

물리계층 정보와 릴레이 협력통신에 적용된 MAC 프로토콜 기반 물류 시스템연구

전동근*

Study on Logistics System based on Physical Layer Information and Relay Cooperative
Communication MAC Protocol

Dong-Keun Jeon*

요 약

물류창고 시스템에서는 물류의 입고/출고에 따른 재고현황의 변동이 잦고, 내용물에 따라 주위환경요소가 큰 영향을 미칠 수 있으므로, 재고현황 및 환경요소를 빠르고 정확하게 관리하는 것이 물류관리에 있어서 매우 중요하다. 하지만 현재 제안되고 있는 RFID 기반의 물류관리 시스템은 RFID 리더 간 통신에 대해 통일된 국제규격이 없고, 일반적으로 사용되는 중앙집중방식 MAC 방식의 경우 클러스터 헤더의 이동이나 채널 상황의 영향으로 인해 이 시간동안 각 노드 간 통신이 불가능하다. 따라서 본 논문에서는 채널 상황에 능동적으로 대처할 수 있는 물리계층 정보를 이용한 와이미디어 MAC 프로토콜 기반의 릴레이 협력통신 방안에 대한 결과를 제안한다.

ABSTRACT

In a warehouse, because there exist frequent changes of stock status and the quality of some contents are influenced by the environment such as temperature, fast and accurate management of the warehouse's environment is very important for Warehouse Management Systems. However, due to the absence of a unified standard for the communication protocol between RFID nodes and centralized MAC schemes for RFID communications in previous studies have severe problems. Therefore, in this paper, we propose a WiMedia MAC based RFID cooperative relay transmission scheme for warehouse management system applications.

키워드

Warehouse, Wireless Sensor Network, MAC, Cooperative Communication RFID
물류창고시스템, 무선센서네트워크, 맥, 협력통신, RFID

1. 서 론

RFID의 특징은 무선 전파를 이용하여 RFID 리더에서 tag의 정보를 읽을 수 있다는 점이다. 이러한 특징은 Line-of-Sight가 보장되지 않는 환경에서도

RFID 리더가 RFID 태그의 정보를 정확하게 인식하는 것을 가능하게 한다[1][2]. 이러한 RFID 기술이 가장 크게 활용되고 있는 분야가 물류시스템으로 RFID를 이용한 물류시스템은 물류의 재고 및 이동현황을 실시간으로 확인함으로써 인력을 최소화하고 효율적

* 교신저자(corresponding author) : 인천대학교 공과대학 메카트로닉스공학(dkjeon@incheon.ac.kr)

접수일자 : 2013. 10. 04

심사(수정)일자 : 2013. 11. 25

게재확정일자 : 2013. 11. 16

불일치로 인해 RFID 리더의 정보가 물류 시스템 서버에 전달될 수 없는 상황이 발생할 수 있다. 따라서 본 논문에서는 RFID 기반의 물류 시스템을 위한 RFID 리더 노드 간 통신을 위한 인증된 규격으로 WiMedia MAC 프로토콜을 선택하였다.

릴레이 기반 협력통신의 원리는 그림 2와 같이 예약 주체 노드(S node)와 예약 대상 노드(T node) 사이의 채널 상태가 좋지 않은 경우, 예약 주체 노드가 예약 대상 노드와 직접 통신하는 것보다 채널 상태가 상대적으로 양호한 릴레이 노드(R node)를 거쳐서 데이터를 송수신하는 것으로 이러한 릴레이 기반 협력통신은 전송지연시간 측면과 전력 소비 측면에서 이득을 발생시킨다.

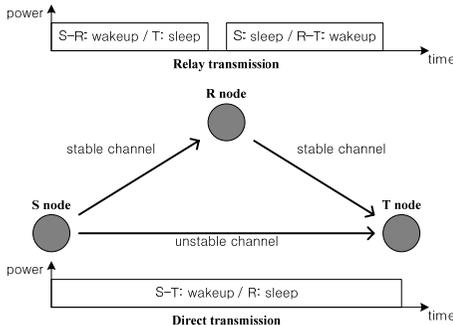


그림 2. 릴레이 기반 협력통신
Fig.2 Cooperative communication based relay

III. MAC 와이미디어 분산 MAC 프로토콜

와이미디어 MAC[6]은 그림 3과 같이 수퍼프레임(superframe)을 기반으로 전송이 이루어지며, 수퍼프레임은 BP(Beacon Period)와 DTP(Data Transfer Period) 구간으로 나누어진다. 다른 MAC 프로토콜과 달리 WiMedia MAC의 BP는 여러 디바이스가 자신의 비콘 프레임(Beacon frame)을 전송할 수 있도록 여러 개의 작은 비콘 타임슬롯(time slot)으로 나뉘어져 있다. 이는 네트워크내 장치를 빠르게 찾게 하고, 장치들 간의 동기화를 제공하고, 전원 관리를 위한 정보와 데이터 전송을 위한 MAS(Media Access Slot)들의 예약 정보를 제공한다.

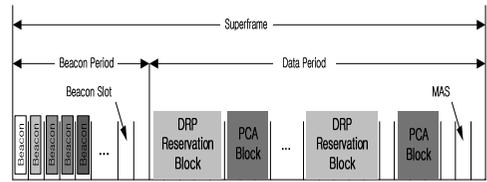


그림 3. WiMedia MAC 수퍼프레임 구조
Fig. 3 Superframe structure of WiMedia Mac

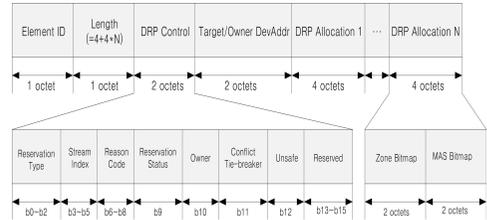


그림 4. DRP IE 포맷
Fig. 4 DRP IE format

비콘 프레임에 포함되어 전송되는 대표적인 IE (Information Element)로는 DRP(Distributed Reservation Protocol) IE와 DRP Availability IE가 있으며, 이를 통해 자원 예약 정보 및 제어 정보를 교환하여 자원을 예약한다. DRP IE는 자원 예약 요청 및 이에 대한 승인/거절을 통보하기 위한 목적으로 사용되며, DRP Availability IE는 각 노드가 예약 가능한 자원을 인접 노드들에게 비트맵(bitmap) 방식으로 공지하기 위해 사용된다[7].

표 1. 예약상세상태코드
Table 1. Reserved code

Value	Code	Mean
0	Accepted	DRP Request Agree
1	Conflict	DRP Collision
2	Pending	DRP Request Processing
3	Denied	DRP Denied
4	Modified	DRP Revised
5-7	Reserved	Reserved

그림 4에 도시한 DRP IE는 특정 MAS(Medium Access Slot)를 예약하고 이를 다른 노드들에게 알리기 위해 사용된다. 그림 4의 DRP 제어(Control) 필드

는 DRP 블록들 간의 충돌(conflict)을 감지하고 해결하기 위한 정보를 포함하며, 예약된 MAS를 통해 전송되는 스트림(stream)을 명시한다. 그림 4의 수신/송신디바이스주소 (Target/Owner DevAddr) 필드는 해당 디바이스의 주소를 표시하는데, 해당 DRP IE를 전송하는 디바이스가 예약 주체(reservation owner)인 경우 예약 대상 디바이스의 주소로 설정하고, 반대의 경우 예약 주체 디바이스의 주소로 설정한다[8]. 그림 4의 예약 방식 (Reservation Type) 필드는 완전배타적예약 (Hard reservation), 부분배타적예약 (Soft reservation) 등의 자원 예약의 종류를 나타내고, 스트림 인덱스 (Stream Index) 필드는 해당 예약 자원을 통해 전송될 데이터 스트림을 나타낸다. 그림 5의 예약상세상태코드 (Reason Code) 필드는 예약 대상 디바이스가 해당 DRP 예약이 성공적인지 여부를 표 1과 같이 표시하는데 사용된다. 이 중 'Accepted'는 예약 주체 노드가 DRP IE를 전송할 때에도 사용될 수 있다. 그림 4에서 예약 상태 (Reservation Status) 필드는 '0'인 경우 DRP 예약과정이 진행 중이거나 충돌이 발생한 것을 나타내며, '1'인 경우 DRP 예약을 승인하거나 기존 예약된 자원을 유지함을 나타낸다. 그림 4의 예약주체여부 (Owner) 필드는 예약 주체 여부를 나타내며, 충돌기준값 필드는 DRP 예약 요청 시 '0' 또는 '1' 중 한 값을 랜덤하게 선택하여, 충돌 발생 시 이를 해결하는 데에 사용된다. 그림 5의 안전성여부필드는 DRP 할당필드 내 표시된 MAS가 예약 한도를 초과할 것으로 판단되는 경우 '1'로 설정된다.

IV. 릴레이 협력통신 분산예약 프로토콜

본 절에서 설명할 릴레이 분산예약프로토콜(DRP)은 기존 WiMedia D-MAC과 호환되기 위해 앞서 설명한 WiMedia D-MAC 프로토콜을 준수한다. 릴레이 DRP는 표 1에서 설명된 예약상세상태코드 (Reason Code) 중 예외 (reserved)인 세 개의 코드 포인트 (code-point)를 이용하여 WiMedia D-MAC 프로토콜에서의 릴레이 협력 통신을 지원한다. 추가로 사용될 세 개의 예약상세상태코드 (Reason Code)는 표 2와 같다. 릴레이요청 ('Relay Req') 예약상세상태코드 (Reason Code)는 예약 주체 노드가 릴레이 노드에게

DRP 예약을 요청하기 위해 전송하며, 릴레이통보 ('Relay Ntf') 예약상세상태코드 (Reason Code)는 릴레이요청 ('Relay Req') 예약상세상태코드 (Reason Code)를 통해 요청한 자원이 릴레이 노드에 의해 승인될 경우, 예약 주체 노드가 예약 대상 노드에게 릴레이 노드를 통해 예약 대상 노드로 데이터가 릴레이 전송될 것을 통보하기 위해 사용한다. 릴레이요청 ('Relay Req') 예약상세상태코드 (Reason Code)를 수신한 릴레이 디바이스와 릴레이통보 ('Relay Ntf') 예약상세상태코드 (Reason Code)를 수신한 예약 대상 디바이스가 해당 릴레이 전송을 승인하는 경우 릴레이승인 ('Relay Accepted') 예약상세상태코드 (Reason Code)를 전송하며, 두 노드 모두 릴레이승인 ('Relay Accepted') 예약상세상태코드로 전송한 경우에만 요청한 릴레이 전송이 이루어질 수 있다[9].

표 2. 추가된 예약상세상태코드
Table 2. Addition reserved code

Value	Code	Mean
5	Relay Req	Relay Request
6	Relay Ntf	Relay Notice
7	Relay Accepted	Relay Accepted

그림 5, 그림 6, 그림 7에 각각 이러한 릴레이 전송을 위한 예약 주체 노드(S node), 릴레이 노드(R node), 예약 대상 노드(T node)의 동작을 기술하였다.

예약 주체 노드는 그림 5에 도시한 바와 같이 릴레이 노드와 예약 대상 노드의 DRP Availability IE를 수신하여, 예약 주체 노드와 릴레이 노드 간의 통신을 위한 MAS, 즉 MAS S-R과 릴레이 노드와 예약 대상 노드 간의 통신을 위한 MAS, 즉 MAS R-T가 사용 가능함을 확인하고, 이 때 예약 대상 노드로부터 수신된 비콘 신호의 수신레벨이 특정 문턱값(ThS-T) 미만인 경우 릴레이 전송위한 MAS 예약을 진행한다. 릴레이 전송을 위해 릴레이 노드에게는 MAS S-R에 대한 DRP IE의 예약상세상태코드 (Reason Code)를 릴레이요청 ('Relay Req')로 설정하여 전송하고, 예약 대상 노드에게는 MAS R-T에 대한 DRP IE의 예약상세상태코드 (Reason Code)를 릴레이통보 ('Relay

Ntf')로 설정하여 전송한다. 이 때 두 DRP IE의 스트림 인덱스 (Stream Index)는 동일하게 설정된다. 릴레이 노드 및 예약 대상 노드로부터 수신된 DRP IE의 예약상세상태코드 (Reason Code)가 모두 릴레이승인 ('Relay Accepted')인 경우, 해당 릴레이 노드를 통한 릴레이 전송이 이루어진다[10].

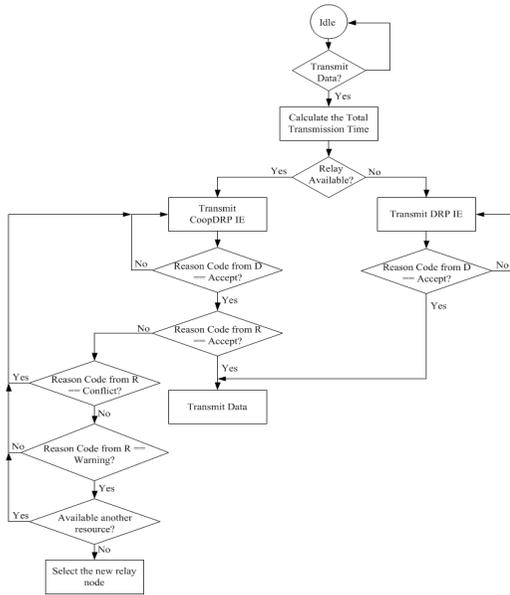


그림 5. 릴레이 전송을 위한 예약주체 노드(S node) 동작

Fig. 5 S node operation for relay transmission

릴레이요청 ('Relay Req')의 예약상세상태코드 (Reason Code)로 설정된 DRP IE를 예약 주체 노드로부터 수신한 노드는 그림 6과 같은 과정을 통해 릴레이 노드의 역할을 수행할지 판단하고 그에 대한 자원 예약을 수행한다. 예약 주체 노드의 DRP IE에 포함된 MAS S-R을 통한 데이터 송수신이 가능하다면, 릴레이통보 ('Relay Ntf')의 예약상세상태코드 (Reason Code)로 설정된 예약 대상 노드에 대한 DRP IE를 확인하여 해당 MAS R-T를 통한 데이터 송수신이 가능한지를 판단한다. 해당 릴레이 노드가 MAS S-R과 MAS R-T 모두 이용 가능하다면 릴레이 전송을 위한 MAS R-T 정보를 저장하고 릴레이승인 ('Relay Accepted') 예약상세상태코드 (Reason Code)로 설정한 DRP IE를 예약 주체 노드에게 전송한다.

만약 예약 대상 노드가 예약 주체 노드에게 전송한 DRP IE의 예약상세상태코드 (Reason Code)가 릴레이승인 ('Relay Accepted')라면 저장된 MAS R-T 정보를 이용하여 릴레이 전송을 수행하고, 그렇지 않은 경우 MAS S-R 및 MAS R-T에 대한 정보를 삭제한다.

그림 7에는 릴레이 전송을 위한 예약 대상 노드의 동작을 도시하였다. 릴레이통보 ('Relay Ntf')의 예약상세상태코드 (Reason Code)를 포함한 DRP IE를 수신한 예약 대상 노드는 MAS R-T 자원에 대한 허용 여부를 판단하여 이용 가능한 경우 릴레이승인 ('Relay Accepted') 예약상세상태코드 (Reason Code)로 설정된 DRP IE를 예약 주체 노드에게 전송한다. 릴레이 노드로부터 전송된 DRP IE의 예약상세상태코드 (Reason Code)가 릴레이승인 ('Relay Accepted')인 경우 MAS R-T를 통한 데이터 패킷의 수신을 준비하고, 그렇지 않은 경우 MAS R-T에 대한 정보를 삭제한다[11].

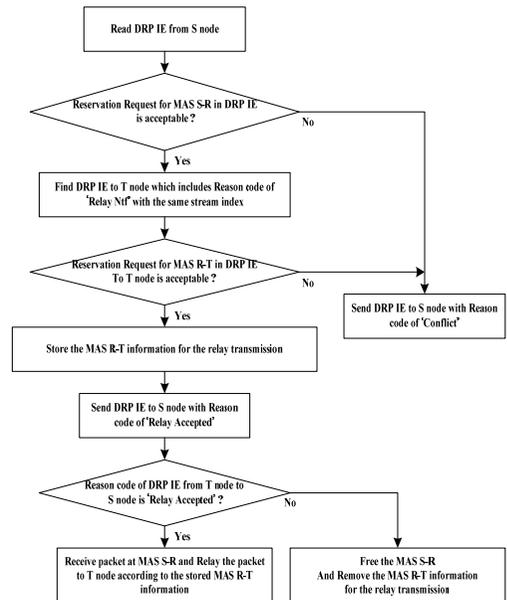


그림 6. 릴레이 전송을 위한 릴레이 노드(R node) 동작

Fig. 6 R node for relay transmission

그림 6과 그림 7에서 예약 주체 노드의 DRP IE를 수신한 릴레이 노드 혹은 예약 대상 노드가 릴레이

DRP를 지원하지 않는 기존 DRP 적용 디바이스 (Legacy node)라서 표 2에서 제안된 예약상세상태코드 (Reason Code)를 해석하지 못하는 경우, 해당 DRP IE를 통한 자원 예약 요청을 무시하게 되므로 본 논문에서 제안한 방식은 기존 시스템과의 호환성 (Backward Compatibility)이 보장된다.

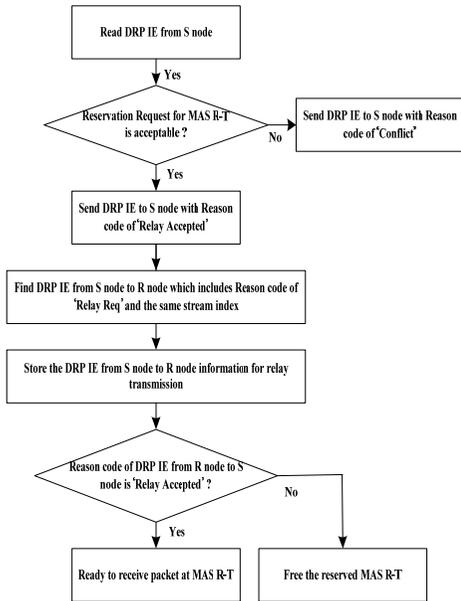


그림 7. 릴레이 전송을 위한 예약대상 노드(T node) 동작

Fig. 7 T node for relay transmission

V. 시뮬레이션 결과

제안한 릴레이 협력통신 프로토콜 방식의 성능 분석을 위해 다음과 같은 ns-2 시뮬레이션 환경을 고려하였다. 10m*10m의 물류 창고 내에 랜덤하게 분포한 RFID 리더를 가정하고, -41.25dBm/MHz의 고정 전송 전력과 2048 byte 크기의 패킷 전송을 고려한다 [12].

그림 8은 물류 창고 환경 내 RFID 리더 노드 수에 따른 수율 성능의 변화를 나타낸다. 제안한 릴레이 협력통신 분산예약프로토콜의 성능이 기존 방식에 비해 성능이 향상되었음을 보이며, RFID 리더 노드 수의 증가에 따라 보다 향상된 성능을 보인다[13]. 이것은 물류 창고 내 RFID 리더 노드 혹은 인프라 노드의

수가 증가됨에 따라 서로 중첩된 영역의 클러스터를 구축함으로써 채널 환경에 따라 각 노드 간 통신에 장애가 발생하는 경우 릴레이 분산예약프로토콜을 통한 릴레이 전송을 수행하여 각 노드 간 송수신 수율을 향상시키는 것으로 분석된다.

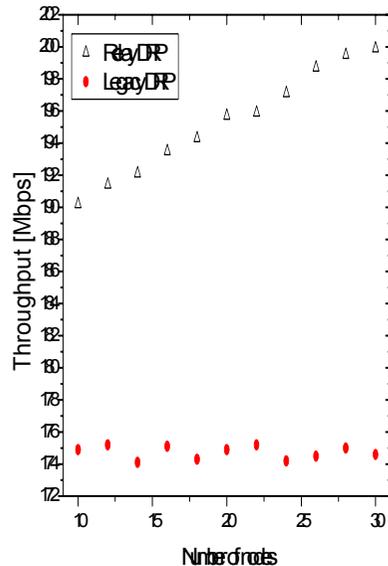


그림 8. 노드 수에 따른 수율 성능
Fig. 8 Yield rate performance following node amount

20개의 RFID 리더 노드 및 인프라 노드가 존재하는 경우 채널 환경에 따른 수율의 변화는 그림 9에 보였다. 채널 환경이 악화됨에 따라 수율 성능은 저하되지만, 제안한 릴레이 협력통신 프로토콜의 경우 기존 방식에 비해 성능저하의 정도가 심하지 않다. 릴레이 협력통신 분산예약프로토콜 방식에 대한 성능의 BER $10^{-3} \sim 10^{-4}$ 구간을 살펴보면, 이전 구간에 비해 성능 저하의 정도가 심해짐을 알 수 있다. 이는 물류 창고 시스템 내 모든 디바이스들 간의 채널 환경이 열화됨에 따라 릴레이 전송을 통해서도 안정적인 채널을 획득하지 못하게 되고, 이로 인해 릴레이 분산예약프로토콜 방식의 수율도 기존 방식과 유사하게 저하되는 것이다.

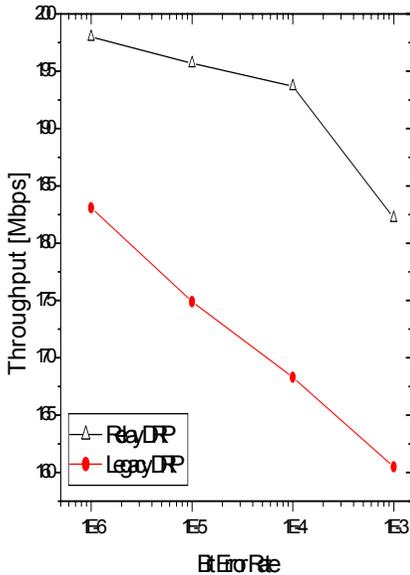


그림 9. 채널 환경에 따른 수율 성능
 Fig. 9 Yield rate performance following channel environment

VI. 결 론

본 논문에서는 물류 시스템을 위해서 와이미디어 분산 MAC 기반의 릴레이 협력통신 분산예약프로토콜 방식을 제안하였다. 기존의 RFID 기반 물류시스템에서의 문제점인 연동문제를 해결하고, RFID 리더의 이동성 보장문제를 해결하기 위하여 리더 간의 통신 방식으로 와이미디어 D-MAC기반의 협력통신 프로토콜을 제안하였다. 이를 통해 보다 신뢰성 있고 안정적인 정보전달을 구현하였음을 시뮬레이션 결과를 통하여 제시하였다. 결과적으로 RFID 노드 수에 따른 수율 성능과 채널환경에 따른 수율성능에서 제안한 방식의 적용이 성능향상을 얻을 수 있음을 확인하였다. 따라서 제안한 방식을 기반으로 하는 물류시스템의 적용은 향후 유연하게 활용이 가능할 것으로 예상된다.

감사의 글

이 논문은 인천대학교 2012년도 자체연구비 지원에 의하여 연구되었음

참고 문헌

- [1] Weinstein. R., "RFID: a technical overview and its applications to the enterprise", IT Professional Vol. 7, Issue 3, pp. 27-33, 2005.
- [2] Amit Dhir, "The Home Networking Revolution", XILINX, pp. 6-10. 2005.
- [3] Jennifer L. Wong, Miodrag Potkonjak, "Search in Sensor Networks : Challenges, Techniques, and Applications", IEEE, pp. IV-3752, 2008.
- [4] Turston Brooks, "Wireless Technology for Industrial Sensor and Control Networks", Sicon'01 Sensors for Industry Conference, pp. 73, 2001.
- [5] Sang-Hak Lee, "Video Flame Detection with Periodicity Analysis Based False Alarm Rejection", The Journal of The Korea Institute of Electronic Communication Sciences, Vol. 6, No. 4, pp. 479-485, 2011.
- [6] Deboarah Estrin, Ramesh Govindan, John Heidemann, "Scalable Coordination in Sensor Networks", USC Technical Report, pp. 3, 1999.
- [7] WiMedia MAC Release Spec. 1.5, "Distributed Medium Access Control (MAC) for Wireless Networks," October 5, 2009. <http://www.wimedia.org/en/index/asp>.
- [8] Charles E. Perkins, "Ad hoc Networking," Addison Wesley, 2010.
- [9] Kyeong-og Kim, Kyeong-jin Ban, Su-yeon Heo, Eung-kon Kim, "Design and Implementation of System for Sensing Data Collection in RFID/USN", The Journal of The Korea Institute of Electronic Communication Sciences, Vol. 5, No. 2, pp. 221-226, 2010.
- [10] Jennifer Bray, Charles F. Sturman, "Bluetooth Connect without Cables", Prentice Hall, 2001.
- [11] Beom-Joon Kim, "Service Quality Criteria for Voice Services over a WiBro Network", The Journal of The Korea Institute of Electronic Communication Sciences, Vol. 6, No. 6, pp. 823-829, 2011.
- [12] E. Shih, Seong-Hwan Cho, Nathan Ickes, Rex Min. "Physical Layer Driven Protocol and Algorithm Design for Energy-Efficient Wireless Sensor Networks," Commun. ACM, pp. 272-286, 2011.
- [13] K. Sahrabi, J. Geo, Y. Ailawadhi, G. Pottie, "Protocols for Self-Organization of a Wireless

Sensor Network," Proc. ACM Mobicom 99,
pp. 174-175, 2010.

저자 소개



전동근(Dong-Keun Jeon)

1986년 고려대학교 전자공학과 졸업
(공학사)

1988년 고려대학교 대학원 전자공학
졸업(공학석사)

1992년 고려대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학박사)

2013년 인천대학교 기계시스템공학부 메카트로닉스공
학 교수

※ 관심분야 : 이동통신시스템, 센서네트워크통신