 태그 인식 과정을 읽기 주기(Read Cycle)라 하며 첫 번째 읽기 주기에서 태그1과 태그4는 1번 슬롯, 태그2와 태그3은 2번 슬롯에 자신의 태그 ID를 전송함으로써 태그 충돌이 발생하였다. 그 결과 태그1, 2, 3, 4는 인식되지 않았으므로 리더의 두 번째 요청 명령에 다시 응답하였다. 이 때 각 읽기 주기에서 사용된 프레임의 크기는 3으로 일정하게 유지된다. 또한 처음 읽기 주기에서 인식된 태그5는 리더와의 통신을 통해 이후의 읽기 명령에 대해 응답하지 않도록 설정된다.

FS-ALOHA 알고리즘은 프레임의 크기가 고정되어 있기 때문에 태그의 수가 많을 경우, 각 슬롯마다 할당된 태그가 많아 여러 번 반복되더라도 하나의 태그도 인식하지 못할 수 있다. 또한 태그 수가 적을 경우에는 슬롯의 낭비가 발생한다.

2. Deterministic Binary Tree 알고리즘

ISO 18000-6 Type B에서 정의된 Deterministic Binary Tree 알고리즘은 태그 내의 난수 발생기(Random Generator)와 8-bit 카운터(Counter)를 이용한다. (그림 5)는 리더의 인식 영역 내 존재하는 3개의 태그(A, B, C)를 인식하기 위한 Deterministic Binary Tree 알고리즘의 동작 과정을 나타낸다.

각각의 노드 S, S1, S11에서 태그가 2개 이상 존재하고 있으며 이들 태그들은 랜덤 넘버 '0' 또는 '1'을 발생하게 된다. 먼저 A, B, C 태그가 S 노드에서 충돌을 일으킨다. 충돌을 일으킨 태그들을 분리하기 위해서 '0' 또는 '1'을 발생시킨다. 태그 A, B는 '1'을 생성하고 태그 C는 '0'을 생성한다. 태그 C는 인식이 되고 태그 A, B는 S1 노드에서 충돌을



(그림 5) Deterministic Binary Tree 알고리즘의 동작 과정

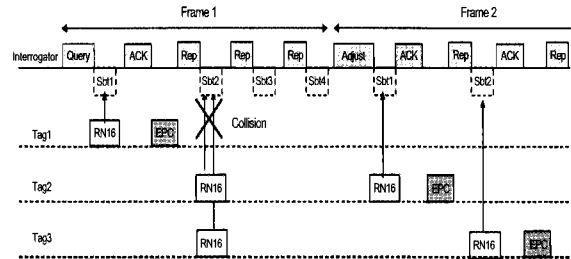
일으킨다. S1 노드에서 태그 A, B 모두 '1'을 생성하여 S11 노드에서 다시 충돌을 일으키게 된다. S11 노드에서 태그 A는 '1'을, 태그 B는 '0'을 생성하여 3개의 태그 모두 인식이 완료된다.

3. Gen-2 기반 Probabilistic Slotted 알고리즘

Probabilistic Slotted 알고리즘은 EPCglobal에서 EPC Class1 Gen2를 ISO에 상정하여 채택된 표준인 ISO 18000-6 Type C에서 사용하는 충돌방지 알고리즘으로 ISO 18000-6 Type A에서 사용되는 Slotted ALOHA 방식을 기반으로 하는 Q 알고리즘이다. Probabilistic Slotted 알고리즘의 기본 동작 과정은 다음과 같다.

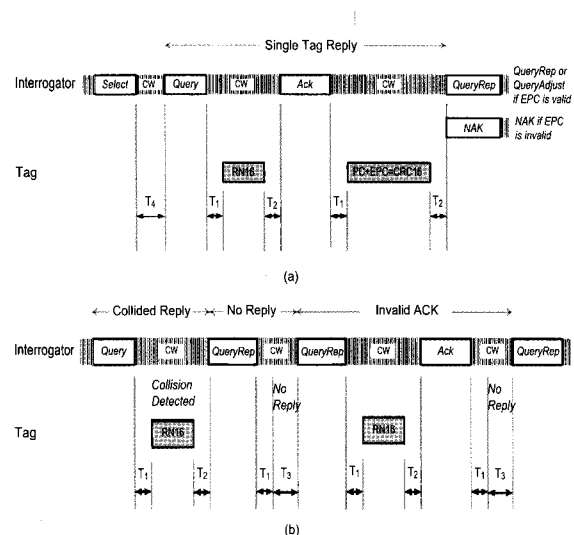
슬롯의 송수신과정은 라운드의 시작명령인 질의 (Query) 명령이나 재질의 (QueryRep) 명령으로 시작하며 이에 대한 응답으로 태그는 16-bit의 랜덤한 값인 RN16을 리더로 송신한다. 성공적으로 RN16을 수신한 경우, 리더는 이를 인자로 응답 (ACK) 명령을 태그로 전송하며 이를 수신한 태그 중 해당 RN16을 송신한 태그만 자신의 태그 식별자 (EPC)를 리더로 송신한다. CRC 에러검사를 거쳐 성공적으로 수신하였다고 판단될 경우, 한 개의 태그가 식별된 것이다. 다음 슬롯의 송수신을 위하여 리더는 재질의 명령을 다시 태그로 전송하며 태그는 RN16으로 응답하며 상기 과정을 반복한다

9]. (그림 6)은 Probabilistic Slotted 알고리즘의 기본 동작 과정을 나타내고 있다.



(그림 6) Probabilistic Slotted 알고리즘의 기본 동작 과정

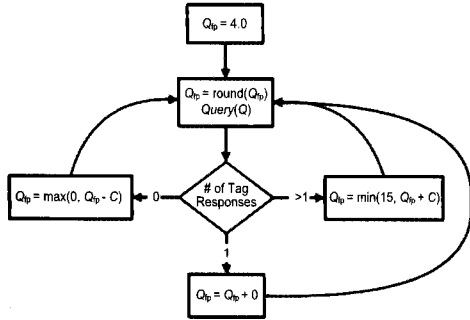
상기 과정 중 RN16의 성공적인 수신은 오직 하나의 태그만 응답하였을 경우이며, 응답이 없거나 다수 개의 태그 응답으로 인해 충돌이 발생한 경우는 실패로 여겨진다. (그림 7)[10]에서 (a)는 RN16의 성공적인 수신인 오직 하나의 태그만 응답하였을 경우이며, (b)는 하나의 리더에 다수 개의 태그 응답으로 인해 충돌이 발생한 경우와 태그로부터 응답이 없는 경우이다.



(그림 7) (a) 하나의 태그만 리더에 응답하는 경우
(b) 태그로부터 응답이 없거나 태그 충돌이 발생한 경우

라운드 시작 시에 설정된 Q값에 따라 전송해야 할 슬롯 개수가 결정되며 이를 모두 송수신한 경우 라운드가 종료된다

3.1 충돌방지 Q 알고리즘



(그림 8) 충돌방지를 위한 Q 알고리즘

(그림 8)[10]은 ISO 18000-6 Type C에서 제시하는 Q 알고리즘을 나타낸 것이다. Q 알고리즘은 Q 파라미터를 이용해서 시간을 2^Q개의 슬롯으로 나누고 각각의 시간 슬롯에 태그들이 랜덤하게 응답하게 함으로써 태그의 충돌을 줄이는 방법이다. 따라서 Q에 따라 충돌방지 알고리즘의 성능이 결정된다. Q는 0~15까지의 정수로 이에 따라 생성될 수 있는 슬롯의 개수는 2⁰~2¹⁵개다. Q값은 Q_{fp}값에 따라 변하게 되는데 Q_{fp}는 유리수 값을 가지는 파라미터이며, Q값은 정수 값을 가지는 파라미터이다. Q알고리즘은 Q_{fp}의 초기 값을 4로 두고 태그 인식 과정을 시작한다. 리더의 질의 (Query)에 대해 24개의 슬롯에서 태그들이 랜덤하게 응답할 경우, 다음과 같은 3가지 경우가 발생한다[8].

Case 1. 슬롯에 하나의 태그만이 응답하는 경우

$$Q_{fp} = Q_p$$

Case 2. 슬롯에 태그의 응답이 없는 경우

$$Q_{fp} = Q_p - C$$

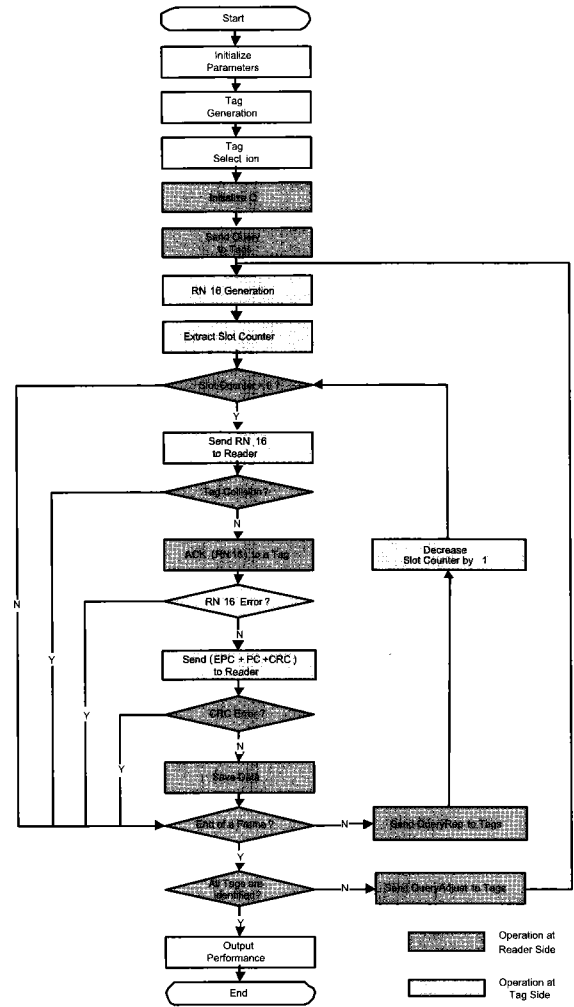
Case 3. 슬롯에 다수의 태그가 응답하는 경우

$$Q_{fp} = Q_p + C$$

여기서, C는 Q_{fp}에 더해지거나 빼지는 가중치로 0.1 < C < 0.5의 범위를 가진다[10].

(그림 9)는 Gen-2 기반 Probabilistic Slotted 알고리즘의 흐름도를 나타내고 있다.

n개의 태그가 N개의 슬롯을 사용하여 리더와 통신한 경우 하나의 슬롯 내에 r개의 태그가 존재할 확률은 이항분포 (binomial distribution)를 따르며 다음의 식 (1)으로 나타낼 수 있다[11].



(그림 9) Probabilistic Slotted 알고리즘의 흐름도

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

하나의 슬롯 내에 태그가 존재하지 않을 빈 슬롯 개수의 평균 기댓값, $a_0^{N,n}$ 은 다음과 같이 식 (2)로 나타낼 수 있다.

$$a_0^{N,n} = NB_{n, \frac{1}{N}}(0) = N \binom{n}{0} \left(\frac{1}{N}\right)^0 \left(1 - \frac{1}{N}\right)^n = N \left(1 - \frac{1}{N}\right)^n \quad (2)$$

하나의 슬롯 내에 하나의 태그만 존재할 식별슬롯개수의 평균 기댓값, $a_1^{N,n}$ 는 다음과 같이 식 (3)로 나타낼 수 있다.

$$a_1^{N,n} = NB_{\frac{n}{N}}(1) = N \binom{n}{1} \left(\frac{1}{N}\right)^1 \left(1 - \frac{1}{N}\right)^{n-1} = n \left(1 - \frac{1}{N}\right)^{n-1} \quad (3)$$

식 (2), (3)으로부터 충돌슬롯개수의 평균 기댓값, $a_k^{N,n}$ 을 식 (4)와 같이 나타낼 수 있다.

$$a_k^{N,n} = NB_{\frac{n}{N}}(k) = N - a_0^{N,n} - a_1^{N,n}, \quad k \geq 2. \quad (4)$$

최적의 슬롯개수를 추정하는 두 가지 방법이 있다. 인식시간을 최소화하는 방법과 시스템의 데이터 처리량을 최대화하는 방법이다. 두 가지 방법 모두 최적의 프레임 크기가 태그의 수와 같은 결론을 얻을 수 있다[7].

$$N_{optimal} = n. \quad (5)$$

4. CHI (Chebyshev's Inequality) 알고리즘

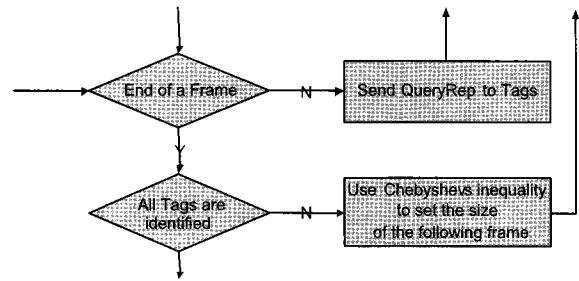
리더 인식범위 안의 태그 수를 추정하는 방법은 Lower Bound, 최대 데이터 처리량, 충돌 비율, Chebyshev 부등식을 이용한 방법이 있다. 그 중 Chebyshev 부등식을 이용한 방법은 한 라운드 후의 read results (프레임 크기 N, 충돌이 발생한 슬롯수 c_k , idel 슬롯수 c_0 , 성공적으로 전송된 슬롯수 c_1)와 expected value vector 값과의 distance가 최소가 되는 n값을 택함으로써 태그의 수(n)를 추정한다[11]. 이를 수식으로 정리하면 다음과 같다.

$$\xi(N, c_0, c_1, c_k) = \min_n \left\| \begin{pmatrix} a_0^{N,n} \\ a_1^{N,n} \\ a_{k \geq 2}^{N,n} \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} c_0 \\ c_1 \\ c_k \end{pmatrix} \right\|. \quad (6)$$

여기서, $a_0^{N,n}$, $a_1^{N,n}$, 그리고 $a_{k \geq 2}^{N,n}$ 은 식 (2) ~ (4)를 이용한다.

CHI (Chebyshev's Inequality) 알고리즘은 Q 알고리즘 대신에 Chebyshev 부등식을 이용하여 리더 인식범위 안의 태그 수를 추정하여 다음 프레임의 최적의 슬롯크기를 추정하는 알고리즘이다. (그림 9)에서 보면 Probabilistic Slotted 알고리즘은 프레임이 종료된 후 QueryAdjust 명령어로 프레임 크기를 조절한다. 그러나, CHI 알고리즘에서는 QueryAdjust 명령어 대신에 Chebyshev 부등식을 이용하여 다음 프레임의 크기를 결정하게 된다. (그림 10)은 CHI 알고리즘의 흐름도를 보여준다. 음영처리된 부분은 기존 Probabilistic Slotted

알고리즘에서 새롭게 제안하는 부분을 나타내고 있다. CHI 알고리즘은 태그의 수를 정확하게 추정할 수 있고 최적의 프레임 크기를 구할 수 있으므로, Q 알고리즘보다 태그 인식 성능을 향상할 수 있다[12].



(그림 10) CHI 알고리즘의 흐름도

5. FAFQ 알고리즘과 AAFQ 알고리즘

AFQ (Adjustable Framed Q) 알고리즘은 현재의 라운드 종료 전 연속적인 충돌 슬롯이 발생하거나 연속적인 빈 슬롯이 발생할 경우, 현재 라운드 내에서 QueryAdjust 명령어를 사용하여 라운드를 종료한 후, 다음 라운드의 슬롯개수를 조절하는 방법이다. 연속적인 충돌 슬롯이 발생한다는 것은 현재 시스템 내에 슬롯개수보다 태그개수가 많다는 것을 의미한다. 따라서 슬롯개수를 증가시켜 새로운 라운드를 시작함으로써 시스템 효율을 증가시켜야 한다[13].

5.1 FAFQ 알고리즘

FAFQ (Fixed Adjustable Framed Q) 알고리즘은 현재 라운드 내에서 연속적인 충돌 슬롯이 threshold 값 이상 발생할

```

    If number of continuous collided slots > Thcoll
      Reader sends QueryAdjust.
      Q = Q + 1
    else if number of continuous empty slots > Themp
      Reader sends QueryAdjust.
      Q = Q - 1
    else
      Reader sends QueryRep.
    end
  
```

(그림 11) FAFQ 알고리즘의 의사코드

경우 QueryAdjust 명령어를 사용하여 다음 라운드 슬롯개수를 증가시키고, 연속적인 빈 슬롯이 threshold 값 이상 발생할 경우 QueryAdjust 명령어를 사용하여 다음 라운드 슬롯개수를 감소시킨다. (그림 11)은 FAFQ 알고리즘을 구현하기 위한 의사코드이다.

5.2 AAFQ 알고리즘

AAFQ (Adaptive Adjustable Framed Q) 알고리즘은 threshold 값을 <표 2>와 같이 Q값에 따라 threshold 값을 적절하게 조절하여, 다음 라운드의 슬롯개수를 동적으로 조절한다. (그림 12)는 AAFQ 알고리즘을 구현하기 위한 의사코드이다.

<표 2> AAFQ 알고리즘의 Threshold 선택 방법

Q	0	1	2	3	...	14	15
Continuous collided slots / empty slots threshold	0	1	2	3	...	14	15
Total # of slots	2 ⁰	2 ¹	2 ²	2 ³	...	2 ¹⁴	2 ¹⁵

```

Reader sends QueryAdjust.
If Q == Q + 1
    Themp = Themp + 1
    Thcoll = Thcoll + 1
else if Q == Q - 1
    Themp = Themp - 1
    Thcoll = Thcoll - 1
end
    
```

(그림 12) AAFQ 알고리즘의 의사코드

AAFQ 알고리즘은 QueryAdjust 명령어의 사용 빈도수를 줄여 태그 인식시간, 충돌 비율을 최소화할 수 있고, 데이터 처리량, 시스템 효율을 최대화할 수 있다.

6. 태그 Grouping 방법에 의한 성능 개선

현재 RFID 리더는 RF 전력을 2¹ ~ 2⁴의 4단계로 나누어 송출할 수 있으며, 리더와 태그간 거리에 따라 리더의 RF 송출 전력 4단계에 반응하는 태그들은 각기 다르다. 따라서 리더 인식범위 안에 있는 모든 태그들은 리더의 전력 송출에 따라 4개의 그룹으로 나누어질 수 있고, 나누어진 그룹마다 각각의 충돌방지 알고리즘을 수행함으로써, 태그 인식 시간,

데이터 처리량, 시스템 효율, 충돌 비율 등의 시스템 성능을 개선할 수 있다[13].

III. 리더 충돌방지 알고리즘

RFID 표준에서 제안된 방식들은 서로 간섭을 일으키는 리더들에게 다른 주파수를 할당함으로써 리더 충돌을 방지하는 방식을 이용한다. 따라서 RFID 표준을 이용하면 동일한 주파수를 이용하는 리더들 사이에 충돌이 발생하는 리더 간 간섭을 방지할 수 있다. 그러나 이 방법을 이용하더라도 2개 이상의 리더가 하나의 태그에 동시 접속하여 발생하는 태그 간섭을 방지할 수 없다. 그러므로 다중리더에 의한 태그간섭을 줄이기 위하여, RFID 표준에서 정의하고 있는 방법을 보완하는 RFID 리더 충돌방지 기법의 개발이 필요하다.

1. Channel Monitoring 알고리즘

Channel Monitoring 알고리즘은 프레임 내 슬롯의 점유 여부를 모니터링 하여, 리더 충돌이 발생하여 새로운 슬롯을 선택할 때 리더들이 사용할 확률이 가장 낮은 슬롯을 선택하는 충돌방지 기법이다. (그림 13)은 Channel Monitoring 알고리즘의 의사코드를 나타내고 있다[14].

```

Proposed Algorithm Subroutine 1 - Transmission
If (timeslot_ID %max_color) == current_color
-Then transmission
Else idle until (timeslot_ID %max_color) == current_color
Proposed Algorithm Subroutine 2 - Collision
If attempted transmission but experienced collision
-Current_color changes to a new color having the minimum
occupied probability
-Broadcast the information stating new color
The rest of the proposed algorithm is the same as
the Enhanced Colorwave
    
```

(그림 13) Channel Monitoring 알고리즘

리더들은 슬롯의 사용 여부를 모니터링 하여 각 슬롯의 점유 확률을 계산한다. 이 경우 슬롯의 점유 확률이란 그 슬롯이 비어 있지 않음 확률을 말한다. 리더 충돌이 발생하면, 충돌이 발생한 리더는 이 모니터링 값을 이용하여 가장 작은 점유 확률을 가진 슬롯을 선택하고 이를 주변 리더들에게

알린다. 그리고 이 정보를 들은 주변 리더들 중 그 슬롯을 사용하고 있는 리더는 선택된 슬롯을 양보하고 다른 임의의 슬롯을 선택하는데, 이 경우에도 가장 점유 확률이 낮은 슬롯을 선택하게 된다.

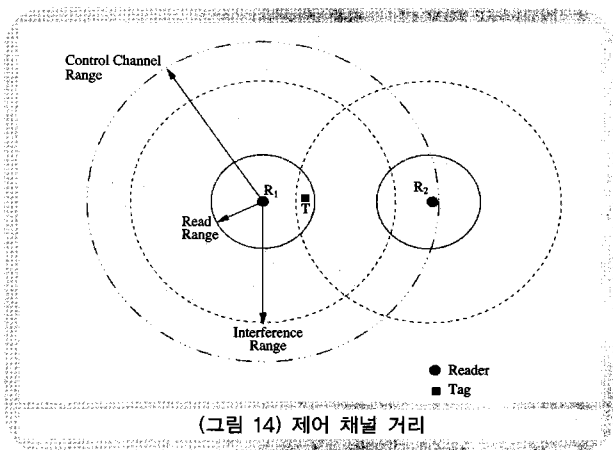
Channel Monitoring 알고리즘은 슬롯 선택 외의 다른 모든 기법들은 Enhanced Colorwave와 동일한 방식을 이용한다.

리더 충돌로 새로운 슬롯을 선택할 때 최소 점유 확률을 가진 리더를 선택하므로, 임의로 사용할 슬롯을 결정하는 기존 Enhanced Colorwave보다 충돌 발생이 감소하는 장점을 가진다.

2. Pulse Protocol 알고리즘

(그림 14)는 기존 CSMA 방법으로 해결할 수 없는 RFID 네트워크의 전형적인 hidden terminal 환경이다. 즉, 리더들이 서로 캐리어 센싱 거리밖에 위치해 있고, R_1 은 T와 데이터 채널로 통신하고 있으며, R_2 는 주변 태그에 신호를 전송 중이다. 이 경우 T에서는 다중리더에 의한 충돌이 발생하며, 이를 해결하기 위해서 Pulse Protocol이 제안되었다.

Pulse Protocol 알고리즘은 리더 간의 통신이 가능한 beacon 제어채널을 사용하여 리더의 주파수 할당 및 access time을 조절함으로써, 다중 리더에 의한 충돌을 방지한다. Beacon 제어채널은 데이터 채널과 별도로 동작해야 하므로 다른 주파수가 할당되며, 리더 간 충돌을 조정하기 위하여 제어 신호 전력은 데이터 신호 전력보다 크도록 설정하였다. 즉, (그림 14)에서처럼 간섭 거리에 비해 제어 신호감지 거리가 더 커지도록 해서 hidden terminal 문제를 해결할 수 있다[3].



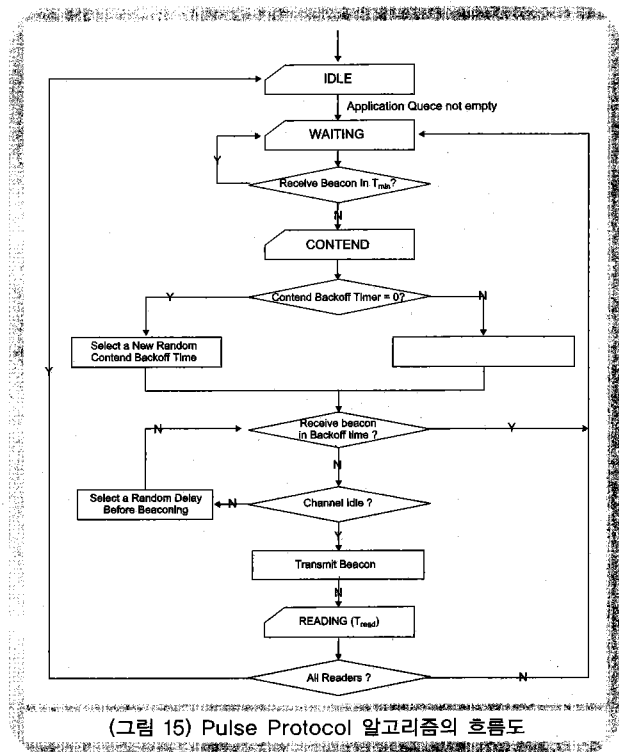
(그림 14) 제어 채널 거리

하나의 리더가 태그와 통신을 하고 있을 경우 주변 리더에게 beacon 신호를 주기적으로 제어 채널을 통해 송신하며, 주변 리더들은 제어채널의 beacon 신호들을 계속 센싱하여 리더가 전송을 마칠 때까지 기다리고, beacon 신호가 센싱되지 않을 경우 즉, 데이터 채널이 idle 상태가 되었을 때 주변리더들이 Pulse MAC Protocol을 적용하여 데이터 채널을 사용하게 된다.

리더가 태그를 읽고자 하면 idle 상태에서 waiting 상태로 천이한다. waiting 상태에서는 T_{min} 동안 대기하면서 beacon 신호를 검색한다.

T_{min} 내에 beacon 신호를 받으면 waiting time을 T_{min} 으로 리셋 한다. T_{min} 시간동안 beacon 신호를 받지 않으면 contend 상태로 천이해서 랜덤 backoff (contend_backoff)동안 기다린다. 랜덤 backoff 시간은 beacon 신호 주기의 정수 배 시간으로 리더가 동시에 Access 확률을 줄여준다.

contend 상태에서도 beacon을 받으면 다시 waiting 상태가 되며, 랜덤 backoff가 끝날 때까지 beacon 신호를 받지 않으면 경쟁중인 리더가 없음을 확인 할 수 있어 리더는 주변 리더들에게 beacon 신호를 보내고 태그 정보를 읽게 된다.



(그림 15) Pulse Protocol 알고리즘의 흐름도

태그 정보를 읽는 중에도 계속 주기적으로 beacon 신호를 보내며 beacon 신호를 보내기 전에 제어 채널이 사용 중인지를 센싱한다. 채널이 idle인 경우만 다시 beacon을 보내며, busy인 경우는 랜덤 backoff (delay before beaoning)을 다시 하여 채널이 idle 일 때까지 기다린다. Delay Before Beaoning 상태나 reading 상태에서 제어채널을 통해서 다른 beacon이 수신되면 모두 waiting 상태로 돌아가야 한다.

(그림 15)와 (그림 16)은 Pulse Protocol 알고리즘의 흐름도와 Pulse Protocol 알고리즘의 동작과정을 나타내고 있다.

3. 슬롯 점유확률을 이용한 Pulse Protocol 기반의 Hybrid 알고리즘

Pulse Protocol 기반의 Hybrid 리더 충돌방지 알고리즘은 Pulse Protocol 알고리즘의 성능을 향상시키기 위하여 Channel Monitoring 알고리즘에서 사용되는 슬롯의 점유확률 (Occupied Probability)을 이용한다. Hybrid 알고리즘의 동작과정은 다음과 같다.

리더의 태그 인식이 종료되었거나 리더 충돌이 발생하여

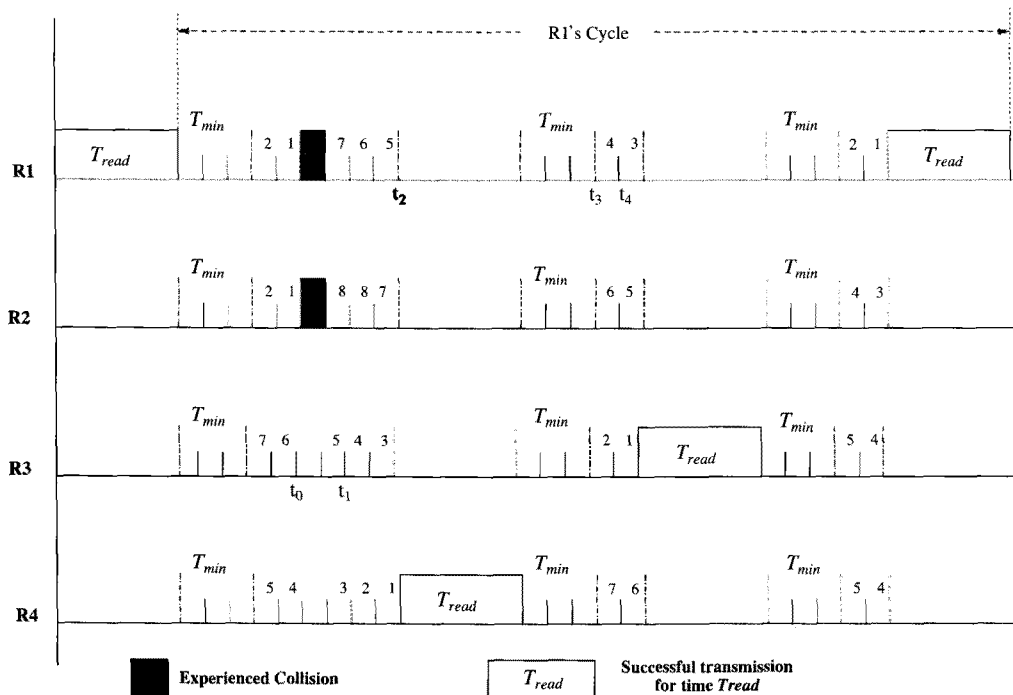
새로운 랜덤 backoff 시간을 생성할 경우, 리더는 랜덤 backoff 시간의 모니터링을 통해 자신이 사용하게 될 슬롯의 점유확률을 확인하여 0보다 크면, 즉 자신이 사용하게 될 슬롯이 다른 리더의 랜덤 backoff 시간에 의해 점유되었다면, 리더는 새로운 랜덤 backoff 시간을 생성하여 리더간의 충돌을 피한다.

Hybrid 리더 충돌방지 알고리즘을 이용하여 기존 알고리즘보다 데이터 처리량, 시스템 효율의 향상과 인식시간의 감소가 기대된다.

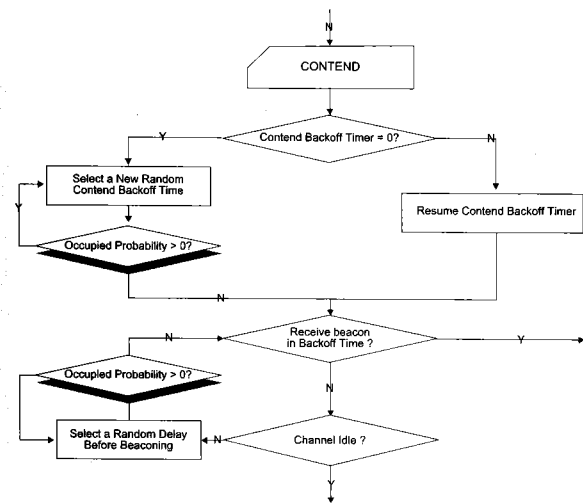
(그림 17)은 슬롯 점유확률을 이용한 Pulse Protocol 기반의 Hybrid 알고리즘의 흐름도를 나타내고 있다. 음영처리된 부분은 기존 Pulse Protocol 알고리즘에서 새롭게 제안하는 부분을 나타내고 있다.

(그림 18)은 슬롯 점유확률을 이용한 Pulse Protocol 기반의 Hybrid 알고리즘의 동작과정을 나타내고 있다.

슬롯 점유확률을 이용한 Pulse Protocol 기반의 Hybrid 알고리즘은 슬롯 선택 외의 다른 모든 기법들은 Pulse Protocol 알고리즘과 동일한 방식을 이용한다[15].



(그림 16) Pulse Protocol 알고리즘의 동작과정



(그림 17) Hybrid 리더 충돌방지 알고리즘의 흐름도

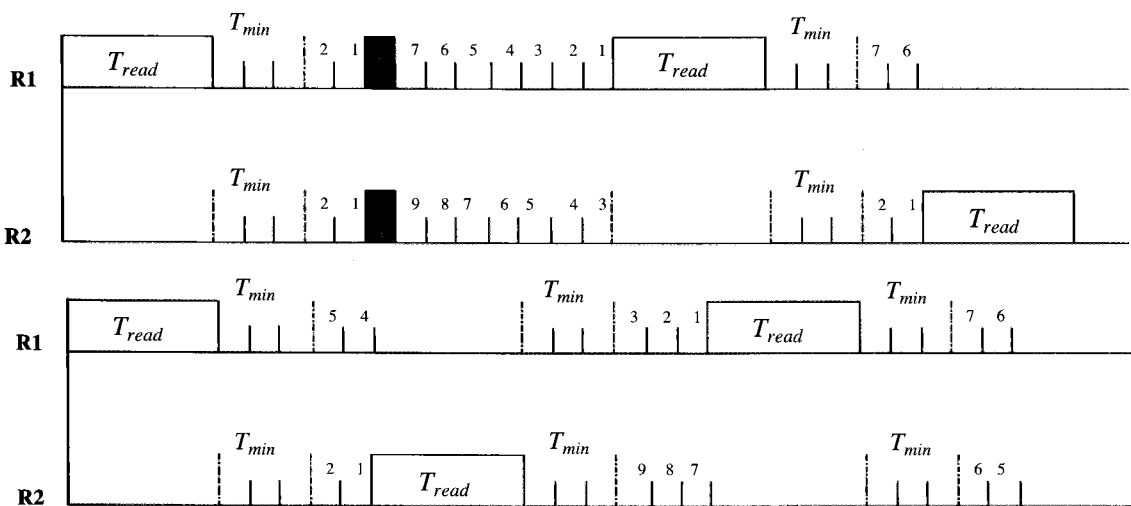
인 Channel Monitoring 알고리즘 및 Pulse Protocol 알고리즘과 같은 기존 태그 및 리더 충돌방지 알고리즘에 대하여 살펴보았다. 그리고 태그인식시간 및 충돌 비율을 감소시키고, 데이터 처리량과 시스템 효율을 증가시킬 수 있는 태그 Grouping에 의한 성능 개선, Chebyshev 부등식을 이용한 CHI (Chebyshev's Inequality) 알고리즘과 QueryAdjust 명령어를 이용한 AFQ (Adjustable Framed Q) 알고리즘 같은 태그 충돌방지 알고리즘도 살펴보았다. 또한, 슬롯 점유확률을 이용한 Pulse Protocol 기반의 Hybrid 리더 충돌방지 알고리즘을 소개하였으며 각 방법의 차이점을 비교/분석하였다. 본고에서 나열한 알고리즘들의 구현은 RFID 시스템의 확산을 위한 연구에 중요한 토대가 될 것으로 확신한다.

참고 문헌

IV. 결 론

본고에서는 RFID 시스템에서의 태그 및 리더 충돌 환경과 더불어, 태그 충돌방지 알고리즘인 Framed Slotted ALOHA 알고리즘, Deterministic Binary Tree 알고리즘 및 Gen-2 기반 Probabilistic Slotted 알고리즘과 리더 충돌방지 알고리즘

- [1] K. Finkenzeller, *RFID Handbook ; Fundamentals and Applications in Contactless Smart Cards and Identification*, 2nd Edition, John Wiley & Sons Ltd, 2003.
- [2] 김상태, "RFID 기술개요 및 국내외 동향분석," 전자부품연구원 전자정보처리센터, 2003, 08.



(그림 18) Hybrid 리더 충돌방지 알고리즘의 동작과정

- [3] 안동현, 양훈기, 양성현, 김영수, "RFID 리더의 다중접속 프로토콜," *한국통신학회지*, vol. 24, no. 5, pp. 124-134, 2007, 05.
- [4] 장병준, 박준석, 오하령, 성영락, "RFID dense 모드 지원을 위한 Medium Access 기술," *한국통신학회지*, vol. 23, no. 12, pp. 81-92, 2006, 12.
- [5] S. M. Birari, and S. Lyer, "Mitigating the reader collision problem in RFID networks with mobile readers," in *Proc. of the 13th IEEE Int. Conf. on Networks*, vol. 1, Nov. 2005, pp 463-468.
- [6] 장병준, 오하령, 성영락, 박준석, "UHF RFID Air Interface 기술 동향," *한국통신학회지*, vol. 24, no. 8, pp. 14-22, 2007, 08.
- [7] 차재룡, 김재현, "RFID 시스템에서의 태그수를 추정하는 ALOHA방식 Anti-collision 알고리즘," *한국통신학회 논문지*, vol. 30, no. 9, pp. 814-821, 2005, 09.
- [8] 김정곤, 이제경, "UHF 대역 RFID 시스템의 충돌방지 기술 동향," *한국통신학회지*, vol. 23, no. 12, pp. 93-106, 2006, 12.
- [9] 권성호, 모희숙, 최길영, 표철식, 채종석, "Gen2기반 RFID 시스템에서의 충돌방지 알고리즘에 대한 연구," *한국통신학회논문지*, vol. 31, no. 6, pp. 561-571, 2006, 06.
- [10] EPCglobal, *Radio-Frequency Identity Protocols Class 1 Generation-2 UHF Protocol for Communications at 860 MHz-960 MHz Version 1.1.0*, Dec. 17, 2005.
- [11] Harald Vogt, "Efficient object identification with passive RFID tags," in *Proc. Conf. on Pervasive Computing*, vol. 2414, 2002, pp 98-113.
- [12] 범효, 송인찬, 장경희, 이형섭, 신동범, "수동형/반능동형 RFID 시스템의 태그 충돌 방지 알고리즘 Part II : Chebyshev's Inequality를 이용한 CHI 알고리즘과 Hybrid Q 알고리즘," *한국통신학회논문지*, vol. 33, no. 8, pp. 805-814, 2008. 08.
- [13] 송인찬, 범효, 장경희, 이형섭, 신동범, "수동형/반능동형 RFID 시스템의 태그 충돌 방지 알고리즘 Part I : QueryAdjust 명령어를 이용한 AFQ 알고리즘과 Grouping에 의한 성능개선," *한국통신학회논문지*, vol. 33, no. 8, pp. 794-804, 2008. 08.
- [14] 이수련, 이채우, "채널 모니터링 기법을 이용한 RFID 리더 충돌방지 알고리즘," *대한전자공학회논문지*, vol. 43, no. 8, pp. 35-46, 2006, 08.
- [15] 송인찬, 범효, 윤희석, 장경희, "밀집 리더 환경 하에서 슬롯 점유확률을 이용한 Pulse Protocol 기반의 Hybrid 리더 충돌방지 알고리즘," *한국통신학회논문지*, 심사 중.

약 력



2007년 인천대학교 전자공학과 (공학사)
2007년 ~ 현재 인하대학교 정보통신대학원 석사과정
관심분야: RFID/USN Systems, MAC Protocol, IEEE 802.11/15

송 인 찬



2008년 인하대학교 전자공학과 (공학사)
2008년 ~ 현재 인하대학교 정보통신대학원 석사과정
관심분야: RFID/USN Systems, MAC Protocol, IEEE 802.11/15

홍 성 현



1985년 연세대학교 전자공학과 (공학사)
1987년 연세대학교 전자공학과 (공학석사)
1992년 Texas A&M Univ., EE Dept. (Ph.D.)
1989년 ~ 1990년 삼성종합기술원 주임연구원
1992년 ~ 2003년 한국전자통신연구원, 이동통신연구소 무선전송방식연구팀장 (책임연구원)
2003년 ~ 현재 인하대학교 정보통신대학원 교수
관심분야: 4세대 이동통신 및 3GPP LTE 무선전송방식, WMAN 및 DMB 시스템 무선전송기술, Cognitive Radio, Cross-layer Design, Cooperative Relaying System, RFID/USN Systems

장 경 희



1985년 충남대학교 전자공학과 (공학사)
1994년 충남대학교 전자공학과 (공학석사)
2002년 충남대학교 전자공학과 (공학박사)
1991년 ~ 현재 한국전자통신연구원 책임연구원/팀장
관심분야: RFID System, RTLS System, Network System

이 형 섭