

ISO/IEC 18000-7 433MHz 능동형 RFID 시스템 기반의 인식거리 향상을 위한 멀티홉 릴레이 시스템

준회원 홍성현*, 송인찬*, 장홍*, 종신회원 장경희*, 정회원 신동범**, 이형섭**

ISO/IEC 18000-7 433MHz Active RFID System-based on Multi-hop Relay System for Coverage Extension

SungHyun Hong*, InChan Song*, Hong Zhang* *Associate Members*,
KyungHi Chang* *Lifelong Member*, Dong-Beom Shin**, Heyung-Sub Lee** *Regular Members*

요약

본 논문에서는 능동형 RFID 시스템인 ISO/IEC 18000-7 및 ISO/IEC 18000-4 시스템에 대하여 살펴보고, 능동형 RFID 태그로 구성된 센서 네트워크에서 인식거리 향상을 위해 능동형 RFID 릴레이 태그를 사용하는 RFID 멀티홉 릴레이 시스템을 제안한다. 기존 ISO/IEC 18000-7 시스템과 제안된 RFID 멀티홉 릴레이 시스템의 성능평가를 위하여 Sensitivity에 의한 인식거리 및 시스템 효율과 같은 항목을 새롭게 정의하며, MCL (Minimum Coupling Loss) 분석과 SLS (System Level Simulation) 분석을 통해 제안된 시스템의 성능을 비교 및 분석한다.

Key Words : ISO/IEC 18000-7; RFID; Multi-hop relay; Active; USN.

ABSTRACT

In this paper, we analyze the active RFID systems ISO/IEC 18000-7 and ISO/IEC 18000-4. In order to improve the coverage in sensor networks, which consist active RFID tag, we propose RFID multi-hop relay system using active RFID relay tag. To compare the performance between the existing ISO/IEC 18000-7 system and the proposed RFID multi-hop relay system, we introduce new system efficiency measure and sensitivity-based measure of achieved coverage. Also, we analyze the performance of the proposed system and compare it with that of the existing system through MCL (Minimum Coupling Loss) analysis and SLS (System Level Simulation) analysis.

1. 서론

유비쿼터스 네트워크의 핵심은 언제 어디서나 끊임없이 전체 네트워크에 연결되어 있어 어떤 상황에서든 받을 수 있음을 의미한다. 이를 구현하는 대표적인 기술로는 무선통신 네트워크 시스템이며 RFID와 USN 기술이 이에 속한다.

RFID (Radio Frequency Identification)는 각종 물품에 소형 칩을 부착하여 사물의 정보와 주변 환경정보를 무선주파수로 전송하여 처리하는 비접촉식 인식시스템으로써 기존 바코드의 단점을 보완하여 사물의 정보화를 촉진함으로써 향후 USN 환경의 핵심 기술로 활용될 전망이다.

USN (Ubiquitous Sensor Network)은 RFID / Sensor

* 본 연구는 지식경제부 및 정보통신연구진흥원의 IT신성장동력핵심기술개발사업의 일환으로 수행하였음. [2005-S-106-03, RFID/USN-용 센서 태그 및 센서 노드 기술]

* 인하대학교 정보통신대학원 이동통신연구실 (akaraba@naver.com, ny10023@hanmail.net, zhanghong.email@gmail.com, khchang@inha.ac.kr),

** 한국전자통신연구원 (sdb@etri.re.kr, leehs@etri.re.kr)

논문번호 : KICS2009-02-052, 접수일자 : 2009년 2월 10일, 최종논문접수일자 : 2009년 5월 6일

Field와 IPv6기반의 BcN (Broadband Convergence Network)의 결합으로 이루어지는 네트워크로서 최근 USN 관련 기술개발이 활발히 이루어지면서 이를 이용한 응용사례가 지속적으로 증가하고 있다. USN은 개별 센서노드 상에 환경정보를 센싱하는 센서, 이를 처리하는 연산모듈, 외부 센서노드 혹은 싱크 노드 (Sync Node) 역할을 하는 데이터 수집 장치로의 전달을 위한 통신모듈을 기본 구성으로 하고, 무선통신 기술을 기반으로 센서들끼리 자율적인 무선 네트워크를 구성하고 사물 및 환경에 관련된 대용량 센싱 데이터들을 전송, 취합, 저장, 분석하여 사용자의 현재 상황에 맞는 정보를 적절히 제공해 줄 수 있는 기술 및 첨단 지능형 서비스이다.

RFID는 유비쿼터스 사회를 구현하는 핵심기술로서 정부가 신성장동력산업의 일환으로 강력한 지원 의지를 갖고 있는 분야이다. 실제로 규모는 크지 않지만, 다방면에서 시범사업을 진행하고 있고 점차 사업규모도 확대되고 있는 추세다. 특히, 최근 이슈로 부각되고 있는 u-City 개발과 연계해서 그 활용 방안과 기능, 성과 등에 대해 논의가 활발하게 진행되고 있다¹⁾.

RFID 시스템은 리더와 태그로 구성된다. 태그는 송신하는 전파의 에너지를 얻는 방법에 따라 수동형 (Passive), 반능동형 (Semi-Active 또는 Semi-Passive 라고도 함) 및 능동형 (Active)으로 구분할 수 있으며, 수동형은 리더로부터 수신되는 전파에서 동작· 송신 에너지를 얻고, 반능동형은 수동형 방식에 배터리를 추가하여 인식거리를 향상시킬 수 있으며, 능동형은 별도의 배터리에서 동작· 송신 에너지를 얻어 자체 송신기로 정보를 송신한다.

공항이나 항만의 Pallet, 컨테이너 관리, 공장의 부품 관리 등과 같이 긴 인식거리가 필요한 다양한 분야에 능동형 RFID 기술이 선택적으로 적용되고 있다. 그렇지만 능동형 RFID 시스템은 시스템비용이 높은 단점이 있다. 이러한 단점을 보완하기 위해, 릴레이 태그를 이용하여 값비싼 리더의 사용을 줄이며 인식거리도 향상시킴으로써 시스템 구성비용을 절감하는 방법을 제안하고자 한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 우선 II장에서는 능동형 RFID 무선 프로토콜인 ISO/IEC 18000-7과 ISO/IEC 18000-4를 소개하고, III장에서는 능동형 RFID 태그로 구성된 센서 네트워크에 능동형 RFID 릴레이 태그를 사용하여 시스템의 인식거리 및 성능을 향상시키기 위한 능동형 RFID 기반의 멀티홉 릴레이를 제안한다. 그리고 IV, V장에서 시뮬레이션을

통해 이를 확인하고 본 논문의 결론을 도출한다.

II. 능동형 RFID 표준

능동형 RFID는 ISO/IEC JTC 1/SC31에서 ISO/IEC 18000-7을 통하여 UHF (433 MHz) 대역을 사용하는 것으로 규정하였으며, 컨테이너에 부착되는 eSeal의 주파수도 UHF (433 MHz)로 결정되었으나 2006년 6월 eSeal의 국제 표준을 다루는 ISO TC104에서 UHF (433 MHz)와 M/W (2.45 GHz) 대역을 동시에 사용하도록 표준을 수정함에 따라 이에 따른 수정이 불가피하게 되었다. UHF 대역의 경우 ISO/IEC 18000-7의 무선인터페이스를 기본적으로 따르며, M/W 대역은 ISO/IEC SC31/WG5의 RTLS 표준인 ISO 24730-2의 무선인터페이스 규정을 준수하도록 하고 있다²⁾.

II 장에서는 능동형 RFID 무선 프로토콜인 ISO/IEC 18000-7과 반능동형 방식의 Mode2를 지원하는 ISO/IEC 18000-4에 대하여 알아보하고자 한다.

2.1. ISO/IEC 18000-7 433MHz 능동 무선인터페이스

UHF (433MHz) 대역의 능동형 RFID 리더 (Reader, 넓은 범위에서 Interrogator)와 태그는 단일 주파수 대역 FSK 신호를 이용하며, Half-Duplexing 방식으로 상호 통신한다. 변조속도는 27.7 kHz이며, Wake-up 신호는 30 kHz의 부반송파로 2.5~2.7초 동안 지속되어야 한다³⁾.

ISO/IEC 18000-7 표준에 정의된 태그 수집 알고리즘은 태그 충돌 문제를 해결하기 위해 Frame Slotted ALOHA 기반의 충돌방지 알고리즘을 이용한다. 그림 1은 표준에서 정의하는 태그 수집 알고리즘의 동작 과정과 타이밍을 보여준다.

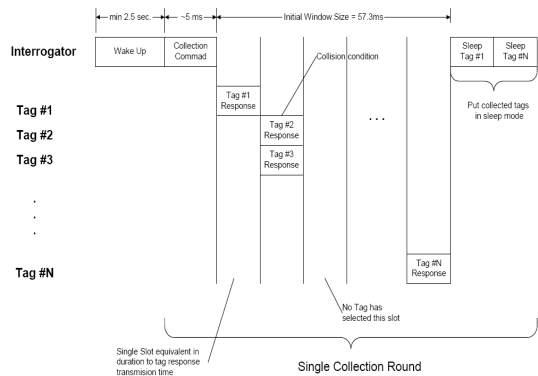


그림 1. 태그 수집 알고리즘 동작과정 및 타이밍.
Fig. 1. Tag collection algorithm sequence and timing.

태그 수집을 시작하기에 앞서 리더는 슬립 (Sleep) 상태에 있는 능동형 RFID 태그들을 리더의 태그 수집 명령을 받아들이기 위한 준비 (Ready) 상태로 전환시키기 위해 최소 2.5초의 Wake-up 신호를 전송한다. 그 이후에 리더는 여러 번의 수집 라운드를 통해, RF 통신 범위 내에 있는 모든 태그들로부터 태그-ID 및 데이터를 수집한다. 각 수집 라운드 (Collection Round)는 리더가 태그들에게 태그 수집 명령어를 보내는 것으로 시작한다. 태그 수집 명령어에는 리더가 다중 태그들로부터 응답을 기다리기 위한 전체 시간을 지정하는 2 바이트의 윈도우 크기 (Window Size) 값이 포함되어 있다⁴⁾. 태그 수집 명령어를 받은 태그는 윈도우 크기 값을 참조하여 슬롯 크기 및 현재 수집 라운드에서의 슬롯 개수를 계산해내고, 그 중에서 자신이 응답하기 위한 슬롯을 임의로 선택한다. 하나의 슬롯 크기는 리더가 하나의 태그 응답을 수신하기에 충분한 시간이다.

리더가 전송하는 윈도우 크기는 식 (1)을 통해 계산된다. 윈도우 인자 (Window Factor)는 윈도우 크기를 변화시키는데 사용되는 값으로 정수 값을 가지며, 태그 수집 과정의 시작 단계에서 1로 설정되어 초기 윈도우 크기는 57.3ms로 설정된다. 리더는 윈도우 시간 동안 다중 태그로부터의 응답을 받아 태그 정보를 기록하고, 그림 1에서와 같이 둘 이상의 태그가 동일 슬롯을 선택하여서 발생하는 충돌의 횟수를 기록한다. 윈도우 시간이 완료되면, 리더는 현재 수집 라운드에서 수집된 태그들에게 일대일 (Point-to-Point)로 슬립 명령어를 전송하고 하나의 수집 라운드를 종료한다⁴⁾. 슬립 명령어를 받은 태그들은 전원 소모를 줄이기 위해 슬립 상태로 전환하고 현재의 태그 수집 과정에 더 이상 참여하지 않는다. 태그 수집 과정이 진행되는 동안 리더는 현재 수집 라운드에서 검출된 충돌 횟수를 기반으로 아직 수집되지 않은 태그 개수를 예측하고, 식 (1)의 윈도우 인자 값을 변화시켜서 다음 수집 라운드를 위한 최적의 윈도우 크기를 결정한다.

$$Window\ Size = Window\ Factor * 57.3\ ms \quad (1)$$

ISO/IEC 18000-7에서는 하나의 슬롯 크기 (Slot Size)를 식 (2)와 같이 정의한다. 응답 전송 시간 (Response Transmission Time)은 태그가 응답 패킷을 리더에게 전송하는데 소요되는 시간으로 응답 패킷의 길이는 태그 수집 명령어 타입에 의해 결정된다. 슬롯 가드 시간 (Slot Guard Time)은 리더가 현

재 슬롯에서 태그로부터 받은 응답 데이터를 처리하고 다음 태그 응답 수신을 준비하기 위한 시간이다. 표준에서 슬롯 가드 시간은 2ms로 고정되어 있으며, 슬롯 크기 값은 ms 단위로 올림 된다. 현재 수집 라운드에서의 슬롯 개수 (Number of Slots)는 슬롯 크기가 계산된 후에 식 (3)을 통해 계산할 수 있다.

$$Slot\ Size = Response\ Transmission\ Time + Slot\ Guard\ Time \quad (2)$$

$$Number\ of\ Slots = Window\ Size / Slot\ Size \quad (3)$$

수집 라운드가 종료되면, 리더는 즉시 태그 수집 명령어를 전송함으로써 다음 수집 라운드를 시작한다. 이러한 태그 수집 과정이 계속 반복되다가 연속되는 세 번의 수집 라운드 동안 더 이상의 태그가 발견되지 않으면 태그 수집 과정이 완료된다.

2.2. ISO/IEC 18000-4 2.5GHz 능동 무선인터페이스

ISO/IEC 18000-4에는 2개의 모드 (Mode)가 있으며 호환성은 없다. Mode 1은 수동형 Backscatter RFID 시스템이고, Mode 2는 Long Range High Data Rate RFID 시스템이다. 이 중 Mode 2는 반능동형으로 볼 수 있다. 본 절에서는 Mode 2를 중심으로 알아본다.

먼저 리더에서 Narrowband 방식으로 2.45GHz RF 캐리어를 태그에 조사하면 태그는 Wake-up되어 태그의 동작에너지, 즉 태그 회로의 바이어스전압이 Turn-on된다. 일단 태그가 Wake-up되면 리더는 명령어에 의해 태그의 정보를 수신하게 되는데 이 경우에 수신정보는 433 MHz 능동형 RFID와는 달리 태그 자체에 오실레이터가 있어서 태그의 RF 에너지로 전송하는 것이 아니고 수동형 태그와 같이 리더의 RF 에너지로 전송된다. 즉 리더가 RF 캐리어로 명령어를 수신하면 태그는 태그 자체의 복조 및 디코딩 회로 수신을 판독하게 된다⁵⁾.

리더 명령어 수신이 종료되면 태그는 일정 시간 (Turn-around-time) 후에 태그의 정보를 코딩, 변조하여 송신할 준비를 한다. 이러한 송신대기모드에서 리더가 RF Carrier를 송신하면 태그는 수신된 RF 전파를 흡수 또는 전반사하는 일반적인 수동형 태그 Backscatter 원리에 의하여 RF전파를 변조하여 Backscatter를 재전송한다.

리더의 경우, 동작주파수대역은 2.45 GHz ISM 대역 (Industrial, Scientific and Medical Band)으로 2.4 - 2.4835 GHz이고 채널대역폭은 1MHz로 ISO/IEC 18000-4에서 규정한다. 리더의 캐리어변조는 GMSK

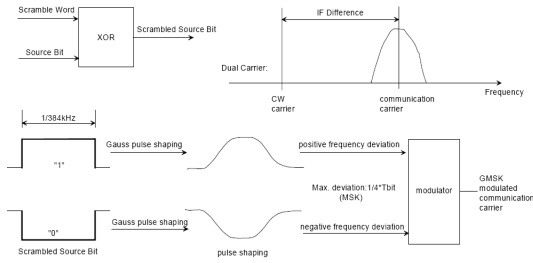


그림 2. 순방향링크의 변조와 코딩.
Fig. 2. Forward link modulation and coding.

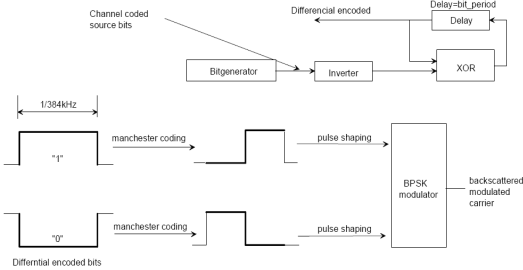


그림 3. 역방향링크의 변조와 코딩.
Fig. 3. Reverse link modulation and coding.

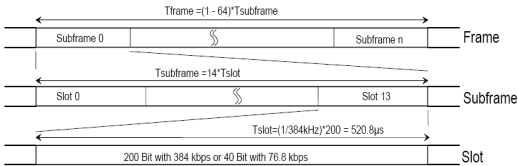


그림 4. 프레임 구조.
Fig. 4. Frame structure.

(Gaussian filtered MSK)방식이고 Bit Rate는 384 kbps이다. 액세스방법은 FHSS (Frequency Hopping Spread Spectrum)이다. 태그의 변조방식은 differential BPSK (Binary PSK)이다. 읽기전용 태그는 BPSK 대신에 OOK (On-Off Keying)를 사용한다.

그림 2와 그림 3은 읽기쓰기가 가능한 태그일 경우의 순방향링크와 역방향링크의 변조와 코딩을 보여주고 있다. 그림 4는 프레임 구조를 나타내고 있다. 각 프레임은 64개의 서브프레임으로, 서브프레임은 또 14개의 슬롯으로 이루어져있다. 하나 이상의 태그를 하나의 서브프레임에 할당할 경우, 충돌이 발생하게 된다.

III. ISO/IEC 18000-7 기반의 RFID 멀티홉 릴레이 시스템

본 장에서는 1 Hop, 2 Hop 또는 3 Hop, 최대 3

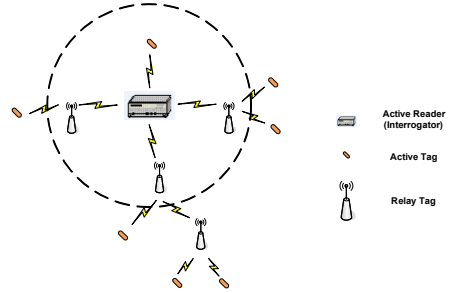


그림 5. RFID 멀티홉 릴레이 시나리오.
Fig. 5. RFID multi-hop relay scenario.

Hop의 경우를 고려하여 ISO/IEC 18000-7 기반의 RFID 멀티홉 릴레이 시스템을 제안한다.

그림 5는 RFID 멀티홉 릴레이 시나리오를 나타내고 있다. 그림 5의 시나리오는 리더, 능동형 릴레이 태그 및 능동형 태그로 구성되어 있다. 단일 리더 - 단일 릴레이 태그 - 단일 태그, 단일 리더 - 단일 릴레이 태그 - 다중 태그, 단일 리더 - 다중 릴레이 태그 - 다중 태그, 그리고 다중 리더 - 다중 릴레이 태그 - 다중 태그의 4 가지의 경우를 고려하여 프레임 구조를 제안하였다. 그 중 다중 리더 - 다중 릴레이 태그 - 다중 태그의 경우는 Pulse Protocol 알고리즘과 같은 또 다른 제어 채널을 사용하는 Scheduling 방식에 의하여 리더 충돌 및 릴레이 태그 충돌을 해결할 수 있다.

3.1. 2-hop 프레임 구조

2-hop 프레임 구조는 TDMA / TDD - Half Duplexing 기반으로 하여 리더에서 태그로, 태그에서 리더로 통신을 한다.

그림 6은 제안된 2-hop 프레임 구조를 나타내고 있다. 시스템의 동작과정은 다음과 같다.

리더는 능동형 RFID 릴레이 태그들을 준비 상태로 전환시키기 위해 Wake-up 신호를 전송한다. Wake-up 신호를 받은 능동형 RFID 릴레이 태그들은 다음 구간 동안에 Wake-up 신호를 능동형 RFID

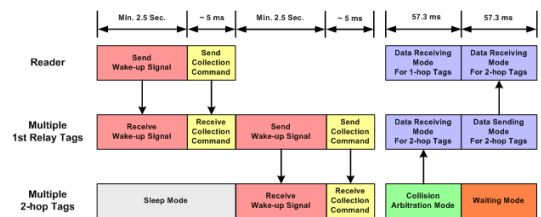


그림 6. 2-hop 프레임 구조.
Fig. 6. 2-hop frame structure.

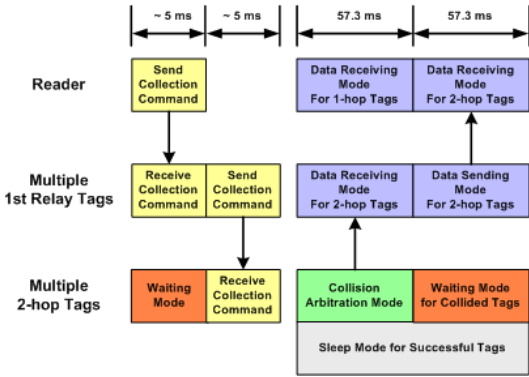


그림 7. 태그 재수집 (2-hop).
Fig. 7. Tag recollection (2-hop).

2-hop 태그들에게 전송한다. 능동형 RFID 릴레이 태그는 수집 라운드를 통해, RF 통신 범위 내에 있는 모든 2-hop 태그들로부터 태그-ID 및 데이터를 수집한다. 태그 수집 명령어를 받은 2-hop 태그는 윈도우 크기 값을 참조하여 슬롯 크기 및 현재 수집 라운드에서의 슬롯 개수를 계산해내고, 그 중에서 자신이 응답하기 위한 슬롯을 임의로 선택한다. 능동형 RFID 릴레이 태그는 윈도우 시간 동안 다중 2-hop 태그로부터의 응답을 받아 태그 정보를 기록하고, 다음 구간 동안 기록된 태그 정보들을 리더에게 전송한다. 능동형 RFID 릴레이 태그로부터 전송된 2-hop 태그 정보들을 이용하여 둘 이상의 태그가 동일 슬롯을 선택하여서 발생하는 충돌의 횟수를 기록한다.

리더가 충돌의 횟수를 기록하는 동안 2-hop 태그들은 Waiting Mode로 동작하여 리더로부터 슬립 명령어를 받기 위하여 대기한다. 수집 라운드가 완료되면, 기존 능동형 RFID 시스템과 마찬가지로 리더는 현재 수집 라운드에서 수집된 태그들에게 일대일로 슬립 명령어를 전송하고, 하나의 수집 라운드를 종료한다. 슬립 명령어를 받은 태그들은 전원 소모를 줄이기 위해 슬립 상태로 전환하고 현재의 태그 수집 과정에 더 이상 참여하지 않는다.

그림 7은 태그들의 데이터를 수집하는 과정에서 데이터 충돌 발생시 수집명령어를 재전송하여 2-hop 태그들의 데이터를 수집하는 과정을 나타내고 있다. 이 과정 중 데이터 충돌이 발생하지 않은 2-hop 태그들은 슬립 상태로 전환한다.

3.2. 3-hop 프레임 구조

3-hop 프레임 구조는 2-hop 프레임 구조와 마찬가지로 TDMA / TDD - Half Duplexing 기반으로 하여 리더에서 태그로, 태그에서 리더로 통신을 한다.

그림 8과 그림 9는 3-hop 프레임 구조를 나타내고 있다. 그림 8처럼 리더에서 태그들에게 태그 수집 명령어를 전송하면 그림 9와 같이 2-hop 및 3-hop 태그들의 데이터를 수집한다.

3-hop 프레임구조는 2-hop의 경우에 비하여 한 번의 Hopping을 더 거치기 때문에 Relaying 과정이 한 번 더 추가되었다. 리더는 첫 번째 능동형 RFID 릴레이 태그들을 준비 상태로 전환시키기 위해 Wake-up 신호를 전송한다. Wake-up 신호를 받은 첫 번째 능동형 RFID 릴레이 태그들은 다음 구간 동안에 Wake-up 신호를 능동형 릴레이 2-hop 태그들과 두 번째 능동형 RFID 릴레이 태그들에게 전송한다. 두 번째 능동형 RFID 릴레이 태그들이 3-hop 태그들에 Wake-up 신호를 전송하는 동안 첫 번째 능동형 RFID 릴레이 태그들과 2-hop 태그들은 대기 상태로 있다. 첫 번째 능동형 RFID 릴레이 태그와 두 번째 능동형 RFID 릴레이 태그는 수집 라운드를 통해, 각각 RF 통신 범위 내에 있는 2-hop 태그들과 3-hop 태그들로부터 태그-ID 및 데이터를 수집한다. 태그 수집 명령어를 받은 2-hop 태그들과 3-hop 태그들은 윈도우 크기 값을 참조하여 슬롯 크기 및 현재 수집 라운드에서의 슬롯 개수를 계산해내고, 그 중에서 자신이 응답하기 위한 슬롯을 임의로 선택한다. 능동형 RFID 릴레이 태그는 윈도우 시간 동안 2-hop 태그들과 3-hop 태그들로부터의 응답을 받아 태그 정보를 기록하고, 이 시간 동안 리더의 RF 통신 범위에 있는 1-hop 태그들은 응답을 리더에 전송한다. 태그들은 응답을 전송한 후에는 Waiting Mode로 동작하여 리더로부터 슬립 명령어를 받기 위하여 대기한다. 두 번째 능동형 RFID 릴레이 태

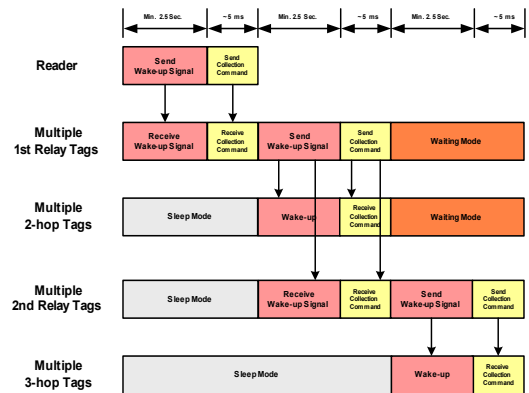


그림 8. 3-hop 프레임 구조 (순방향링크).
Fig. 8. 3-hop frame structure (forward link).

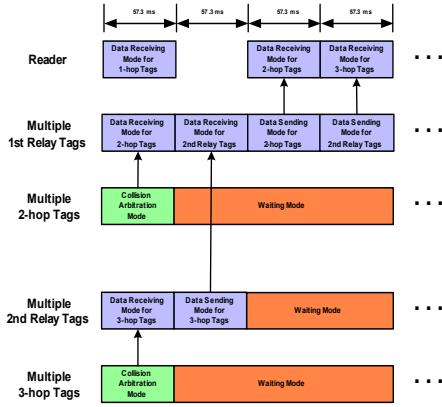


그림 9. 3-hop 프레임 구조 (역방향링크).
Fig. 9. 3-hop frame structure (reverse link).

그는 다음 구간 동안 기록된 태그 정보들을 첫 번째 능동형 RFID 릴레이 태그에게 전송한다.

이어서 첫 번째 능동형 RFID 릴레이 태그에서 2-hop 태그들로부터 받은 태그 정보들을 리더에 전송한다. 다음 구간에는 두 번째 능동형 RFID 릴레이 태그로부터 받은 3-hop 태그들의 정보를 리더에 전송한다. 이 때 리더에서는 태그 정보들을 이용하여 둘 이상의 태그가 동일 슬롯을 선택하여서 발생하는 충돌의 횟수를 기록한다.

수집 라운드가 완료되면, 리더는 현재 수집 라운드에서 수집된 태그들에게 일대일로 슬립 명령어를 전송하고 하나의 수집 라운드를 종료한다.

그림 10은 태그들의 데이터를 수집하는 과정에서 데이터 충돌 발생시 수집명령어를 재전송하여 2-hop 및 3-hop 태그들의 데이터를 수집하는 과정을 나타내고 있다. 이 과정 중 데이터 충돌이 발생하지 않는다

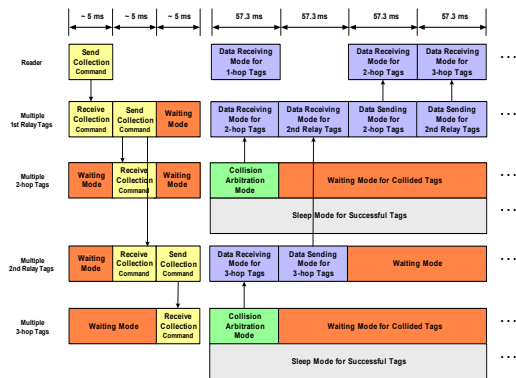


그림 10. 태그 재수집 (3-hop)
Fig. 10. Tag recollection (3-hop)

2-hop 및 3-hop 태그들은 슬립 상태로 전환하고 태그 수집 과정에 더 이상 참여하지 않는다.

IV. 시뮬레이션 방법론 및 성능분석

MCL (Minimum Coupling Loss) 방식과 SLS (System Level Simulation) 방식을 이용한 분석을 통하여 기존의 능동형 RFID 시스템의 성능과 제안된 RFID 멀티홉 릴레이 시스템의 성능을 비교 및 분석한다.

성능분석을 위한 파라미터는 표 1^{[6]-[11]}과 같다.

Path Loss는 Friis 공식으로부터 Free space path loss를 구할 수 있으며 식 (4)로 나타낼 수 있다^[7].

$$Path Loss [dB] = 32.44 + 20\log_{10} d (km) + 20\log_{10} f (MHz) \quad (4)$$

Sensitivity는 신호를 인식하기 위하여 특정 SNR 값을 만족하는 최소 입력전력 값을 나타내고, 실제 리더와 태그에서 사용되는 값을 이용하였다^[8].

Array Gain의 정의는 다음과 같다. 일반적인 MIMO 시스템의 경우, Array Gain은 송신단 또는 수신단에서 다중 안테나를 사용함으로써 얻을 수 있는 전송된 신호의 전력이득으로 정의된다. 따라서 일반적인 Beamforming을 고려하였을 경우, TxBF의 Array Gain은 Normalized Tx Power, 즉 TxBF가 중치에 의한 Antenna Direction의 변화로부터 얻어지는 전력이득만을 고려한 Directivity Gain과 같고,

표 1. 성능분석을 위한 파라미터.
Table 1. Parameters for performance analysis.

Item	Parameter	MCL	SLS
Freq. Band	Operating Freq. (MHz)	433.92	
	Bandwidth (kHz)	500 (DL) 200 (UL)	
Reader	Tx Power (dBm)	-20	
	Total Ant. Gain (dBi)	6	
	Nr. of Ant. Elements	4	
	Switched Beam Array Gain (dB)	6.57 (DL) 12.59 (UL)	
	Sensitivity (dBm)	-80	-85 ~ -70
Relay Tag / Tag	Tx Power (dBm)	-27.447	
	Total Ant. Gain (dBi)	6	
	Sensitivity (dBm)	-75	-80 ~ -60
Channel Model	Path Loss (dB)	32.44+20log10d +20log10f	
	Shadowing Std. Dev. (dB)	-	$\sigma = 3.7$

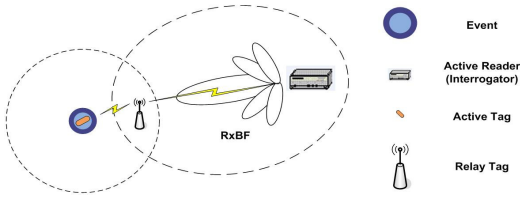


그림 11. 리더에서의 RxBF.
Fig. 11. RxBF at reader side.

RxBF의 Array Gain은 전송된 신호의 수신된 Multiple Replicas뿐만 아니라 RxBF 가중치에 의한 Antenna Direction의 변화로부터 얻어지는 전력이득과 같다. 그림 11은 리더에서의 RxBF을 보여주고 있다.

Switched Beam Array Gain은 식 (5)와 식 (6)로 나타낼 수 있다.

$$UL = \text{Array Gain} = 10\log_{10}(M) + \text{Directivity Gain} \quad (5)$$

$$DL = \text{Array Gain} = \text{Directivity Gain} \quad (6)$$

여기서, M은 안테나의 개수를 나타낸다. 식 (5)의 Directivity Gain은 식 (7)과 같이 나타낼 수 있으며, 16개의 릴레이 태그, Beamwidth가 22.5°일 경우, 6.57 dB 값을 갖는다.

$$\text{Directivity Gain} = 10\log_{10}\left(2M\frac{d}{\lambda}\right) \text{dB} \quad (7)$$

여기서, d/λ 값은 식 (8)로부터 얻을 수 있다.

$$\theta = \cos^{-1}\left[\cos\theta_0 - 0.443\frac{\lambda}{Md}\right] - \cos^{-1}\left[\cos\theta_0 + 0.443\frac{\lambda}{Md}\right] \quad (8)$$

여기서 θ_0 는 Maximum Radiation의 Direction을 나타내는 값으로, Broadside의 90° 값을 대입하면, 0.58의 d/λ 값을 얻을 수 있다. 따라서, 역방향링크의 Switched Beam Array Gain은 4개의 안테나 요소를 가질 경우, 12.59 dB이고 순방향링크의 Switched Beam Array Gain은 6.57 dB이다.

4.1. MCL 분석

표 2는 전송 전력, 안테나 이득, Switched BF 안테나 이득에 따라 능동형 RFID 리더, 릴레이 태그 및 태그가 Sensitivity 값을 만족하는 인식거리를 구한 결과이다.

표 2. Sensitivity에 의한 MCL 분석결과 (인식거리 : m).
Table 2. MCL analysis result on Sensitivity (Coverage : m).

	역방향링크	순방향링크
리더 - 릴레이 태그	198.491	131.550
릴레이 태그 - 태그	26.196	26.196

표 3. 릴레이 홉 수에 따른 전송시간 및 시스템 효율.

Table 3. Transmission time and system efficiency according to the number of relay hop.

	1-hop	2-hop	3-hop
Transmission time w.o. Collision (s)	2.5623	5.1246	7.7442
System Efficiency (%)	100	50	33.09
Transmission time w. a Collision (s)	2.6246	5.2492	7.9884
System Efficiency (%)	100	50	32.86

기존 능동형 RFID 시스템의 인식거리는 131.550m이지만 제안된 RFID 멀티홉 릴레이 시스템을 사용했을 경우, 기존 능동형 RFID 시스템보다 2-hop은 26.196m가 증가된 157.746m, 3-hop은 52.392m가 증가된 183.942m 인식거리를 갖는다.

RFID 멀티홉 릴레이 시스템의 시스템 효율은 식 (9)과 같이 정의할 수 있다.

$$\text{System Efficiency} = \frac{1 \text{ Hop Transmission Time}}{N \text{ Hop Transmission Time}} * 100(\%) \quad (9)$$

표 3은 릴레이 홉 수에 따라 데이터 전송시간과 시스템 효율을 나타내고 있다. 표 3으로부터 릴레이 홉 수가 증가함에 따라 27.7 kbps의 똑같은 데이터 전송률을 유지하기 위한 데이터 전송시간은 증가함에 따라 시스템 효율이 감소하는 것을 확인할 수 있다.

4.2. SLS 분석

표 4와 표 5는 리더와 태그의 Sensitivity가 각각 -80 dBm과 -75 dBm일 때 역방향링크와 순방향링크의 인식거리를 구한 것이다. 두 표를 비교해보면 순방향링크일 때 더 짧은 인식거리를 갖는 것을 볼 수가 있다.

표 4와 표 5 모두 릴레이 홉 수 증가에 따라 인식거리 또한 증가하는 것을 확인할 수 있다. 이론상으로 Shadowing을 고려하지 않은 SLS 분석과 MCL 분석을 통하여 얻어지는 인식거리는 같아야 하지만, 유효숫자의 차이로 인하여 약간의 오차가 발생하였다.

표 4. 역방향링크의 인식거리 (m).
Table 4. Coverage of reverse link (m).

Nr. of Relay Hops	w.o. Shadowing	w. Shadowing	MCL
1-hop	198.570	168.105	198.491
2-hop	224.767	190.283	224.687
3-hop	250.964	212.461	250.883
Relay Tag to Tag	26.197	22.178	26.196

표 5. 순방향링크의 인식거리 (m).
Table 5. Coverage of forward link (m).

Nr. of Relay Hops	w.o. Shadowing	w. Shadowing	MCL
1-hop	131.594	111.428	131.550
2-hop	157.791	133.610	157.746
3-hop	183.988	155.792	183.942
Relay Tag to Tag	26.197	22.182	26.196

그림 12는 리더의 Sensitivity를 -85 dBm에서 -70 dBm까지 변화시키면서 인식거리의 변화를 구한 그림이고, 그림 13은 태그의 Sensitivity를 -80 dBm에서 -60 dBm까지 변화시키면서 인식거리의 변화를 구한 그림이다. 두 그림 모두 릴레이 홉 수 증가에 의한 인식거리 증가를 확인할 수 있다. 그리고 두 그림을 비교하였을 경우, Sensitivity 변화에 따른 인식거리의 변화도 순방향링크의 경우가 역방향링크보다 인식거리가 짧다. 그러므로 전체적인 시스템의 인식거리는 순방향링크에 의해 결정된다.

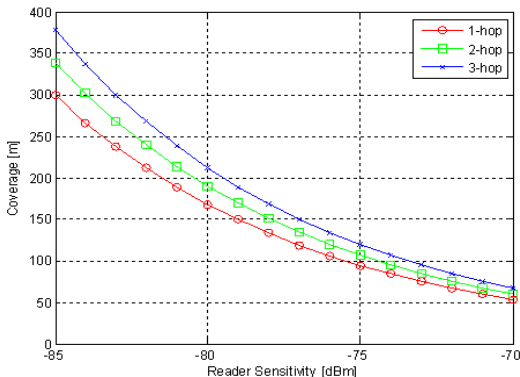


그림 12. 리더 sensitivity 변화에 따른 인식거리의 변화 (역방향링크).
Fig. 12. Coverage as a function of the reader sensitivity.

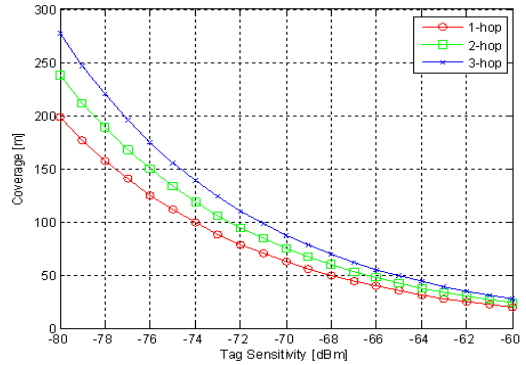


그림 13. 태그 sensitivity 변화에 따른 인식거리의 변화(순방향링크).
Fig. 13. Coverage as a function of the tag sensitivity.

V. 결론

본 논문에서는 기존 능동형 RFID 시스템인 ISO/IEC 18000-7 및 ISO/IEC 18000-4에 대하여 살펴보았고, 태그 인식률 및 인식 거리를 증가시키기 위하여 ISO/IEC 18000-7 시스템을 기반으로 RFID 멀티홉 릴레이 시스템을 제안하였다. 또한, 기존 ISO/IEC 18000-7 시스템과 제안한 RFID 멀티홉 릴레이 시스템의 성능평가를 위하여 Sensitivity에 의한 인식거리 및 시스템 효율과 같은 항목을 새롭게 정의하였으며, MCL 분석과 SLS 분석을 통해 성능을 비교 및 분석하였다. 제안한 RFID 멀티홉 릴레이 시스템에서 릴레이 홉 수가 증가함에 따라 인식 거리는 증가하지만, 27.7 kbps의 데이터 전송률을 유지하기 위한 데이터 전송시간도 증가하여 시스템 효율이 감소하는 것을 확인할 수 있다. 하지만, 실제 응용에서 한 리더가 태그의 동일한 정보를 빈번하게 요구하는 경우는 많지 않으므로, 이러한 시스템 효율의 감소보다는 인식거리 향상으로 얻을 수 있는 태그에 대한 전송전력 감소가 효율적이다.

참고 문헌

- [1] 지식경제부, RFID/USN 산업발전 비전 및 전략, 2008년 7월.
- [2] 정재영, 여준호, 이형섭, 표철식, “USN 센서노드 기술동향,” 전자통신동향분석, 제22권, 제3호, pp. 90-103, 2007년 6월.
- [3] ISO/IEC JTC 1, Information technology – Radio-frequency identification for item management – Part 7: Parameters for air

interface communications at 433 MHz, ISO/IEC FDIS 18000-7:2004(E), May 2004.

- [4] 윤원주, 정상화, 문영식, “능동형 RFID 시스템을 위한 태그 수집 성능 개선,” 한국통신학회논문지, 제33권, 7호, pp.518-527, 2008년 7월.
- [5] ISO/IEC JTC 1, Information technology – Radio-frequency identification for item management – Part 4: Parameters for air interface communications at 2.45 GHz, ISO/IEC FDIS 18000-4:2004(E), May 2004.
- [6] J. Heo, I.S. Cha, and K.H. Chang, “Effective adaptive transmit power allocation algorithm considering dynamic channel allocation in reuse partitioning-based OFDMA system,” Springer-WirelessPersonalCommunications, vol.43, no.2, p.677-684, Oct.2007.
- [7] <http://www.digitalradiotech.co.uk>
- [8] <http://www.GAORFID.com>
- [9] Intellex confidential, Passive, battery-assisted passive and active tags: A technical comparison, <http://www.intellex.com/pages/Technical.pdf>
- [10] A. Goldsmith, Wireless Communications, Cambridge University Press, 2005.
- [11] Ahmed El Zooghby, Smart Antenna Engineering, Artech House, 2005.

홍 성 현 (SungHyun Hong)



준회원
2008년 2월 인하대학교 전자공학과 (공학사)
2008년 2월~현재 인하대학교 정보통신대학원 석사과정
<관심분야> RFID / USN Systems, MAC Protocol, IEEE 802.11/15, 3GPP LTE

송 인 찬 (InChan Song)



준회원
2007년 2월 인천대학교 전자공학과 (공학사)
2009년 2월 인하대학교 정보통신대학원 석사
<관심분야> RFID / USN Systems, MAC Protocol, IEEE 802.11/15

장 홍 (Hong Zhang)



준회원
2007년 7월 중국 지린대학교 컴퓨터공학과 (공학사)
2008년 9월~현재 인하대학교 정보통신대학원 석사과정
<관심분야> RFID / USN Systems, MAC Protocol, IEEE 802.11/15, 3GPP LTE

장 경 희 (KyungHi Chang)



종신회원
1985년 2월 연세대학교 전자공학과 (공학사)
1987년 2월 연세대학교 전자공학과 (공학석사)
1992년 8월 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

신 동 범 (Dong-Beom Shin)



정회원
1991년 2월 충남대학교 전자공학과 (공학사)
1993년 2월 충남대학교 전자공학과 (공학석사)
2000년~현재 한국전자통신연구원 선임연구원
<관심분야> RFID System, RTLS System, Network System

이 형 섭 (Heyung-Sub Lee)



정회원
1985년 2월 충남대학교 전자공학과 (공학사)
1994년 8월 충남대학교 전자공학과 (공학석사)
2002년 8월 충남대학교 전자공학과 (공학박사)
1991년~현재 한국전자통신연구원 책임연구원/팀장

<관심분야> RFID System, RTLS System, Network System