

항만 물류 시스템을 위한 RFID 태그 충돌 방지 프로토콜

이성로*, 이연우*, 주양익°

An RFID Tag Anti-Collision Protocol for Port Logistics Systems

Seong Ro Lee*, Yeonwoo Lee*, Yang-Ick Joo°

요 약

RFID 기술은 낮은 비용으로 유비쿼터스 환경을 구축할 수 있어 항만물류 IT 시스템에 적용되고 있으며, 항만물류 환경에서는 물류의 잦은 입출고에 따른 재고현황의 변동이 잦으므로, RFID 기술을 이용한 재고 및 입출고 현황 관리 기술은 항만물류 IT 시스템에 있어서 매우 중요하다. RFID 기술이 물류시스템에 적용되기 위해서는 저비용과 낮은 복잡도의 장점을 유지해야하지만, 이로 인해 복잡한 매체 접근 제어 기술을 적용하기 어렵게 되어 RFID 태그 간 충돌 문제가 발생하게 된다. 여러 RFID 충돌방지 기법이 제안되었지만, 현재 제안되고 있는 RFID 태그 충돌방지 기술은 RFID 태그의 이동성에 대한 고려가 부족하여 항만물류 환경과 같이 물류변동이 잦은 시스템에서는 RFID 식별 성능이 저하된다. 따라서 본 논문에서는 이러한 문제점을 극복하기 위한 효율적인 RFID 태그 충돌방지 프로토콜을 제안하며, 시뮬레이션 결과를 통해 제안된 방식의 효율성을 검증한다.

Key Words : RFID, anti-collision, tag identification, logistics

ABSTRACT

RFID technology is applied to port logistics applications since it monitors objects wirelessly without line of sight and constructs ubiquitous system with low cost. Changes of stock status in the warehouse environment make the technology more important for managing such frequent storing and un-storing. Although the RFID has beneficial characteristics of low cost and low complexity, simultaneous responses of RFID tags cause tag identification collision due to absence of elaborate medium access control scheme. Several algorithms have been proposed to overcome the tag collision problem. However, it is difficult to adopt the methods to the logistics systems that has varying loads since there was no consideration on RFID tag's mobility. Therefore, we propose an efficient RFID tag anti-collision protocol, and simulation results demonstrate performance improvement by using the proposed scheme.

I. 서 론

RFID (Radio Frequency IDentification) 기술은 반도체 및 무선통신 기술의 발달로 인해 꾸준히 발전해왔으며, 적은 비용으로 제품 손실을 방지하고

물류 상의 오버헤드(overhead)를 줄이기 위한 목적으로 물류, 유통 등의 다양한 분야에 적용되고 있다^[1].

RFID 시스템은 그림 1에 도시한 바와 같이 RFID 태그(tag) 정보를 읽어서 수집/관리하는 리더

* 이 논문은 2012년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 대학중점연구소 지원사업으로 수행된 연구임(2009-0093828)

° 이 논문은 2012학년도 한국해양대학교 신진교수정착연구비 지원을 받아 수행된 연구임

◆ 주저자 : 목포대학교 정보전자공학과, srlee@mokpo.ac.kr, 정회원

° 교신저자 : 한국해양대학교 전기전자공학부, yijoo@hhu.ac.kr, 정회원

* 목포대학교 정보통신공학과, ylee@mokpo.ac.kr, 중신회원

논문번호 : KICS2013-01-032, 접수일자 : 2013년 1월 14일, 최종논문접수일자 : 2012년 2월 19일

(reader)와 물품에 부착된 하나 이상의 태그로 구성되며, 임의의 리더의 영역에 속한 다수의 태그가 리더가 설정한 프레임(frame) 구간 내에서 모두 인식되어야 한다. 하지만 RFID의 장점인 낮은 복잡도를 유지하기 위해서는 복잡한 매체 접근 제어(Medium Access Control, MAC) 방식을 적용할 수 없으므로, 식별(identification) 과정에서 전송된 태그 ID들 간의 충돌이 빈번하게 발생한다. 이러한 RFID 식별 과정에서의 충돌 문제로 인한 태그 정보 수집 시간의 지연 문제는 RFID 시스템의 프라이버시 및 보안 문제²⁾와 함께 RFID 시스템에 존재하는 여러 문제점들 중 가장 중요시 되는 이슈이다. RFID 태그가 전송한 ID의 충돌 문제는 태그 식별 지연뿐만 아니라, 무선 자원의 낭비 및 RFID와 같은 소형 기기에서 중요한 문제인 에너지 효율성을 저하시키는 주된 요인이 된다. 따라서 이러한 충돌 문제를 최소화하기 위해 다양한 충돌 방지 프로토콜(anti-collision protocol)이 제안되어 왔으며, 이들은 Aloha 기반의 방식과 트리(tree) 기반의 방식으로 분류된다.

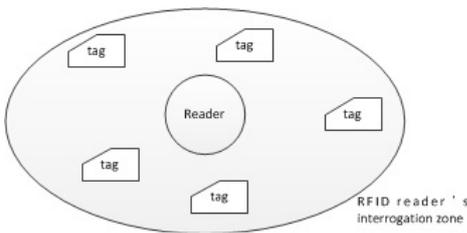


그림 1. RFID 시스템 구성
Fig. 1. RFID network configuration

Aloha 기반의 방식은 RFID 태그의 응답 시점을 랜덤하게 분포되도록 하여 충돌 확률을 낮추고자 하는 확률적 식별 방식으로, 트리 기반의 프로토콜에 비해 복잡도가 낮아서 RFID 기반의 센서 네트워크 구성 시 큰 장점이 있다³⁾. 현재까지 제안된 여러 Aloha 기반의 충돌 방지 프로토콜 중, DFSA (Dynamic Framed Slotted Aloha) 방식이 태그 수의 변화에 능동적으로 대처 가능하고 비교적 낮은 충돌 확률을 보이며, 식별된 태그가 더 이상 ID를 전송하지 않도록 하여 태그 식별 효율을 높여주는 muting 기법이 DFSA 방식에 접목된 DFSA with muting 방식이 복잡도 대비 높은 효율을 보이는 것으로 평가되고 있다⁴⁾. 트리 기반의 충돌 방지 방식은 충돌된 태그들을 이진 트리(binary tree)를 통해 두 그룹으로 나누고 이를 통해 충돌을 단계적으로

해결하는 방식으로, Aloha 기반 방식의 확률적 접근 방법이 갖는 태그 미인식 문제(tag starvation problem)를 개선하는 장점이 있다. 하지만 이 방식은 이진 트리가 충분히 분기되기 전 태그 식별 초기 단계에서의 많은 충돌로 인해 태그 식별이 지연되는 문제점을 가지고 있다⁴⁾.

하지만 현재까지 제안된 기술들은 항만물류 시스템과 같이 이동성을 갖는 태그에 대한 고려가 부족하여, 주기적인 태그 식별과정마다 충돌 해결(collision resolution)을 위한 식별 지연 시간이 반복하여 누적된다. 따라서 본 논문에서는 주기적인 물류 모니터링이 필요한 항만물류 환경에서 RFID 태그의 이동성을 고려한 효율적인 충돌 방지 알고리즘을 제안하고자 한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II 장에서는 기존 충돌 방지 알고리즘인 DFSA with muting 방식과 본 논문에서 제안하는 프로토콜에 대해 설명되며, III 장에서는 기존 방식과 제안된 방식에 대한 컴퓨터 시뮬레이션 결과를 제시하여 그 성능을 비교 분석하고, 끝으로 IV 장에서 결론을 맺는다.

II. DFSA with muting 충돌 방지 알고리즘

본 논문에서 기존 방식으로 고려하는 Aloha 기반의 충돌 방지 알고리즘인 DFSA with muting은 무선 채널이 슬롯(slot)으로 구분되어 있으며, 여러 슬롯이 하나의 프레임을 이루게 된다. 매 프레임이 종료되면 태그 추정 함수(tag estimation function)를 이용하여 현재 프레임 내 존재하는 태그의 수를 추정하고, 이를 바탕으로 다음 프레임의 크기를 결정한다. 이 때 최적의 프레임 크기는 추정된 태그의 수와 동일하게 결정된다⁵⁾. 이러한 하나의 프레임을 한 라운드(round)로 정의한다. 수차례의 라운드를 거쳐 모든 RFID 태그가 식별되면 식별 과정(identification process)이 종료된다.

리더로부터 프레임의 크기 정보가 수신되면, 태그는 프레임 내 임의의 한 슬롯에서 자신의 ID를 전송하며, 한 프레임동안 여러 태그로부터 ID를 수신한 리더는 슬롯마다의 ID 수신 성공 여부를 비트맵(bitmap) 형태로 설정하여 태그에 피드백하게 된다. 피드백된 비트맵의 한 비트가 '1'인 경우 해당 슬롯에서의 식별 성공을 나타내며, 이는 해당 슬롯에서 단 하나의 ID만이 수신되었음을 의미한다. 반면 해당 비트가 '0'인 경우는 둘 이상의 ID가 동일 슬롯에서 전송되어 충돌되었거나 하나의 ID도 수신

되지 못한 유희(idle) 상태이므로 식별 실패를 나타낸다.

M 개의 슬롯으로 구성된 프레임 내에 m개의 태그가 존재하는 경우, 해당 프레임 내에서 슬롯이 유희 상태일 확률, ID 전송이 성공할 확률 및 전송한 ID가 충돌할 확률은 각각 식(1) ~ 식(3)과 같다.

$$p_{idle} = \left(1 - \frac{1}{M}\right)^m \quad (1)$$

$$p_{success} = m \times \frac{1}{M} \times \left(1 - \frac{1}{M}\right)^{m-1} \quad (2)$$

$$p_{collision} = 1 - p_{idle} - p_{success} \quad (3)$$

항만물류 환경과 같이 물류의 이동을 지속적으로 모니터링하기 위해서는 이러한 RFID 식별 과정이 주기적으로 수행되므로, 식(3)에 주어진 충돌 확률을 따르는 지연이 매 식별 과정마다 반복하여 발생할 것이며, 이로 인한 RFID 식별 성능의 저하가 예상된다.

III. 제안 알고리즘

항만물류 환경에서는 물류의 이동을 지속적으로 모니터링하기 위한 식별 과정이 주기적으로 수행되므로, 기존 DSFA with muting 방식과 같이 태그의 이동성을 고려하지 않는다면 반복된 식별 과정에 대한 누적 지연 시간이 선형적으로 증가하게 된다. 본 논문에서는 이러한 지연 시간의 문제를 극복하기 위해 그림 2와 같이 이전 식별 과정에서의 식별 정보를 활용하는 방안을 제안한다. 제안된 방식에서는 식별 성공 슬롯의 수를 추적하기 위한 카운터와, 다음 식별 과정에서 식별 지연 시간을 단축하기 위해 태그 자신이 리더에 의해 성공적으로 식별된 순간의 카운터 값을 저장하는 과정이 도입되었다.

새롭게 식별 과정이 시작되면 각 태그는 자신의 카운터 값을 '0'으로 초기화하고, 새로운 라운드를 시작한다. 만약 이 때 이전 식별 과정에서 식별된 적이 있는 태그라면 저장된 카운터 값이 존재할 것이므로, 해당 카운터 값에 해당하는 슬롯에서 자신의 ID를 전송하고, 저장된 카운터 값이 없다면 기존 DFSA with muting 방식과 동일하게 주어진 길이의 프레임 내에서 랜덤하게 선택된 슬롯에서 자신의 ID를 전송한다. 저장된 카운터 값이 존재하는 경우라도, 새로운 식별 과정이 아니라면 이미 해당 식별 과정에서는 성공적으로 식별된 태그이므로

muting 상태로 진입한다.

태그의 ID를 수신한 리더는 II.1 절에 기술한 바와 같이 매 슬롯마다 수신된 태그의 ID 식별 여부를 판단하여, 해당 영역 내에 존재하는 태그에게 그 결과를 비트맵 형태로 피드백한다. 피드백 정보를 수신한 태그는 비트 '1'이 확인될 때마다 카운터 값을 '1'씩 증가시키며, 자신이 ID를 전송한 슬롯에 대해 비트 '1'이 수신되었음이 확인되면 그때의 카운터 값을 저장하고, 다음 식별 과정에서는 앞서 설명한 바와 같이 저장된 해당 카운터 값에 해당하는 슬롯에서 자신의 ID를 전송하여 충돌을 방지할 수 있다. 다시 말해서, 태그의 유입, 유출이 없는 상황에서는 최초 ID 식별 이후에는 식별 과정이 반복하여 수행되더라도 제안된 알고리즘을 통해 효과적으로 충돌을 방지할 수 있다. 하지만 태그의 유입, 유출 즉 이동성을 고려한다면 ID 전송 충돌 문제는 여전히 존재하여 이에 대한 고려가 필요하고, 이는 항만물류 환경과 같이 물류의 이동을 모니터링해야 하는 응용에서는 RFID 태그 식별 성능에 있어서 매우 중요한 문제가 될 수 있다.

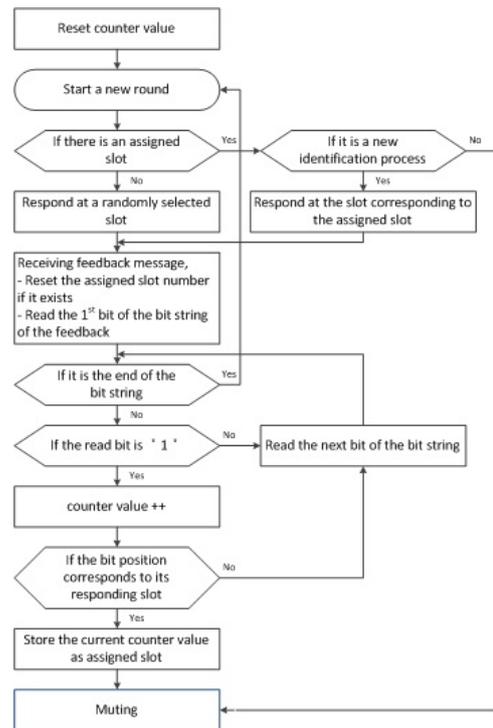


그림 2. 제안된 알고리즘
Fig. 2. The proposed algorithm

RFID 태그의 이동성을 고려하기 위해, RFID 리더의 영역 내부로의 태그 유입과 외부로의 태그 유

출로 나눠서 검토하며, 분석을 용이하게 하기 위해 태그의 유입과 유출은 하나의 식별 과정이 종료되는 시점에서만, 발생하는 것으로 가정한다. 즉, 식별 과정이 진행 중인 동안에는 태그의 이동이 없음을 가정한다. 먼저 태그의 유출에 대해 고려하면, 태그가 리더의 영역을 벗어난 경우에는 유출된 태그의 수만큼 유힬 슬롯이 발생하고 나머지 슬롯에서는 충돌없이 식별에 성공하므로, m_{leave} 개의 유출 태그에 대해 유힬 확률과 성공 확률이 식(4), 식(5)와 같고, 충돌 확률은 식(3)과 동일한 방법으로 혹은 직관적으로 0이 됨을 알 수 있다. 태그 유출에 의한 영향은 충돌을 발생시키지 않아서 추가적인 식별 지연을 야기하지 않고, 태그 유출 발생 직후 첫 번째 식별 과정에서만 유힬 슬롯을 발생시키므로 전체적인 RFID 태그 식별 성능에 미치는 영향은 크지 않다. 따라서 본 논문에서는 태그 유입의 영향을 중심으로 분석을 진행하고자 한다.

$$P_{idle,leave} = \frac{1}{M} \times m_{leave} \quad (4)$$

$$P_{success,leave} = \frac{1}{M} \times (M - m_{leave}) \quad (5)$$

태그 유입의 영향을 살펴보면, 모든 슬롯이 리더의 영역 내에 존재하던 정적(static)인 태그에 의해 사용되고 유입되는 태그에 의해 충돌이 발생하므로, m_{arrive} 개의 유입 태그에 대해 유힬 확률과 성공 확률이 각각 식(6), 식(7)과 같다. 충돌 확률은 식(3)과 동일한 방식으로 유힬 확률과 성공 확률을 이용하여 구할 수 있다.

$$P_{idle,arrive} = 0 \quad (6)$$

$$P_{success,arrive} = \frac{1}{M} \times \left[(m - m_{arrive}) + m_{arrive} \times \left(1 - \frac{1}{m_{arrive}} \right)^{m_{arrive}} \right] \quad (7)$$

이러한 RFID 태그의 이동성을 고려하여 기존 DFSA with muting 방식과 제안한 방식에 대한 태그의 식별 성공 확률을 도시하면 그림 3과 같다. 그림 3은 프레임의 길이를 300 슬롯으로 가정하고, 리더의 영역 내 최초 300 태그가 존재하는 상황에서 유입 태그의 수를 증가시키며 전체 프레임 길이에 대한 성공 슬롯 수의 비율을 측정한 결과이다.

그림에 도시한 바와 같이 유입 태그의 수가 증가함에 따라 두 방식 모두 성공 확률이 점차 감소함을 알 수 있으며, 제안된 방식의 성공 확률이 상대적으로 높음을 파악할 수 있다. 비록 제안된 방식의 성공 확률의 감소율이 DFSA with muting 방식에 비해 크지만, 비교적 많은 수의 태그가 유입되는 경우에서도 월등히 높은 성공 확률을 보이고 있다. 이는 제안된 방식에서 DFSA with muting 방식과 달리 최초 존재한 300개의 태그에게 식별 과정에서 슬롯 점유의 우선권을 갖도록 하여, 새로이 유입된 태그에 비해 채널 접속에 대한 낮은 충돌 확률을 보장하였기 때문이다.

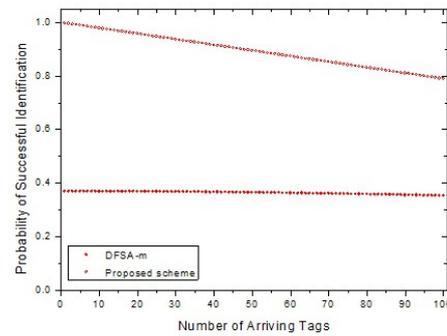


그림 3. 유입 태그의 수에 따른 태그 식별 성공 확률
Fig. 3. The probability of successful identification with varying number of the arriving tags

IV. 시뮬레이션 결과

본 절에서는 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 제안된 알고리즘과 기존 DFSA with muting 방식의 성능을 비교 평가하였다. 시뮬레이션 과정에서 최초 프레임 길이는 64 슬롯으로 설정되었으며, 이후 프레임 길이의 결정에는 산출 방식의 복잡도가 낮으면서도 비교적 정확도가 높은 Schoute 방식^[6]에 기반한 태그 추정 함수를 이용하였다.

그림 4는 태그 수의 변화에 따른 태그 ID 충돌 회수를 식별 과정이 완료될 때까지 누적하고, 20회의 식별 과정을 반복하여 평균을 취한 결과이다. 리더 영역 내부의 태그 수의 증가에 따라 충돌 회수가 두 방식 모두 증가하지만, 실선으로 표시한 DFSA with muting 방식에 비해 점선으로 표시한 제안된 방식은 그 증가율이 상대적으로 낮음을 알 수 있다. 즉, 태그 수가 많은 항만물류 응용 환경에서도 제안된 방식은 태그 ID 전송 충돌을 효과적으로 방지하여 식별 지연 성능을 개선할 수 있다.

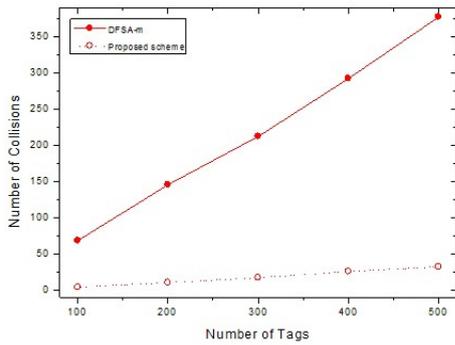


그림 4. 태그 수 변화에 따른 태그 ID 충돌 회수
Fig. 4. The number of collisions with varying the number of tags

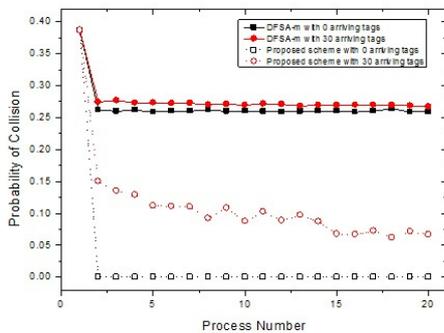


그림 5. 각 식별 과정 별 태그 ID 충돌율
Fig. 5. The collision rate at each identification process

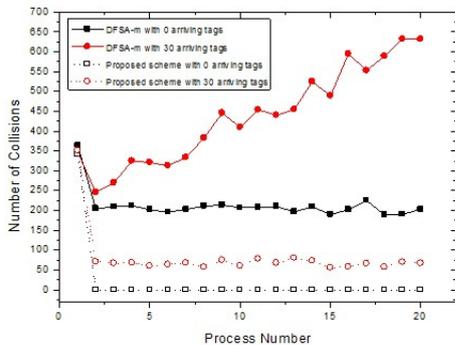


그림 6. 각 식별 과정 별 태그 ID 충돌 회수
Fig. 6. The number of collisions at each identification process

그림 5와 그림 6에서는 태그의 이동성을 고려한 태그 충돌 성능을 도시하였다. 그림 5에 300개의 태그가 존재하는 환경에서의 태그 충돌율을 도시하였다. 항만물류 환경에서는 태그 수의 변동은 크지만 물류 이동의 특성상 유입률은 비교적 일정하므로, 매 식별 과정마다 유입 태그가 없는 경우와 30

개의 태그가 일정하게 유입되는 경우를 구분하여 시뮬레이션 하였다. 시뮬레이션 결과, 첫 번째 식별 과정에서는 프레임 크기가 태그의 수에 비해 작고 이전 식별 과정에서의 식별된 슬롯 정보가 없으므로 기존 DFSA with muting 방식과 제안된 방식의 성능이 거의 동일하게 측정되었지만, 첫 번째 식별 과정 이후로는 제안된 방식의 충돌율이 낮게 측정되었으며, 특히 유입 태그가 존재하는 경우에도 제안된 방식의 성능이 우수함을 관찰할 수 있다. 유입 태그가 존재하는 경우에 대한 충돌율이 식별 과정을 거듭할수록 낮아지는 것은 증가된 태그 수로 인해 길어진 프레임 길이 대비 유입되는 태그의 수의 비가 식별 과정을 거듭할수록 낮아지기 때문으로 분석된다.

그림 6에는 300개의 태그가 존재하는 환경에서의 태그 충돌 회수를 식별 과정이 완료될 때까지 누적하고, 20회의 식별 과정을 반복하여 평균을 취한 결과를 도시하였으며, 그림 5와 마찬가지로 매 식별 과정마다 유입 태그가 없는 경우와 30개의 태그가 일정하게 유입되는 경우를 구분하여 시뮬레이션 하였다. 그림 4, 그림 5의 결과와 마찬가지로 제안된 방식의 성능이 월등히 우수함을 알 수 있으며, 유입 태그가 존재하는 환경에서도 DFSA with muting 방식은 충돌 회수가 증가하지만 제안된 방식에서는 태그 식별 과정이 완료될 때까지의 전체 충돌 회수가 비교적 일정하게 유지됨을 관찰할 수 있다. 따라서 본 논문에서 제안한 방식을 적용할 경우, 대상 물체의 이동성이 클 것으로 예상되는 항만물류 환경에서의 RFID 식별 성능을 개선할 수 있을 것으로 판단된다.

V. 결 론

본 논문에서는 항만물류 시스템과 같이 물류의 이동이 잦은 환경에 적용 가능한 충돌 방지 알고리즘이 제안되었고, 시뮬레이션을 통해 제안된 방식의 성능을 검증하였다. 제안된 방식은 이전 식별 과정에서의 식별 정보를 이용하여 RFID 태그 식별 과정의 지연 성능을 효과적으로 개선하였으며, 이러한 개선된 성능을 기존 DFSA with muting 방식의 성능과 비교 분석하였다. 제안된 방식은 비교적 적은 오버헤드를 추가하여 여러 RFID 시스템에 쉽게 적용 가능할 것이며, 이를 통해 보다 향상된 성능을 제공할 수 있을 것으로 판단된다. 그리고 향후 가변적인 항만물류의 변동을 고려하기 위해, 가변적인

유입률과 유출률을 반영한 성능 평가를 진행하고자 한다.

References

[1] D. K. Klair, K. -W. Chin, and R. Raad, "A survey and tutorial of RFID anti-collision protocols," *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 12, no. 3, 3rd quarter 2010.

[2] Tae-sung Kim, Kyung-ho Sohn, Kang-jin Yoon, and Young-yong Kim, "A management method for personal purchases in mobile RFID system," *The Journal of The Korean Institute of Communication Sciences*, vol. 35, no. 2, pp. 296-301, 2010.

[3] D. K. Klair, K. -W. Chin, and R. Raad, "On the suitability of framed Aloha based RFID anti-collision protocols for RFID-Enhanced WSNs," *The 16th IEEE International Conference on Computer Communications and Networks*, pp. 583-590, 2007.

[4] J. Myung, W. Lee, and J. Srivastava, "Adaptive binary splitting for efficient RFID tag anti-collision," *IEEE Commun. Letters*, vol. 10, no. 3, March 2006.

[5] J. -R. Cha and J. -H. Kim, "Novel anti-collision algorithms for fast object identification in RFID system," *The 11th International Conference on Parallel and Distributed Systems*, pp. 63-67, 2005.

[6] F. C. Schoute, "Dynamic frame length ALOHA," *IEEE Trans. Commun.*, vol. 31, no. 4, pp. 565-568, April 1983.

이 성 로 (Seong Ro Lee)



1987년 2월 고려대학교 전자공학과 공학사
 1990년 2월 한국과학기술원 전기및전자공학과 공학석사
 1996년 8월 한국과학기술원 전기및전자공학과 공학박사
 1997년 9월~현재 목포대학교 공과대학 정보전자공학과 교수

<관심분야> 디지털통신시스템, 이동 및 위성통신시스템, USN/텔레매틱스응용분야, 임베디드시스템

이 연 우 (Yeonwoo Lee)



1994년 2월 고려대학교 전자공학과 석사
 2000년 2월 고려대학교 전자공학과 박사
 2000년 10월~2003년 12월 영국 Edinburgh 대학교 Research Fellow

2004년 1월~2005년 8월 삼성종합기술원
 2005년 9월~현재 국립목포대학교 공과대학 정보통신공학과, 부교수
 <관심분야> 해상무선통신, e-Navigation, Cognitive Radio, 4G 이동통신

주 양 익 (Yang-Ick Joo)



1998년 2월 고려대학교 전자공학과 졸업
 2000년 8월 고려대학교 전자공학과 석사
 2004년 8월 고려대학교 전자공학과 박사
 2004년 9월~2012년 2월 삼성

전자 DMC 연구소 책임연구원
 2012년 3월~현재 한국해양대학교 전기전자공학부 조교수
 <관심분야> 무선자원관리, RFID, WPAN, VANET