무선 인식 시스템을 위한 고속 태그 충돌 방지 알고리즘†

이충희O, 김재현
아주대학교 전자공학과

High-speed Tag Anti-collision Algorithm for RFID System

Choong-Hee LeeO and Jae-Hyun Kim
School of Electrical and Computer Engineering, Ajou University
San 5 Woncheon-Dong, Youngtong-Gu, Suwon 443-749, Korea
{hedreams, jkim}@ajou.ac.kr

요 약

본 논문에서는 기존의 EPC Class 1 무선인식 시스템의 태그 인식 절차와 태그 충돌 방지 알고리즘을 분석하였으며, 태그 인식 속도를 향상시키기 위한 고속 충돌 방지 알고리즘을 제안한다. 고속 충돌 방지 알고리즘에서는 태그 인식 과정에서 태그의 충돌 정보를 이용하고, 기존의 알고리즘에서 존재하던 불필요한 절차를 생략하였다. 성능 평가를 위하여 기존의 알고리즘과 제안한 알고리즘을 수학적으로 분석하였고, 이를 시뮬레이션으로 검증하였다. 결과에 따르면, 고속 충돌 방지 알고리즘이 기존의 알고리즘에 비해 상당한 성능향상을 보임을 확인할 수 있었다.

1. 서론

무선 인식(RFID: Radio Frequency Identification) 기술은 다양한 영역에서 활용될 수 있는 유용한 기술이다. 무선 인식 시스템은 대게 리더, 수동 태그, 컨트롤러 등으로 구성된다. 리더는 전력, 저장 장치 등을 가지고 있으며, 자신의 인식 영역 안에 있는 태그들에게 무선 통신 채널을 통하여 명령을 전송하여 이들의 ID나 저장된 정보를 요청한다. 태그는 무선 채널을 통하여 리더로부터 전력을 얻고, 이를 간단한 내부 동작과 리더와의 통신에 사용한다. 무선 인식 시스템의 리더는 요청 명령을 브로드캐스트한다. 이 리더의 전송 범위 내에 있는 태그들은 명령에 따라 동작하여, 리더에게 응답을 전송하게 된다. 이때, 만약 하나의 태그만이 응답을 전송하게 되면 리더는 그 태그를 인식하게 되지만, 2개 이상의 태그가 응답하게 되면, 무선 채널 상에서 충돌이 발생하여 리더가 이를 인식할 수 없게 된다. 이러한 문제를 "태그 충돌 문제"라고 하며, 이러한 문제를 해결하는 능력은 무선 인식 시스템의 성능을 결정하는 중요한 요소 중의 하나이다[1]-[3].

본 논문에서는 860MHz-930MHz 대역에서 동작하는 EPC Class 1 무선 인식 시스템을 위한 고속 충돌 방지 알고리즘을 제안한다. [4]에는 충돌 방지 알고리즘에 대한 자세한 언급이 없기 때문에 직접 실험을 통하여 기존 시스템의 충돌 방지 알고리즘을 알아내었다. 이를 위해 리더 무선 단의 전송 파형을 관찰하고, 다시 명령어의 시퀀스로 바꾸는 방법을 사용하였다. 이렇게 알아낸 기존의 알고리즘을 성능 분석하기 위해 수학적인 분석을 통하여 명령어 전송 횟수와 태그 인식 시간을 구하고 이를 다시 시뮬레이션으로 검증하였다. 이러한 결과를 바탕으로 고속 충돌 방지 알고리즘을 제안하고, 두 알고리즘의 성능을 수학적인 분석과 시뮬레이션을 통하여 비교한다.

2. 기존의 충돌 방지 알고리즘

EPC CLASS 1 무선 인식 시스템에서는 리더의 인식 범위 내의 태그들을 8개의 가지들로 이루어지는 이진 트리 구조에 따라 인식한다. 그림 1은 리더의 범위 내에 5개의 태그가 존재할 때의 예이다. 선에 표시된 이진수는 태그 ID를 나타내며, 노드 안에 표시된 숫자는 같은 prefix를 가진 태그의 수를 나타낸다. 이 숫자가 1이면 그 노드에 해당하는 prefix로 명령어를 전송해 태그를 인식할 수 있고, 2 이상이면 충돌이 발생하기 때문에 태그를 인식할 수 없게 된다.

태그를 인식 할 때, 리더는 명령어와 prefix

†본 연구는 정보통신부 및 정보통신연구진흥원의 대학 IT 연구센터지원사업(IITA-2006-(C1090-0602-0011))의 연구결과로 수행되었으며, 또한 "건설생산성 향상을 위한 건설자재 표준화 연구"(과제번호 : 06 기반구축 A02)의 일환으로 건설교통부 건설기술기반구축사업의 연구비지원에 의해 수행되었습니다.

비트를 브로드캐스트한다. 리더의 인식 영역 내에 있는 태그들 중 prefix가 일치하는 태그들은 명령어에 해당하는 응답을 전송하게 된다. EPC CLASS 1 system에서 *PingID*와 *ScrollID*는 가장 중요한 명령어들이다. *PingID*는 충돌이 발생 했을 때 다수의 태그들을 구분하기 위해 전송되고, *ScrollID*는 태그를 인식하기 위해 전송된다. *PingID*를 받은 태그 중 prefix가 일치하는 태그들은 자신의 identifier tag memory(ITM) 중 prefix 다음부터 8 비트로 응답한다. 이때 8 비트 중 최상위 3비트에 해당하는 빈 슬롯(타임 슬롯)에 응답을 보내게 된다. 그림 2는 *PingID* 응답 타이밍을 나타낸 그림이다[4]. 빈 슬롯이 8개이기 때문에 그림 1의 트리 구조는 각 노드가 8개의 가지를 가진다. 또 하나의 중요한 명령어인 *ScrollID*는 전체 ITM을 전송하라는 명령어이다. 또한 기존의 시스템에서는 이 두 명령어들을 성공적인 태그 인식이 이루어진 이후에 확인을 위한 용도로 다시 전송하게 된다.

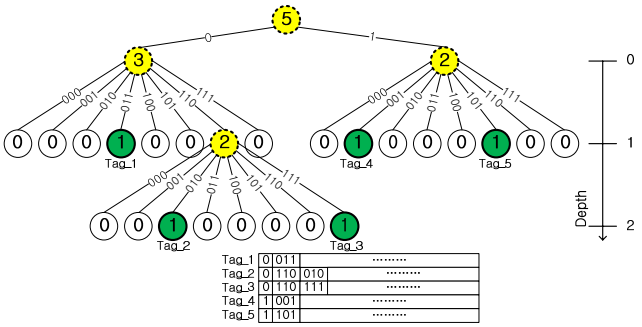

그림 1. 기존의 충돌 방지 알고리즘에서의 이진 트리 구조의 예

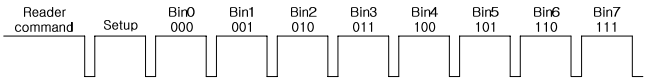

그림 2. *PingID* 응답 타이밍

본 논문에서는 Alien Technology Corporation의 ALR-9780을 기존의 시스템으로 선정하였다. Alien Technology Corporation은 RFID 시장에서 가장 큰 부분을 차지하는 회사 중 하나이다. 기존의 충돌 방지 알고리즘에서 특징적인 점을 정리해보면 3가지 정도로 요약할 수 있다. (1)빈 슬롯에 응답이 있을 경우 리더가 무조건 그 빈 슬롯에 해당하는 prefix를 가진 태그들에게 전체 ITM의 전송을 요구한다. (2)모든 성공적인 태그 인식 이후에는 확인을 위한 2개의 명령어 전송이 이루어진다. (3)태그 인식 과정에서 ITM의 구조가 중요한 역할을 한다. ITM의 태그 ID부분 앞에 Cyclic Redundency Check(CRC) 부분이 위치하기 때문에 인식할 태그들의 ID가 순차적으로 분포되어있건, 랜덤하게 분포되어있건 상관없이 태그 ITM들은 랜덤하게 분포하게 된다.

3. 고속 충돌 방지 알고리즘

본 논문에서는 리더가 *PingID* 응답에서 빈 슬롯 내의 충돌 정보를 알 수 있다고 가정하였다. 그림 3은 고속 충돌 방지 알고리즘의 순서도이다. LEN와 VALUE는 각각 prefix의 비트 수와 값이다. 기존의 알고리즘과는 달리 고속 충돌 방지 알고리즘에서는 리더가 빈 슬롯상의 충돌 유무에 따라 다르게 동작한다. 빈 슬롯에 충돌이 있을 경우, 기존의 알고리즘과는 달리 바로 *PingID*를 전송하여 다수의 태그를 구분하여 인식하게 된다. 빈 슬롯에 충돌이 없을 경우에는 기존의 알고리즘과 마찬가지로 *ScrollID*를 전송한다. 또한 고속 충돌 방지 알고리즘에서는 기존의 알고리즘에서 존재하던 각각의 태그 인식 이후의 확인을 위한 추가적인 명령어 전송을 생략하였다. 인식 과정에서 누락된 태그들은 반복되는 다음 인식 절차에서 인식되기 때문에 확인 절차를 생략하는 것이 시스템 성능상의 심각한 저하를 일으키지는 않는다.

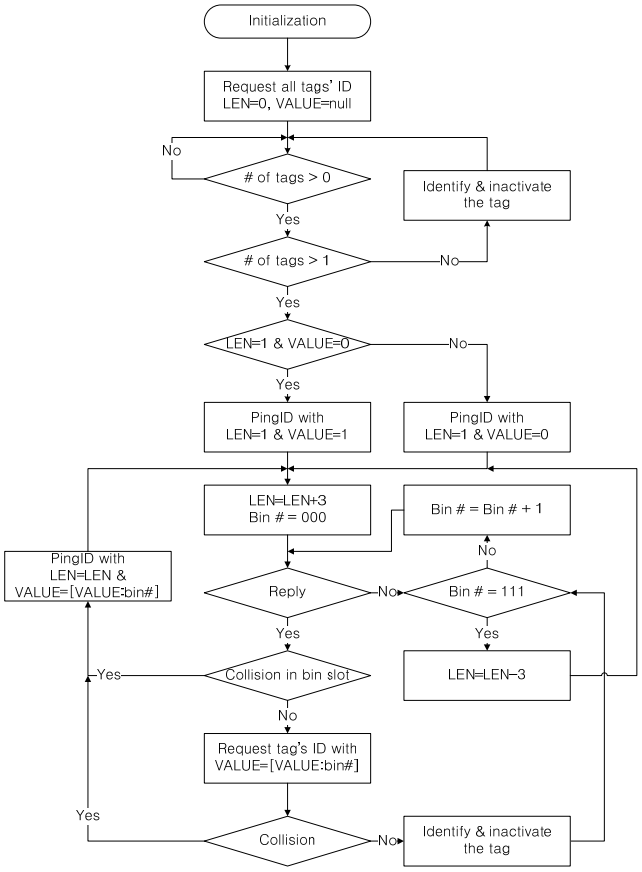

그림 3 고속 충돌 방지 알고리즘의 순서도

4. 성능 분석

이 장에서는 기존의 알고리즘과 제안하는 고속 충돌 방지 알고리즘의 성능을 분석한다. 이를 위한 성능 지표로 태그 인식 시간과 명령어 전송 횟수를 구한다. 먼저, 태그 인식 시간($T_{identification}$)은

$$T_{identification} = CW \times n_{total} + \frac{b_{reader}}{DR_{reader}} + \frac{b_{tag}}{DR_{tag}}, \quad (1)$$

이 때 *CW*는 continuous wave를 전송하는데 걸리는 시간이고, n_{tatal}은 모든 태그를 인식하는 동안의 전체 명령어 전송 횟수, b_{reader}는 리더로부터 전송되는 전체 비트 수, DR_{reader}는 reader-to-tag 전송률이다. b_{tag}는 태그로부터 전송되는 전체 비트 수이고 DR_{tag}는 tag-to-전송률이다. b_{reader}와 b_{tag}를 구하기 위해서 다음 두 장에서 기존의 알고리즘과 제안하는 알고리즘에서의 명령어 전송 횟수를 구하였다. 수학적인 방법은 [5], [6]과 유사한 방법을 사용하였다.

4.1. 기존의 충돌 방지 알고리즘

우선 depth가 *k*인 *ScrollID*와 *PingID* 전송횟수를 각각 IS_k와 IP_k(k =1,2,3,…)라고 하자. 이들을 구하기 위해 응답에서 생길 수 있는 경우들의 확률을 구하였다. *PingID* 응답을 받았을 때, 빈 슬롯에 응답이 있을 경우 기존의 알고리즘에서는 *ScrollID* 명령을 전송한다. 빈 슬롯에 응답이 있을 확률($P_{response}$)을 구하면

$$P_{response} = 1 - \left(\frac{r-1}{r}\right)^n \quad (2)$$

이다. 이때, r은 빈 슬롯의 개수이고 n은 인식할 태그의 개수이다. 만약 하나의 빈 슬롯 동안 하나의 태그만이 응답을 전송했다면, *ScrollID* 응답에서도 충돌 없이 태그를 인식하고 확인을 위한 *ScrollID*를 전송 할 것이다. 하나의 빈 슬롯 동안 하나의 태그만이 응답할 확률(P_{no_coll})은

$$P_{no\_coll} = n\left(\frac{r-1}{r}\right)^{n-1} \cdot \frac{1}{r}. \quad (3)$$

또, m을 전체 태그의 수, n_{bin}을 이진 트리 구조에서의 k depth에 해당하는 노드의 수라고 하면 IS_k는

$$\begin{aligned} IS_k &= n_{bin} \times P_{response} + n_{bin} \times P_{no\_coll} \\ &= 2r^k \cdot \left[1 - \left(\frac{r-1}{r}\right)^{\frac{m}{2r^{k-1}}} + \frac{m}{2r^{k-1}}\left(\frac{r-1}{r}\right)^{\frac{m}{2r^{k-1}}-1} \cdot \frac{1}{r}\right]. \end{aligned} \quad (4)$$

만약, 하나의 빈 슬롯 동안 2개 이상의 태그가 동시에 응답을 하였다면 *ScrollID* 응답에서 충돌이 발생할 것이고, 리더는 다시 *PingID*를 전송할 것이다. *ScrollID* 응답에서 충돌이 발생할 확률(P_{coll})은

$$\begin{aligned} P_{coll} &= P_{response} - P_{no\_coll} \\ &= 1 - \left(\frac{r-1}{r}\right)^n - n\left(\frac{r-1}{r}\right)^{n-1} \cdot \frac{1}{r} \end{aligned} \quad (5)$$

이다. 그리고 8개의 빈 슬롯들에 대한 인식이 끝났을 경우, 확인을 위해 마지막에 태그를 인식했던 prefix들로 *PingID*를 전송한다. IP_k는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} IP_k &= \left[n_{bin} \times P_{coll}\right]_{k=k} + \left[n_{bin} \times P_{no\_coll}\right]_{k=k-1} \\ &= 2r^k \cdot \left[1 - \left(\frac{r-1}{r}\right)^{\frac{m}{2r^{k-1}}} - \frac{m}{2r^{k-1}}\left(\frac{r-1}{r}\right)^{\frac{m}{2r^{k-1}}-1} \cdot \frac{1}{r}\right] \\ &\quad + 2r^{k-1} \cdot \left[\frac{m}{2r^{k-2}}\left(\frac{r-1}{r}\right)^{\frac{m}{2r^{k-2}}-1} \cdot \frac{1}{r}\right]. \end{aligned} \quad (6)$$

노드에서 태그 수의 기대 값이 1보다 작을 경우 남은 태그들에 대한 모든 인식이 완료된다고 가정하였다.

4.2. 고속 충돌 방지 알고리즘

제안한 알고리즘에서는 하나의 빈 슬롯 동안 응답이 있고, 충돌이 없을 경우 *ScrollID*를 전송한다. 이러한 경우는 2가지 경우가 있는데, 하나는 한 개의 태그만이 응답한 경우, 다른 하나는 다수의 태그들이 같은 8비트로 응답한 경우이다. 하나의 태그만이 응답할 확률(P_{tag_1})은

$$P_{tag\_1} = n\left(\frac{r-1}{r}\right)^{n-1} \cdot \frac{1}{r} \quad (7)$$

이고, 2개 이상의 태그가 응답할 확률($P_{tag\geq 2}$)은

$$P_{tag\geq 2} = 1 - \left(\frac{r-1}{r}\right)^n - n\left(\frac{r-1}{r}\right)^{n-1} \cdot \frac{1}{r} \quad (8)$$

과 같이 구할 수 있다. *PingID* 응답을 할 때, 각각의 태그들은 8비트 응답 중 최상위 3비트에 해당하는 빈 슬롯 동안 응답한다. 따라서 같은 빈 슬롯에 다수의 태그들이 응답해서 빈 슬롯 내의 충돌이 발생하지 않을 확률($P_{bin\_no\_coll}$)은 다음과 같다.

$$P_{bin\_no\_coll} = \left(\frac{1}{2^5}\right)^n \quad , n \geq 2. \quad (9)$$

빈 슬롯에서 충돌이 없었지만, *ScollID*응답에서 충돌이 발생할 확률은 $P_{bin_no_coll}$이고, 리더는 이 경우 다음 depth의 *PingID*를 전송한다. 계산에서는 $P_{bin_no_coll}$이 매우 작기 때문에 생략하였다. 따라서 IS_k는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} IS_k &= n_{bin} \times \left(P_{tag\_1} + P_{tag\geq 2} \times P_{bin\_no\_coll}\right) \\ &\approx n_{bin} \times P_{tag\_1} = 2r^k \cdot \left[\frac{m}{2r^{k-1}}\left(\frac{r-1}{r}\right)^{\frac{m}{2r^{k-1}}-1} \cdot \frac{1}{r}\right]. \end{aligned} \quad (10)$$

그리고, 마찬가지로 IP_k는

$$\begin{aligned} IP_k &= n_{bin} \times P_{tag\geq 2} \times \left(1 - P_{bin\_no\_coll}\right) \\ &\approx n_{bin} \times P_{tag\geq 2} \\ &= 2r^k \cdot \left[1 - \left(\frac{r-1}{r}\right)^{\frac{m}{2r^{k-1}}} - \frac{m}{2r^{k-1}}\left(\frac{r-1}{r}\right)^{\frac{m}{2r^{k-1}}-1} \cdot \frac{1}{r}\right] \end{aligned} \quad (11)$$

과 같이 구할 수 있다.

5. 수학적 분석과 시뮬레이션 결과

제안한 고속 충돌 방지 알고리즘과 기존의 알고리즘의 성능을 비교하고, 이를 시뮬레이션을 통해 검증하였다. 표 1은 수학적인 분석과 시뮬레이션에서 사용한 파라메터들이다[4],[7]. 태그 수는 50개부터 500개까지의 경우를 고려하였다. 수학적 분석에서는 태그 ID가 랜덤 하게 분포되었다고 가정하였고, 시뮬레이션에서는 순차적인 경우와 랜덤 한 경우를 모두 고려하였다.

표 1 시뮬레이션 파라메터

Parameter	Value
CW	0.064 msec
To(master clock interval)	0.025 msec
DRreader(1/To)	40 kbps
DRtag(2/To)	80 kbps
Transaction gap(1.25 To)	0.03125 msec
Tag setup period(8 To)	0.2 msec
Tag response period(64 To)	1.6 msec

수학적인 분석과 시뮬레이션 결과들을 그림 4부터 그림 6까지 나타내었다. 그림에서 선으로 표시된 부분은 수학적 분석결과이고, 심벌로 나타낸 부분은 시뮬레이션 결과이다. 수학적 분석 결과가 시뮬레이션 결과와 유사함을 확인 할 수 있다. 또, 태그 ID들의 분포가 랜덤 할 경우와 순차적일 경우의 시뮬레이션 결과값들도 매우 유사함을 볼 수 있는데, 그 이유는 ITM에서 태그 ID부분 앞에 CRC부분이 위치하기 때문에 태그 ID가 순차적으로 분포하더라도 전체 ITM은 거의 랜덤하게 분포하게 되기 때문이다. 그림 4와 그림 5는 *ScrollID* 전송 횟수와 전체 명령어 전송 횟수를 나타낸다. 명령어 전송 횟수는 전체 태그 수에 따라 거의 선형적으로 증가한다. 그림 4에서 500개의 태그를 인식하는 동안 *ScrollID* 전송 횟수는 기존의 알고리즘의 경우 1210번, 제안하는 알고리즘의 경우 500번이다. 이는 빈 슬롯에서의 충돌 정보를 이용함으로써 *ScrollID* 전송 횟수가 감소했음을 의미한다. 그림 5에서 500개의 태그를 인식하는 동안 전체 명령어 전송 횟수는 기존의 알고리즘의 경우 2410번, 제안하는 알고리즘의 경우 1200번으로 약 50.21%의 성능 향상을 확인 할 수 있다.

그림 6은 태그 인식 시간을 나타낸 그림이다. 500개의 태그를 인식하는데 기존의 알고리즘은 약 8.9초, 제안하는 알고리즘은 약 4.7초가 소요된다. 이를 바꾸어 계산해보면 기존의 알고리즘은 초당 약 56개, 제안하는 알고리즘은 초당 약 106개의 태그를 인식할 수 있음을 알 수 있다. 제안하는 알고리즘이 기존의 알고리즘에 비해 초당 태그 인식속도 면에서 약 89.2%의 성능 향상을 보임을 알 수 있다.

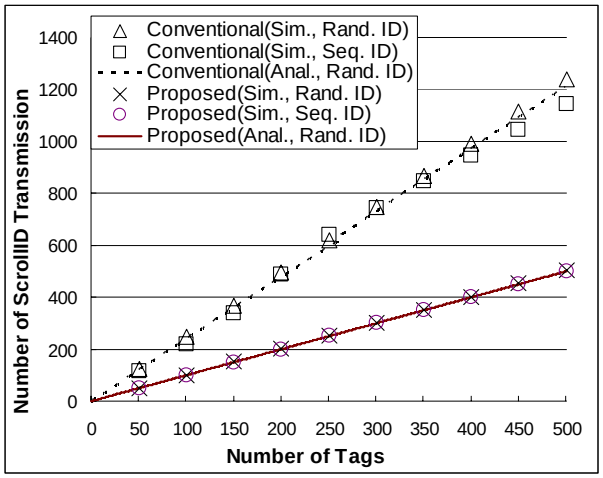

그림 4. *ScrollID* 전송 횟수

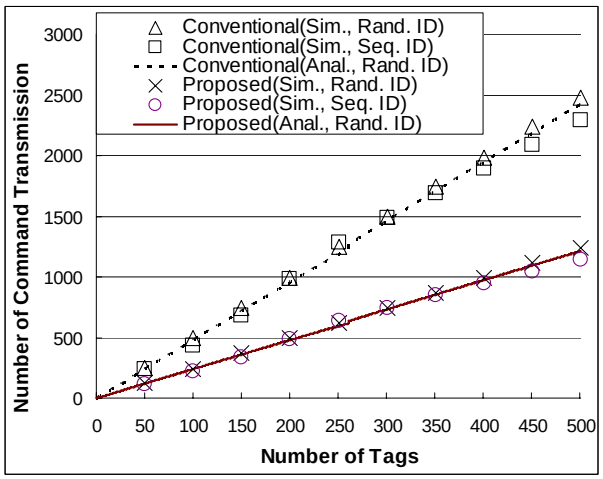

그림 5. 명령어 전송 횟수

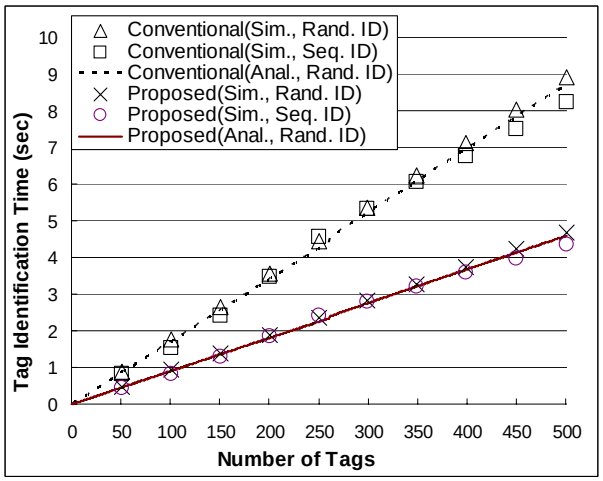

그림 6. 태그 인식 시간

6.결론

본 논문이 가지는 의미를 정리해보면 크게 3가지를 들 수 있다. (1)기존의 EPC Class 1 무선 인식 시스템의 태그 충돌 방지 알고리즘을 분석하였다. (2)태그 인식 속도를 향상시키기 위한 고속 충돌 방지 알고리즘을 제안하였다. 제안한 알고리즘에서는 빈 슬롯에서의 충돌 유무 정보를 이용하여 명령어 전송 횟수를 줄였으며, 불필요한 명령어 전송을 줄였다. 마지막으로 (3)성능 평가를 위하여 기존의 충돌 방지 알고리즘과 제안한 알고리즘을 수학적으로 분석하였으며, 이를 시뮬레이션을 통하여 검증하였다.

결과에 따르면, 고속 충돌 방지 알고리즘이 기존의 알고리즘에 비해 초당 태그 인식속도 면에서 약 89.2%의 성능 향상을 보였다. 따라서, 제안한 알고리즘을 실제 EPC Class 1 무선 인식 시스템에 적용한다면 짧은 시간에 더 많은 태그를 인식할 수 있을 것이다.

7. 참고 문헌

[1] H. Vogt, “Efficient Object Identification with Passive RFID tags,” *Lecture Notes in Computer Science 2414*:in *Proc. Pervacive,* Zürich, Switzerland, Aug. 26-28, 2002, pp.98-113.

[2] K. Finkenzeller, *RFID Handbook: Radio-Frequency Identification Fundamentals and applications*. John Wiley & Sons Ltd, 1999.

[3] S. Sarma, D. Brock, and D. Engels, “Radio frequency identification and electronic product code,” *IEEE MICRO,* 2001, pp. 50-54.

[4] Auto-ID Center, *Technical report 860MHz–930MHz Class I Radio Frequency Identification Tag Radio Frequency & Logical Communication Interface Specification Candidate Recommendation, Version 1.0.1.*

[5] 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.

[6] H. S. Choi, and J. H. Kim, “A Novel Tag identification algorithm for RFID System using UHF,” *Lecture Notes in Computer Science 3824: IEEE EUC*, Dec. 2005, pp. 629-638.

[7] EPCglobal, *EPC^{TM} Tag Data Standards Version 1.1 Rev.1.24,* Apr. 20