
Gen-2 RFID 시스템에서 가중치 차별화를 통한 슬롯 카운트 선택 알고리즘의 성능 향상

임인택*

Performance Enhancement of Slot-Count Selection Algorithm with Weight Differentiation in Gen-2 RFID Systems

Intaek Lim*

요 약

EPCglobal Class-1 Gen-2 RFID 시스템에서는 응답 슬롯의 상태에 따라 다음 질의 라운드의 슬롯 카운트 크기를 결정하는 슬롯 카운트 선택 알고리즘을 제안하였다. Gen-2 RFID 시스템의 슬롯 카운트 선택 알고리즘에서는 슬롯 카운트의 크기를 일정한 값을 가진 가중치 C만큼 증가 또는 감소시킨다. 슬롯의 상태와 무관하게 가중치 C의 값을 동일하게 적용함으로써 인하여 알고리즘이 단순한 장점이 있는 반면, 최적의 슬롯 카운트 크기를 유지하기 어려운 단점이 있다. 따라서 본 논문에서는 태그의 응답 결과에 따라 가중치 C의 값을 서로 다르게 적용한 적응적 슬롯 카운트 선택 알고리즘을 제안하고, 이에 대한 성능을 분석한다. 시뮬레이션을 통한 성능분석의 결과, 제안한 알고리즘은 충돌률이 Wang이 제안한 기법과 Gen-2 기법에 비하여 각각 42% 및 65% 정도 낮으므로 태그 식별 시간이 짧음을 알 수 있었다.

ABSTRACT

In EPCglobal Class-1 Gen-2 RFID system, a slot-count selection algorithm has been proposed to determine the slot-count size depending on the status of reply slot. In the slot-count selection algorithm of Gen-2, the slot-count value is increased or decreased by the weight C, which is identical and independent of the slot status. It has an advantage that the algorithm is simple, but it is difficult to maintain an optimal slot-count size. Therefore, in this paper, we propose an adaptive slot-count selection algorithm, which applies the parameter C differently based on the result of tag replies. Through simulations, it is demonstrated that the collision rate for the proposed scheme is about 42% and 65% lower than the schemes proposed by Wang and Gen-2. Therefore, the adaptive slot-count selection algorithm achieves faster tag identification time compared with the existing algorithms due to the low collision rate.

키워드

Gen-2 RFID, 슬롯 카운트, 가중치, 충돌방지 알고리즘, 다중태그 식별

Key word

Gen-2 RFID, Slot-count, Weight, Anti-collision algorithm, Multiple tag identification

* 종신회원 : 부산외국어대학교 임베디드IT학과 (교신저자, itlim@pufs.ac.kr)

접수일자 : 2010. 09. 02

심사완료일자 : 2010. 11. 05

I. 서 론

RFID 시스템에서 리더는 무선채널을 통하여 태그들과 통신하는데, 모든 태그들은 리더가 보낸 신호를 동시에 듣게 된다. 하나의 리더로부터 요청 메시지를 받은 태그들은 동시에 리더로 자신의 식별코드를 전송하기 때문에 태그 충돌(Tag collision)이 발생한다[1][2]. 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].

리더의 식별영역 내에 있는 태그들을 식별하기 위한 충돌방지 알고리즘은 크게 확률적 알고리즘과 결정적 알고리즘으로 구분된다. 확률적 알고리즘은 EPCglobal Class-1 Gen-2에서 사용하고 있으며[4], 슬롯 ALOHA 방식에 프레임 개념을 추가한 FSA(Framed Slot ALOHA) 알고리즘이 있다. 반면, 결정적 알고리즘은 915MHz 대역의 EPC Class 0에서 채택하고 있으며, 트리 검색 방식을 기반으로 하고 있다[5].

FSA 알고리즘의 효율을 최적화하기 위한 많은 연구가 진행되고 있는데, 이 중에서 DFSA(Dynamic FSA) 알고리즘은 리더의 식별영역 내에 있는 태그의 수를 기반으로 질의 라운드의 프레임 크기를 가변적으로 변화시키는 방식이다[6]. DFSA 알고리즘은 리더의 식별영역 내에 있는 태그의 수를 추정하는 방법과 추정된 태그 수를 기반으로 다음 프레임의 크기를 결정하는 방법으로 구성된다. 제안된 대부분의 DFSA 알고리즘은 태그의 수를 추정하여 알고리즘의 성능을 향상시키는 방향으로 연구되어왔다. 그러나 태그 수 추정 알고리즘의 많은 추정 오차로 인하여 최적의 프레임 크기를 할당했음에도 불구하고 알고리즘의 성능이 저하되는 문제점이 있다.

EPCglobal Class-1 Gen-2 표준안에서는 다음 질의 라운드의 슬롯 카운트를 선택하기 위한 방법으로 Q-알고리즘을 제안했다[4]. 제안된 Q-알고리즘에서는 태그의 수를 추정하지 않고 슬롯 카운트를 계산하기 때문에 다른 DFSA 알고리즘에 비하여 리더의 알고리즘이 비교적 단순한 장점이 있다. 하지만 슬롯 카운트를 조절하기 위한 가중치 C의 값은 최적화되어 있지 않고, 알고리즘 설계자의 몫으로 남아있다. 기존의 슬롯 카운터 선택 알고리즘에서는 응답 슬롯의 상태가 무응답이면 슬롯 카운트를 C만큼 감소시키고, 충돌이면 C만큼 증가시킨다. 하지만 Class-1 Gen-2 규격의 프레임 구조를 살펴보면, 슬롯이 충돌인 경우에는 무응답인 경우에 비하여 소요되는 슬롯 시간이 길다. 따라서 가급적이면 충돌이 적게 발생하도록 프레임 크기를 선택할 필요가 있다. 또한 일반적인 DFSA 알고리즘에서는 하나의 슬롯이 충돌일 확률은 무응답일 확률에 비하여 적게 나타난다. 따라서 본 논문에서는 슬롯의 상태가 충돌인 경우와 무응답인 경우에 따라 가중치 C의 값을 각각 달리하는 적응적 슬롯 카운터 선택 알고리즘을 제안하고, 시뮬레이션을 통하여 이에 대한 성능을 분석한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 기존의 EPCglobal Class-1 Gen-2의 충돌방지 알고리즘과 슬롯 카운터 선택 알고리즘을 기술하고, III장에서는 본 논문에서 제안하는 가중치 차별화 기법을 설명한다. IV장에서는 제안한 알고리즘의 시뮬레이션 결과를 기술하고, 마지막으로 V장에서는 결론을 맺는다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 기존의 EPCglobal Class-1 Gen-2의 충돌방지 알고리즘과 슬롯 카운터 선택 알고리즘을 기술하고, III장에서는 본 논문에서 제안하는 가중치 차별화 기법을 설명한다. IV장에서는 제안한 알고리즘의 시뮬레이션 결과를 기술하고, 마지막으로 V장에서는 결론을 맺는다.

II. Gen-2 RFID 시스템

1. Gen-2 충돌방지 알고리즘

Gen-2 충돌방지 알고리즘에서 태그를 식별하기 위한 질의 라운드는 Query 명령으로부터 시작되며, 질의 라운드동안 매 슬롯에 대한 식별은 QueryRep 명령으로 시작된다. 그림 1은 Gen-2에서의 태그 상태 천이도를 간략하게 나타낸 것이다. 먼저 태그가 리더의 식별영역 안으로 들어오면 Ready 상태가 되고 리더로부터 Query 명령을 받을 때까지 이 상태를 유지한다. 리더로부터 질의 라운드의 시작을 알리는 Query 명령을 수신하면 Query 명령에 있는 슬롯 카운트 크기 Q값을 이용하여 (0, 2Q-1)범위의 임의의 값을 선택하여 슬롯 카운터를 초기화한다. 슬롯 카운터가 0이 아니면 Arbitrate 상태로 천이하고, 0이면 RN16값을 리더로 송신하고 Reply 상태로 천이한다. Arbitrate 상태에 있는 태그는 QueryRep 명령을 받을 때마다 이를 감소시키며, QueryAdjust 명령을 받으면 Q값을 다시 조정하여 조정된 Q값을 이용하여 임의의 값을 선택하여 슬롯 카운터를 초기화한다. Reply 상태에 있는 태그가 ACK 명령을 받

으면 <PC, EPC, CRC-16>을 전송하고 Acknowledged 상태로 천이한다.

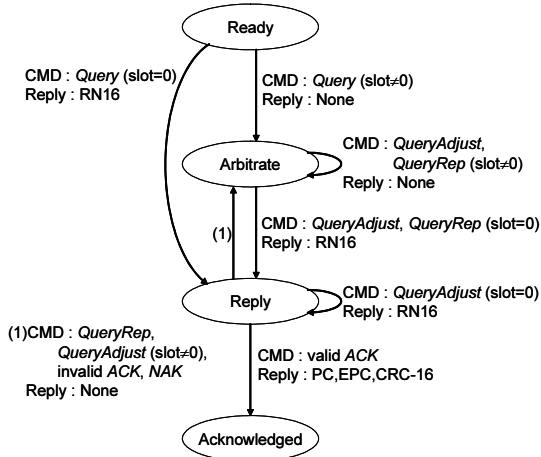


그림 1. 태그 상태 천이도
Fig. 1. Tag state transition diagram.

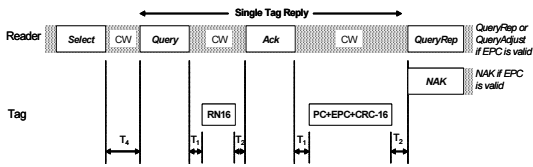


그림 2. 하나의 태그만 응답한 경우
Fig. 2. In the case of single tag reply.

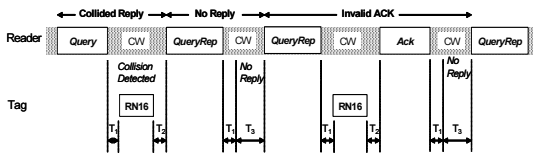


그림 3. 충돌 또는 응답이 없는 경우
Fig. 3. In the case of collision or no reply.

리더의 Query 또는 QueryRep 명령에 대한 응답으로 태그가 전송한 RN16의 성공적인 수신은 오직 하나의 태그만 응답한 경우이다. 반면, 응답이 없거나 여러 개의 태그들이 동시에 응답하여 충돌이 발생한 경우에는 실패로 간주된다. 그림 2와 3은 하나의 태그만 응답한 경우와 충돌이 발생했거나 응답이 없는 경우의 예를 각각 나타낸 것이다. 그림에서 나타낸 바와 같이 리더로부터의

Query 또는 QueryRep 명령에 오직 하나의 태그만 RN16으로 응답하면 충돌 없이 성공한 경우로서, 이 경우 리더는 ACK 명령을 전송하고, 태그는 자신의 <PC, EPC, CRC-16>으로 응답한다.

2. 슬롯 카운터 선택 알고리즘

Gen-2 RFID 시스템의 슬롯 카운트 선택 알고리즘은 질의 라운드를 2^Q 개의 슬롯인 프레임으로 구성하여 태그들로 하여금 2^Q 개의 슬롯 중에서 임의의 슬롯으로 응답하게 하여 태그의 충돌을 줄이는 것을 목표로 제시되었다. 그림 4는 EPCglobal Class-1 Gen-2의 슬롯 카운트 선택 알고리즘을 나타낸 것이다. 그림에서 나타낸 바와 같이 질의 라운드의 매 슬롯마다 슬롯의 상태에 따라 Query 명령의 인자인 Q 값의 실수 값인 Q_p 값을 갱신한다. 만일 슬롯에 충돌이 발생하면 이전의 Q_p 에 C 를 더하고, 빈 슬롯이면 이전의 Q_p 에 C 를 뺀 값을 Q_p 로 한다. 새로운 질의 라운드가 시작될 때, 리더는 매 슬롯마다 갱신한 Q_p 를 반올림한 값을 Q 값으로 하여 Query 명령을 전송한다. 여기서 C 는 Q_p 에 더하거나 빼는 값으로써, $0.1 < C < 0.5$ 범위의 값을 가진다. 일반적으로 Q 값이 큰 경우에는 C 값을 작게 하고, Q 값이 작은 경우에는 C 값을 크게 하는 것으로 제안하고 있다.

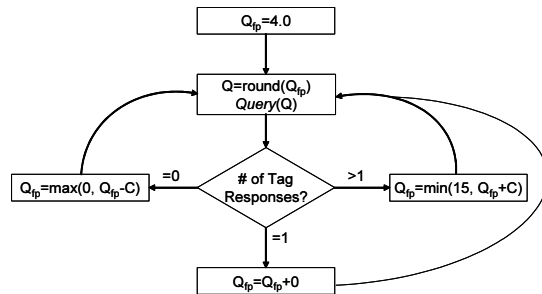


그림 4. 슬롯 카운트 선택 알고리즘
Fig. 4. Slot-count selection algorithm.

III. 가중치 차별화 기법

슬롯 카운트 선택 알고리즘에서 가중치 C 의 값을 크게 하면 프레임 크기는 빨리 최적의 상태로 접근할 수 있지만, 최적의 프레임 크기에서 프레임 크기 변동이 심하

게 발생할 수 있다. 반면, C 의 값을 적게 하면 프레임 크기는 최적의 크기에 빨리 접근할 수 없게 된다. 따라서 응답 슬롯의 상태에 따라 가중치 C 의 값을 서로 다르게 할 필요가 있을 것으로 보인다.

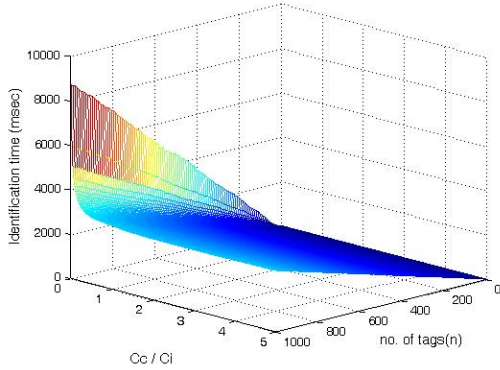


그림 5. C_c/C_i 비율에 따른 식별 시간
Fig.5. Identification time vs. C_c/C_i ratio.

그림 5는 슬롯 카운트 선택 알고리즘에서 응답 슬롯의 상태가 충돌일 경우에는 가중치를 C_c 로 하고 무응답일 경우에는 C_i 로 하여, C_c 와 C_i 의 비율에 따른 Gen-2 시스템의 식별시간을 나타낸 것이다. 시뮬레이션을 위한 매개변수의 값은 참고문헌 [7]과 같으며, 시뮬레이션을 위한 질의 명령은 다음과 같이 가정한다.

- 1) 응답 슬롯이 성공이면, QueryRep 명령을 전송
- 2) 응답 슬롯이 충돌 또는 무응답인 경우,
 - Q값이 변하면 QueryAdjust 명령을 전송
 - Q값이 변하지 않으면 QueryRep 명령을 전송

그림에서 나타낸 바와 같이 Gen-2 충돌방지 알고리즘의 식별시간은 C_c 와 C_i 의 비율에 따라 서로 다르게 나타나며, C_c/C_i 가 3이상에서는 거의 일정한 식별시간을 나타낸다.

Gen-2 시스템의 응답 슬롯 길이는 그림 3에서 나타낸 바와 같이 충돌일 경우와 무응답인 경우 각각 다르게 나타난다. T_c 와 T_i 를 각각 충돌일 경우와 무응답인 경우의 응답 슬롯의 길이라 하면, T_c 와 T_i 는 각각 다음과 같다.

$$T_c = T_1 + RM16 + T_2 \quad (1)$$

$$T_i = T_1 + T_3 \quad (2)$$

TRrate를 125Kbps로 가정할 경우 T_c 와 T_i 는 각각 336μsec, 80μsec로서 충돌 슬롯의 길이가 무응답 슬롯이 길이에 비하여 약 4.3배 길다. 따라서 가능한 한 충돌이 발생하지 않도록 프레임 길이를 선택할 필요가 있다.

FSA 알고리즘에서 하나의 슬롯이 충돌 또는 무응답일 확률 P_c 와 P_i 는 각각 다음과 같다.

$$P_c = \lim_{n \rightarrow \infty} \left[1 - \left(1 - \frac{1}{N} \right)^n \left(1 + \frac{1}{N} \right)^n \right] \quad (3)$$

$$= \left(1 - \frac{2}{e} \right)$$

$$P_i = \lim_{n \rightarrow \infty} \left(1 - \frac{1}{N} \right)^n \quad (4)$$

$$= \frac{1}{e}$$

여기서, N 은 한 프레임의 슬롯 수를 나타내고, n 은 식별영역 내에 있는 태그의 수를 나타낸다.

이상에서 살펴본 바와 같이 하나의 슬롯이 무응답일 확률은 충돌일 확률보다 높으므로 응답 슬롯의 상태에 따라 서로 다른 가중치를 슬롯 카운트 선택 알고리즘에 적용해야 할 것으로 보인다. 또한 응답 슬롯의 상태가 충돌일 경우, 무응답인 경우에 비하여 소요되는 슬롯 길이가 길기 때문에 충돌일 경우와 무응답인 경우에 적용하는 가중치 C 의 값을 서로 다르게 해야 한다. 따라서 본 논문에서는 충돌일 경우에는 가중치 C_c 를 적용하고, 무응답인 경우에는 가중치 C_i 를 적용하는 적응적 슬롯 카운트 선택 알고리즘을 제안한다.

제안하는 적응적 알고리즘의 기본적인 설계원칙은 다음과 같다. 충돌이 발생할 경우, 무응답인 경우에 비하여 소요되는 시간이 길기 때문에 가능한 한 빨리 슬롯의 수를 증가시킨다. 또한 하나의 슬롯이 무응답일 확률이 충돌일 확률에 비하여 크기 때문에 무응답이면 슬롯의 수를 천천히 감소시킨다. 따라서 제안하는 적응적 알고리즘은 C_c 값을 C_i 보다 크게 한다. 다음은 제안하는 적응적 알고리즘의 동작을 나타낸 것이다.

1) 초기 값

$$C_i = 0.1$$

$$C_c = \frac{T_c}{T_i} \times \frac{P_c}{P_i} \times C_i$$

2) 응답 슬롯이 성공인 경우, $C_i, C_c =$ 초기 값

3) 응답 슬롯이 충돌인 경우

$$C_i = 0.1$$

$$C_c = (1 + P_c) \times C_c$$

4) 응답 슬롯이 무응답인 경우

$$C_i = (1 + P_i) \times C_i$$

$$C_c = \frac{T_c}{T_i} \times \frac{P_c}{P_i} \times C_i$$

IV. 시뮬레이션 결과

본 논문에서는 시뮬레이션을 통하여 제안한 알고리즘의 성능을 분석하였다. 시뮬레이션을 위한 매개변수는 참고문헌 [7]과 같으며, 질의 명령의 전송은 III장에서 나타난 것과 동일하게 가정하였다. 본 논문에서 제안한 알고리즘의 성능 분석 결과는 Wang 등이 제안한 방법 [8] 및 Gen-2 알고리즘과 비교하여 나타내었다.

Wang이 제안한 방법은 충돌이 발생할 경우 프레임 길이를 길게 하고, 무응답일 경우에는 프레임 길이를 짧게 하여 빠른 식별을 하고자 하였다. 이를 위하여 충돌 슬롯과 빈 슬롯의 평균 길이를 계산하고, 빈 슬롯이 발생할 경우에는 Q_{fp} 를 C_1 만큼 감소시키고, 충돌이 발생할 경우에는 Q_{fp} 를 C_2 만큼 증가시키는 방법을 사용하였다. Wang이 제안한 C_1 과 C_2 는 다음과 같다.

$$C_1 = 0.1 \tag{5}$$

$$C_2 = \min(1.0, C_1 * Ave_T_{coll} / Ave_T_{idle}) \tag{6}$$

여기서 Ave_T_{coll} 과 Ave_T_{idle} 은 충돌 슬롯과 빈 슬롯의 평균 길이를 나타낸 것이다.

그림 6은 태그의 수에 따른 충돌률을 나타낸 것이다. 여기서, 충돌률은 모든 태그를 식별하기 위하여 소요된 총 슬롯 수에 대하여 충돌이 발생한 슬롯의 수에 대한 비율로 정의한다. 본 논문에서 제안한 방법은 가중치 C_c 와 C_i 값을 결정할 때 슬롯의 충돌 확률 및 빈 슬롯

확률을 고려하였다. 따라서 그림에서 나타난 바와 같이 제안한 적응적 슬롯 카운트 선택 알고리즘의 충돌률은 Wang과 Gen-2 방법에 비하여 각각 42% 및 65% 정도 적다.

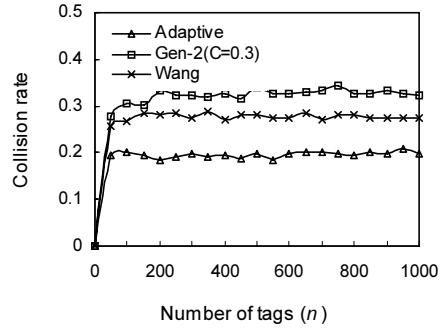


그림 6. 충돌률 비교

Fig.6. Comparison of collision ratio.

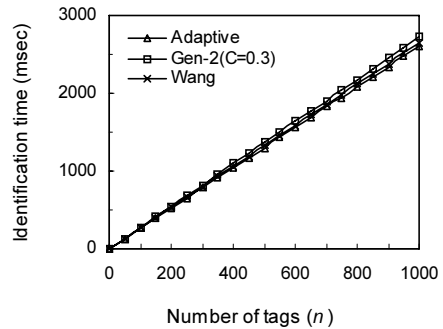


그림 7. 식별 시간 비교

Fig.7. Comparison of identification time

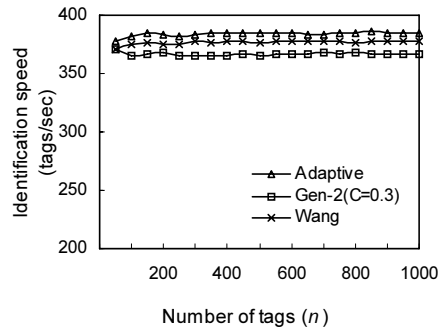


그림 8. 식별 속도 비교

Fig.8. Comparison of identification speed

그림 7과 8은 리더의 식별 영역에 있는 태그의 수에 따른 식별 시간 및 식별 속도를 나타낸 것이다. 식별 시간은 리더가 모든 태그들은 식별하는데 소요되는 시간을 의미하며, 식별 속도는 초당 리더가 식별하는 태그의 수를 의미한다. 그림에서 나타낸 바와 같이 본 논문에서 제안한 적응적 Q-알고리즘은 Wang 방법과 Gen-2 알고리즘에 비하여 각각 2% 및 4.5% 정보 우수한 성능을 나타낼 수 있다. 충돌 슬롯의 길이가 빈 슬롯의 길이에 비하여 길기 때문에 충돌 슬롯이 적으면 모든 태그를 식별하는데 소요되는 시간은 짧다. 따라서 그림 7에서 나타낸 바와 같이 제안한 알고리즘의 충돌률이 다른 두 방법에 비하여 적기 때문에 태그 식별 시간은 그림 7과 같이 적게 나타난다.

V. 결 론

Gen-2의 슬롯 카운트 선택 알고리즘에서는 응답 슬롯의 상태가 무응답이면 프레임 크기를 C만큼 감소시키고, 충돌이면 프레임 크기를 C만큼 증가시킨다. 하지만 Gen-2에서 충돌 슬롯의 길이는 무응답 슬롯의 길이에 비하여 길다. 또한 DFSA 알고리즘에서 하나의 슬롯이 충돌일 확률은 무응답일 확률에 비하여 적게 나타난다. 따라서 가급적이면 충돌이 적게 발생하도록 프레임 크기를 선택할 필요가 있다. 본 논문에서는 슬롯의 상태가 충돌인 경우와 무응답인 경우에 따라 가중치 C의 값을 각각 달리하는 적응적 슬롯 카운트 선택 알고리즘을 제안하고, 시뮬레이션을 통하여 이에 대한 성능을 Wang의 방법 및 Gen-2 방법과 비교 분석하였다. 성능 분석의 결과, 충돌률이 다른 기법에 비하여 낮으므로 태그 식별 시간인 짧음을 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] H. Vogt, "Efficient Object Identification with Passive RFID Tags," *First International Conf. on Pervasive Computing, LNCS*, vol.2414, pp.99-113, Springer-

Verlag, 2002.

- [3] W. Chen, and G. Lin, "An Efficient Anti-Collision Method for Tag Identification in a RFID System," *IEICE Trans Commun.*, vol.E89-B, no.12, pp.3386-3392, Dec. 2006.
- [4] EPCglobal, "EPC Radio-Frequency Identity Protocols Class-1 Generation-2 UHF RFID Protocols for Communication at 860 MHz-960MHz, Ver.1.2.0," *EPCGlobal Inc.*, Oct. 2008.
- [5] Auto-ID Center, "860MHz-930MHz Class 0 Radio Frequency Identification Tag Protocol Specification Candidate Recommendation, Version 1.0.0," June 2003.
- [6] B. Zhen, M. Kobayashi, and M. Shimizu, "Framed ALOHA for Multiple RFID Objects Identification," *IEICE Trans. Commun.*, vol.E88-B, no.3, pp.991-999, Mar. 2005.
- [7] I. Lim, "Performance Evaluation of Q-Algorithm with Tag Number Estimation Scheme," *International Journal of MICS*, vol.8, no.1, pp.45-50, Feb. 2010.
- [8] C. Wang, M. Daneshmand, and K. Sohraby, "A New Slot-Count Selection Algorithm for RFID Protocol," *Proc. of Chinacom 2007*, Aug. 2007.

임인택(Intaek Lim)

한국해양정보통신학회 논문지
제14권 제5호 참조