

USN 응용을 위한 UWB 기반의 Class 4 능동형 RFID 프로토콜

준회원 홍 성 현*, 장 홍*, 종신회원 장 경 희*, 정회원 신 동 범**, 이 형 섭**

UWB-based Class 4 Active RFID Protocol for USN Application

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

요 약

본 논문에서는 능동형 RFID (Radio Frequency Identification) 시스템인 ISO/IEC 18000-7 시스템과 저속 WPAN (Wireless Personal Area Network) 표준인 IEEE 802.15.4a에 정의된 UWB (Ultra Wideband) 방식과 CSS (Chirp Spread Spectrum) 방식에 대하여 살펴보고, 인식율 및 인식거리를 향상시키기 위하여 매우 넓은 주파수 대역에 걸쳐 상대적으로 낮은 스펙트럼 전력밀도로 다른 시스템과 양립할 수 있는 UWB 기술을 이용하여 정보를 전송하고, USN (Ubiquitous Sensor Network) 응용을 위해 능동형 태그와 센서노드들이 서로 혼재되어 구성된 네트워크에서 릴레이 태그를 릴레이 AP로 이용하여 능동형 태그의 정보뿐 아니라 센서노드의 정보도 전달하는 UWB 기반의 Class 4 능동형 RFID 프로토콜을 제안한다. 기존 ISO/IEC 18000-7 시스템과 제안된 시스템의 성능평가를 위하여 Sensitivity에 의한 인식거리 및 시스템 효율과 같은 항목을 정의하며, MCL (Minimum Coupling Loss) 분석과 SLS (System Level Simulation) 분석을 통해 제안된 시스템의 성능을 비교 및 분석한다.

Key Words : RFID, Class 4, UWB, CSS, USN

ABSTRACT

In this paper, we analyze the active RFID system ISO/IEC 18000-7. In order to apply to USN, which consists active RFID tags and sensor nodes, we propose UWB-based Class 4 active RFID protocol using active RFID relay tag as relay AP. To compare the performance between the existing ISO/IEC 18000-7 system and the proposed system, we introduce sensitivity-based measurement of achieved coverage and system efficiency. Also, we analyze the performance of the proposed system and compare it with that of the existing system through MCL analysis and SLS analysis.

I. 서 론

유비쿼터스 네트워크의 핵심은 언제 어디서나 끊김 없이 전체 네트워크에 연결되어 있어 어떤 상황에서 도 받을 수 있음을 의미한다. 이를 구현하는 대표적인

기술로는 무선통신 네트워크 시스템이며 RFID와 USN 기술이 이에 속한다.

RFID는 각종 물품에 소형 칩을 부착하여 사물의 정보와 주변 환경정보를 무선주파수로 전송하여 처리하는 비접촉식 인식시스템으로써 기존 바코드의 단점

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

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

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

논문번호 : KICS2010-01-037, 접수일자 : 2010년 1월 26일, 최종논문접수일자 : 2010년 7월 14일

을 보완하여 사물의 정보화를 촉진함으로써 향후 USN 환경의 핵심 기술로 활용될 전망이다.

USN은 RFID / Sensor 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 (Synchronization 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 지원의지를 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 활용방안과 기능, 성과 등에 대해 논의가 활발하게 진행되고 있다^[1].

RFID 시스템은 리더와 태그로 구성된다. 태그는 송신하는 전파의 에너지를 얻는 방법에 따라 수동형(Passive), 반능동형(Semi-Active 또는 Semi-Passive라고도 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.

식별 기능만을 제공하는 수동형 태그에 비해 센서 등을 이용하는 능동형 태그는 사물에 대한 정보를 위한 식별 기능뿐만 아니라 센서를 통해서 사물의 상태에 대한 정보를 제공해 줄 수 있으며 배터리를 사용하지 않는 수동형에 비해 훨씬 먼 거리에서도 사용이 가능하기 때문에 공항이나 항만의 Pallet, 컨테이너 관리, 공장의 부품 관리 등과 같이 긴 인식거리가 필요한 다양한 분야에 적용되고 있다.

RFID 표준화 단체인 EPCglobal에서 정의한 RFID 태그 class 분류에 따르면, Class 4 능동형 태그는 센싱 기능 뿐만 아니라 ad-hoc 기능을 가지고 있어 동일 주파수 대역의 다른 태그와의 통신 기능을 가지고 있다.

그렇지만 RFID와 USN은 이러한 기술적 유사성과

상호 영향에도 불구하고 별개의 연구로 인식되었다. 그리고 능동형 RFID 시스템은 시스템비용이 높은 단점이 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해, 능동형 태그와 센서노드들이 서로 혼재되어 구성된 시스템에서 릴레이 태그를 릴레이 AP로 이용하여 능동형 태그의 정보뿐 아니라 센서노드의 정보도 전달하고, 값비싼 리더의 사용을 줄이며 인식거리도 향상시킴으로써 시스템 구성비용을 절감하는 방법을 제안하고자 한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 우선 II장에서는 EPCglobal에서 정의한 RFID 태그 class 분류와 능동형 RFID 무선 프로토콜인 ISO/IEC 18000-7을 소개하고, III장에서는 저속 WPAN 표준인 IEEE 802.15.4a에 정의된 UWB와 CSS를 분석하고, IV장에서는 능동형 RFID 태그와 센서노드로 구성된 센서 네트워크에 능동형 RFID 릴레이 태그를 사용하여 시스템의 인식거리 및 성능을 향상시키기 위한 UWB 기반의 Class 4 능동형 RFID 프로토콜을 제안한다. 그리고 V, VI장에서 시뮬레이션을 통해 이를 확인하고 본 논문의 결론을 도출한다.

II. 능동형 RFID

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 있다^[2].

II장에서는 RFID 표준화 단체인 EPCglobal에서 정의한 RFID 태그 class 분류와 능동형 RFID 무선 프로토콜인 ISO/IEC 18000-7에 대하여 알아보고자 한다.

2.1 EPCglobal Class 4 능동형 태그

RFID 표준화 단체인 EPCglobal에서 RFID의 다양한 특징 및 용도를 기준으로 RFID 태그를 표 1에서와 같이 class 별로 분류하였다. 표 2는 각 class 별 특성을 보여주고 있다^[3].

표를 통해 알 수 있듯이, Class 5 태그가 가장 다양

표 1. EPC 태그 분류
Table 1. EPC tag classification

EPC Tag Class	Tag Class 개요
Class 0	읽기 전용, 수동형 태그
Class 1	1회 쓰기 가능, 수동형 태그 → Class 1 Gen 2는 Rewritable
Class 2	수동형 태그, 일부 부가 기능
Class 3	반능동형 태그
Class 4	능동형 태그, 리더 및 동일 주파수대역의 태그와의 통신 기능
Class 5	기본적으로 리더와 동일, Class 1~3 태그에 전원공급 가능

표 2. Class 별 특성
Table 2. Tag characteristics

	Class 0	Class 1	Class 2	Class 3	Class 4	Class 5
능동/수동	수동형			반능동형	능동형	
읽기/쓰기	읽기전용			읽기쓰기		
전송성공률	낮다			높다		
배터리	없음			리튬/마그네슘전지		전원확장성 용이
수명	길다		짧다	길다		
도달거리	짧다		길다	중간	길다	
무선망네트워크	기능 없음					구성 가능

한 기능과 장점을 가지고 있다. 하지만, Class 5 태그는 아직 생산단계가 아니기 때문에, 능동형 태그로 리더 및 동일 주파수대역의 태그와 통신 기능을 갖는 Class 4 능동형 태그를 사용하여 센서 네트워크를 구성하고자 한다.

2.2 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 한다⁴⁾.

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.

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.

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

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 슬롯

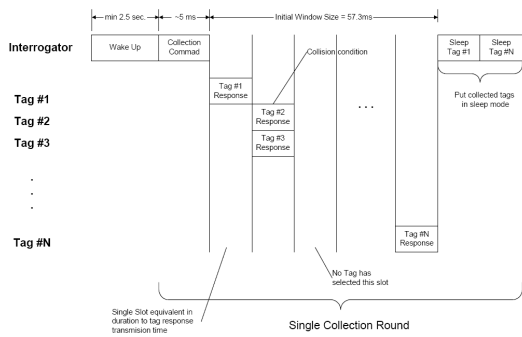


그림 1. 태그 수집 알고리즘 동작과정 및 타이밍.
Fig. 1. Tag collection algorithm sequence and timing.

을 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.

ISO/IEC 18000-7에서는 하나의 슬롯 크기 (Slot Size)를 식 (2)와 같이 정의한다.

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

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 현재 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.

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

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.

III. IEEE 802.15.4a 저속 WPAN

최근 정보통신 환경은 유비쿼터스 네트워크에 대한 요구가 증가하면서 근거리에서 무선으로 네트워크를 구성하는 WPAN이 주목받고 있다. WPAN은 무선을 이용하는 개인 영역 네트워크, 근거리의 무선 네트워크로서 다양한 종류의 휴대용 컴퓨팅 장치들을 지원하기 위해 설계된 것이다. 특히 UWB무선 기술은 고속의 데이터 전송, 저전력, 뛰어난 위치인식 등의 특징을 가지면서 WPAN을 위한 주요 기술로 인식되고 있다. UWB 무선 기술은 매우 넓은 주파수 대역에 걸쳐 상대적으로 낮은 스펙트럼 전력밀도를 가지므로 기존의 통신시스템과 양립할 수 있다는 특징을 이용하여 고밀도의 위치인식이 가능하고 비교적 좁은 영역에서 수십 cm 이내의 정밀도를 요구하는 위치인식 서비스를 제공할 수 있다.

IEEE 802.15.4a에서는 저속의 위치인식 PHY의 표준화로 UWB Impulse Radio 방식과 CSS 방식을 선택적 표준안으로 정하였다^{5,6)}. 본 장에서는 IEEE 802.15.4a에 정의된 UWB 방식과 CSS 방식에 대하여 소개하고, 모의실험을 통하여 성능을 분석한다.

3.1 UWB (Ultra Wide Band)

UWB 무선 기술은 중심 주파수의 20% 이상의 점유 대역폭을 차지하거나 500 MHz 이상의 점유 대역폭을 차지하는 기술을 일컫는다. 본 절에서는 IEEE 802.15.4a-2007 표준을 바탕으로 UWB PHY에 대해 살펴보고 모의실험을 통하여 성능을 분석한다⁷⁾.

UWB PHY를 위한 변조 방식은 동기수신과 비동기 수신을 모두 지원하기 위해서 BPM (binary position modulation) 과 BPSK를 결합한 형태를 취하고 있으며, 각 심볼은 UWB 펄스 여러 개를 모아놓은 burst로 구성되어 있다. 여기서 burst의 길이를 조절함으로써 다양한 데이터 서비스를 제공한다.

그림 2는 UWB PHY 시스템의 전반적인 신호 흐름도를 나타내는 것으로 송신단에서는 RS 부호기, 길쌈부호기, 심볼 매핑(mapper), 프리앰블 삽입기, 펄스 shaper, RF단, 안테나를 거쳐 채널로 나가게 되어 있다. 수신단에서는 RF를 통해 들어온 신호를 펄스 shaper, 동기부, 데이터 복조부, 길쌈복호기, RS 복호기를 거쳐 송신신호를 복원한다.

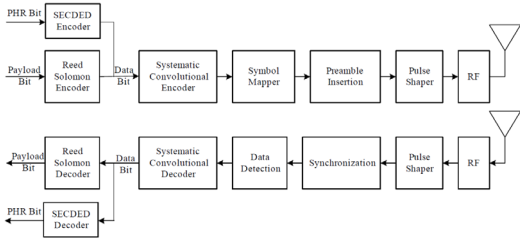


그림 2. UWB PHY 신호 흐름도
Fig. 2. UWB PHY signal flow

BPM-BPSK 변조 방식에 의해 변조된 UWB 시스템의 k 번째 전송 신호는 식 (4)와 같이 표현된다.

$$S^{(k)}(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} a_1^{(k)} p^{(k)}(t - a_0^{(k)}\Delta - h^{(k)}NT_c), \quad (4)$$

여기서 $a_1^{(k)} \in \{\pm 1\}$ 과 $a_0^{(k)} \in \{0, 1\}$ 는 각각 k 번째 BPSK와 BPM 데이터 심볼을 나타낸다. $p^{(k)}(t)$ 는 burst로 확산 코드의 길이인 N_{cpb} 개의 칩으로 이루어져 있으며 $T_{burst} = N_{cpb}T_c$ 이다. Δ 는 BPM 지연값이다. $h^{(k)}$ 는 k 번째 burst의 hopping 위치를 결정한다.

UWB PHY 한 심볼은 T_{sym} 구간동안 전송되며, T_c 의 시간길이를 가지는 총 N_c 칩으로 구성되어 있다.

$T_{BPM} = T_{sym}/2$ 로써, $a_0^{(k)}$ 비트가 0이면 $[0, T_{BPM}]$ 시간 구간에, $a_0^{(k)}$ 비트가 1이면 $[T_{BPM}, T_{sym}]$ 시간 구간에 펄스의 burst가 놓이게 된다. T_{BPM} 의 나머지 $1/2$ 구간은 guard 구간으로써 멀티패스 영향으로 인한 간섭을 줄이고자 함이다. 마지막으로 $a_1^{(k)}$ 비트는 극성 정보로써 신호 S 의 부호를 결정한다.

UWB LLS (Link Level Simulation)에서 사용하는 매개변수는 표 3과 같다. Mandatory 데이터 전송률과 MPRF (Mean Pulse Repetition Frequency)는 각각 0.85 Mbps, 3.90 MHz이다. BPM-BPSK 변조방식이 적용되었으며, Un-coded 경우만 모의실험을 하였다 [8,9].

IEEE 802.15.4a 채널 모델은 변형된 SV (Saleh-Valenzuela) 모델로, 9개의 채널환경을 가지고

표 3. UWB LLS에 사용되는 매개변수
Table 3. Parameters for UWB LLS

N_{cpb}	N_{hop}	N_c	T_c	Bit rate	MPRF
4	32	512	2 ns	0.85 Mbps	3.9 MHz

있으며, 경로손실 (pathloss)과 섀도잉 (shadowing)까지도 고려한다. 결론적으로, 각 채널환경에 대해서 보다 실제적으로 UWB 시스템에 대한 성능을 분석할 수 있다. 그 중 주저 실내 환경에서 LOS 채널모델인 CM1을 사용하였다.

에너지 검출은 특정 주파수 대역에서 수신된 신호의 에너지 레벨을 측정하여 선순위 사용자의 존재 여부를 판단하는 기법으로, 여기서는 SL (square-law) 에너지 검출을 사용하였다. SL 에너지 검출기를 거친 출력 b_k 는 식 (5), (6)에 의해 결정된다[10].

$$r_k^b = \sum_{l=1}^k \left| \frac{1}{\sqrt{E_l}} S^{(l)}(t) \otimes h(t) \Big|_{t=a_0^{(l)}\Delta - h^{(l)}NT_c + t_l} + n(t) \right|^2, \quad (5)$$

$$= \sum_{l=1}^k |z_{l,l} + n(t)|^2,$$

$$\tilde{b}_k = \begin{cases} 0, & \text{if } r_k^0 > r_k^1 \\ 1, & \text{if } r_k^0 \leq r_k^1 \end{cases}. \quad (6)$$

여기서 $Z_{k,l}$ 은 유효값이고, t_l 은 샘플링 시간으로 T_c 의 정수배를 값으로 가진다. 그리고 r_k^0, r_k^1 은 각각 $[0, T_{BPM}]$ 시간 구간, $[T_{BPM}, T_{sym}]$ 시간 구간에서 가지는 에너지를 나타낸다.

AWGN 채널환경에서 SL 에너지 검출의 BER 성능은 식 (7)에 의해 얻을 수 있다.

$$BER_l = \frac{1}{2} + \frac{1}{2^{2k-1}} \sum_{l=1}^k \binom{2k-1}{k-l} \times \left[\sum_{i=0}^{l-1} \exp\left(-\frac{E_l}{4\sigma_n^2}\right) \frac{(E_l / 4\sigma_n^2)^i}{i!} - 1 \right]. \quad (7)$$

그림 3은 AWGN 채널과 CM1 채널에서 단일 사

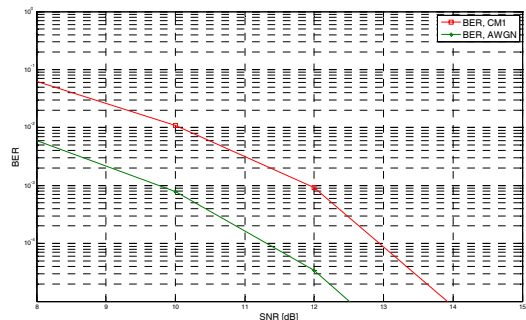


그림 3. UWB 시스템의 BER 성능
Fig. 3. BER performance of UWB

용자 경우의 UWB 시스템의 성능을 나타낸다. 10^{-3} BER을 만족하는 SNR값은 AWGN채널에서 9.8dB, CM1 채널에서는 11.9dB이다.

3.2 CSS (Chirp Spread Spectrum)

CSS는 시간에 따라 순간 주파수가 변하는 chirp 신호와 펄스 압축 기술을 이용하는 기술로 소비 전력이 낮고 시간 분해능이 높은 장점을 지니고 있다. 또한 현재 센서네트워크를 위한 통신망으로 각광받고 있는 국제 표준인 지그비 기술 (ZigBee: IEEE 802.15.4)의 주요결점 (잡음에 대한 견고성, 통달거리, 소모전력, 거리측정, 이동성)을 대부분 보완하여 2.4 GHz 대역 사용하는 IEEE 802.15.4a PHY의 국제표준으로 2007년 3월에 채택되었으며 기존의 지그비 응용기술과 호환될 수 있도록 IEEE 802.15.4 MAC을 그대로 사용한다. 본 절에서는 IEEE 802.15.4a-2007 표준을 바탕으로 CSS PHY에 대해 살펴본다^[7].

CSS는 1 Mbps (mandatory), 250 kbps (optional) 두 종류의 데이터 전송률을 지원하고, DQPSK (differential quadrature chirp-shift keying) 변조와 8-ary (1 Mbps) 또는 64-ary (250 kbps) bi-orthogonal 부호화를 같이 적용한다. 그림 4는 1 Mbps 모드일 때의 블록 다이어그램을 나타낸다.

다음에서는 1 Mbps 모드일 경우를 예로, 각 블록에 대한 설명을 하도록 한다. 데이터 패킷이 DEMUX로 들어오면 첫 번째 데이터 비트는 I 경로로, 두 번째 데이터 비트는 Q경로를 통해 처리된다. 이런 방법으로 데이터 비트는 들어오는 순서에 따라 I와 Q경로를 번갈아가며 처리되게 된다. 직/병렬 변환부 (S/P)를 이용하여 데이터 심볼을 여러 비트의 서브 스트림으로 나누게 된다. 1 Mbps모드의 경우, 데이터 심볼은 3비트로 구성된다. 2진 데이터 심볼 (b0, b1, b2) 내에서 I와 Q 경로 각각의 첫 번째 비트는 b0, 세 번째 비트는 b2로 할당된다.

각 3 비트 데이터 심볼은 4-칩(chip) bi-orthogonal한 코드워드에 매치된 후 병/직렬 변환부에 의하여 직렬의 칩 시퀀스 (chip sequence)로 전환된다. 1 Mbps 모드의 경우, I와 Q 경로의 4-칩 코드워드 (c0, c1, c2, c3)들이 각각 c0에서 c3의 순서로 처리된다. I와 Q 경로의 chip 쌍으로 이루어진 값에 따라 QPSK 심볼로 매핑된다. QPSK 심볼 매핑을 거친 신호들은 길이 4인 QPSK 피드백 메모리를 가진 차분 변조 (differential encoding)를 거치게 된다. DQPSK의 출력들은 CSK (chirp-shift keying) 생성기에 의해 생성된 서브칩들에 의해 확산되게 된다. DQCSK 변조는 일정 크기와 위상을 갖는 DQPSK 값들에 각 서브칩들을 곱해주므로 확산된다.

CSS 칩 심볼 기저 신호의 수식적인 표현은 식 (8)에 나타나있다.

$$s^m(t) = \sum_{n=0}^{\infty} s^m(t, n) = \sum_{n=0}^{\infty} \sum_{k=1}^4 \tilde{c}_{n,k} \exp \left[j \left(\hat{w}_{n,k,m} + \frac{\mu}{2} \zeta_{k,m}(t - T_{n,k,m}) \right) (t - T_{n,k,m}) \right] \times P_{RC}(t - T_{n,k,m}) \quad (8)$$

여기서 m은 서브칩 시퀀스를 결정짓는 값으로 m=1,2,3,4이며, n은 칩 심볼의 시퀀스 번호로 값은 n=0,1,2,...이다. 그리고 k는 서브칩 인덱스로 k=1,2,3,4를 가진다. $\tilde{c}_{n,k}$ 는 DQPSK의 출력으로 in-phase data $a_{n,k}$ 와 quadrature-phase data $b_{n,k}$ 로 구성된다. $\hat{w}_{n,k} = 2\pi \times f_{k,m}$ 는 서브칩 신호의 중심 주파수이고, $T_{n,k,m}$ 는 생성된 서브칩 신호가 시작하는 시간으로 식 (9)에 의해 구할 수 있다.

$$T_{n,k,m} = \left(k + \frac{1}{2} \right) T_{sub} + nT_{chirp} - \left(1 - (-1)^n \right) \tau_m \quad (9)$$

상수 μ 는 서브칩 신호의 특성을 결정짓는 값으로 $\mu = 2\pi \times 7.3158 \times 10^{12} [rad/sec^2]$ 을 갖는다. 함수 P_{RC} 는 윈도우 함수이다.

수신단에 Rake 수신기를 추가함으로써 다중경로 페이딩에 의한 오류를 줄일 수 있다. 모의실험에서는 6개와 20개의 finger를 사용하여 비교하였다.

표 4의 매개변수를 사용하여 CSS LLS (Link Level Simulation)를 하였다. 그림 5는 AWGN 채널과 CM1 채널에서 단일 사용자 경우의 CSS 시스템의 성능을 나타낸다. 10^{-3} BER을 만족하는 SNR값은 AWGN채널에서 9.9dB, CM1 채널에서는 16.8dB이다.

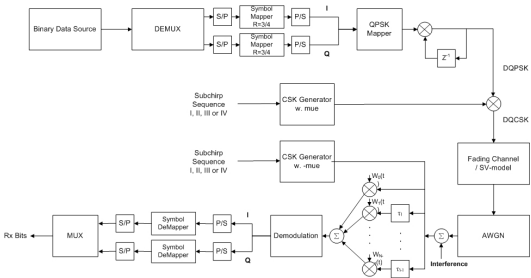


그림 4. CSS 1 Mbps 모드의 블록다이어그램
Fig. 4. Block diagram of 1 Mbps mode CSS

표 4. CSS LLS에 사용되는 매개변수
Table 4. Parameters for CSS LLS

Center Frequency	T_{chirp}	T_{sub}	Bit rate
2.45 GHz	6 μ s	1.1875 μ s	1 Mbps

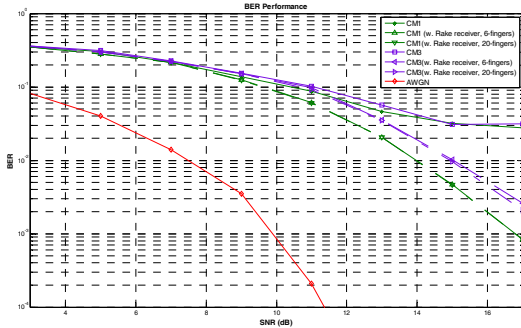


그림 5. CSS 시스템의 BER 성능
Fig. 5. BER performance of CSS

IV. UWB 기반의 Class 4 능동형 RFID 프로토콜

매우 넓은 주파수 대역에 걸쳐 상대적으로 낮은 스펙트럼 전력밀도로 다른 시스템과 양립할 수 있는 UWB 기술을 이용하여 정보를 전송하고, USN 응용을 위해 능동형 태그와 센서노드들이 서로 혼재되어 구성된 시스템에서 릴레이 태그를 릴레이 AP로 이용하여 능동형 태그의 정보뿐 아니라 센서노드의 정보도 전달하는 UWB 기반의 Class 4 능동형 RFID 프로토콜을 제안한다. 이 경우, 고비용의 능동형 RFID 리더의 사용을 줄이며 인식거리도 향상시킴으로써 시스템 구성비용을 절감하는 이점이 있다.

4.1 Class 4 능동형 RFID 프로토콜 적용 시나리오

USN 응용을 위해 능동형 릴레이 태그를 릴레이 AP로 사용하여 RFID 태그로부터의 정보뿐만 아니라 센서노드로부터의 정보도 전달할 수 있는 상황을 전제로 하였다.

그림 6의 시나리오는 End Device로 능동형 태그뿐 아니라 센서노드로 구성된 센서네트워크도 포함하여 구성되어 있고, 릴레이 태그를 통한 릴레이를 최대 2번까지 고려한 시나리오로서, 능동형 리더 - 능동형 태그, 능동형 리더 - 능동형 릴레이 태그 - 능동형 태그, 능동형 리더 - 첫번째 능동형 릴레이 태그 - 두번째 능동형 릴레이 태그 - 능동형 태그 / 센서노드의 경우를 생각해볼 수 있다. 리더와 태그 그리고 태그간

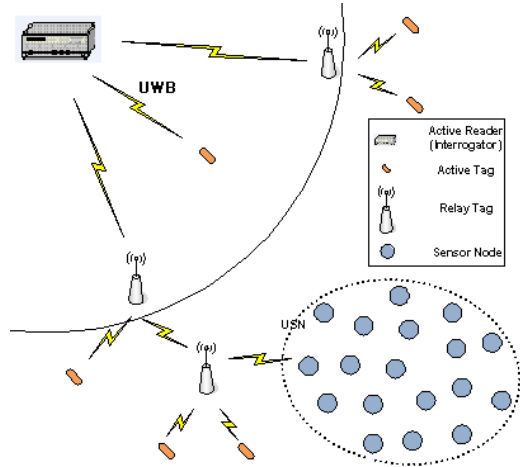


그림 6. USN 응용을 위한 Class 4 능동형 RFID 릴레이 시스템
Fig. 6. Class 4 active RFID relay system for USN application

통신은 UWB 기술을 이용한다.

4.2 2-hop 프레임 구조

2-hop 프레임 구조는 TDMA / TDD - Half Duplexing 기반으로 하여 통신을 한다. 시나리오에서 고려한 상황들 중 능동형 리더 - 능동형 릴레이 태그 - 센서노드를 제외한 2-hop 태그까지의 통신은 다음과 같다^[11].

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 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.

능동형 태그와는 달리 센서노드의 경우, 그림 7에서와 같이 2개의 연속적인 프레임에 걸쳐 통신을 하게 된다. 리더가 wake-up 신호를 보냄으로써 통신을 시작하면 리더의 RF 통신범위 밖에 위치한 센서노드들은 릴레이 태그들을 통해 전달받은 wake-up 신호와 collection 명령어를 수신하게 된다. 같은 시간구간에 수신한 2-hop 태그들은 바로 태그정보를 리더에게 전송하는 반면에 센서노드들은 충돌을 피하기 위하여 CSMA/CA (Collision Avoidance) 구간을 갖는다. 2-hop 태그들이 전송을 마치고 대기 모드로 동작하여 전력을 절약하는 동안 센서노드들은 동일 센서네트워크의 다른 센서노드들과 Ad-hoc 통신을 통해 정보를 교환한다. 충돌을 일으켜 리더에서 정보를 수신하지

못한 2-hop 태그들이 다음 프레임에서 collection 명령어를 수신하기 전까지 센서노드끼리 정보를 교환하다가 2-hop 태그들이 collection 명령어를 수신할 때는 대기 모드로 동작하여 태그들이 정보를 수신하는데 간섭을 일으키지 않도록 한다. 2-hop 태그들이 재수집 명령어를 받은 뒤 다시 한 번 태그정보를 전송하는 동안 센서노드들도 센서노드의 정보를 전송한다. 정보를 전송한 뒤에는 대기 모드로 동작하여 전력을 절약한다.

4.3 3-hop 프레임 구조

3-hop 프레임 구조는 2-hop 프레임 구조와 마찬가지로 TDMA / TDD - Half Duplexing 기반으로 하여 통신을 한다. 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 릴레

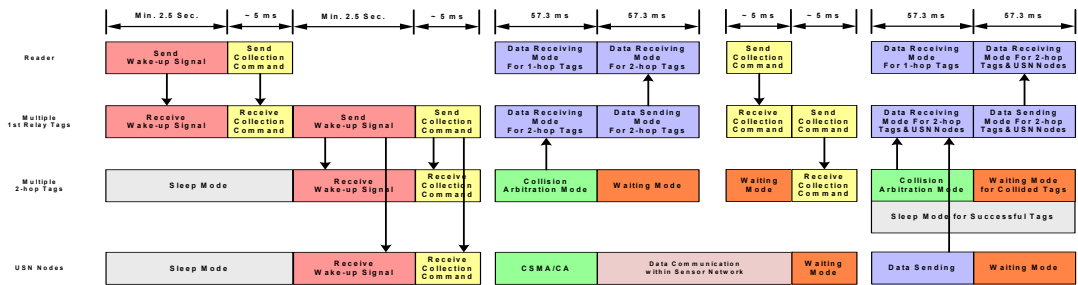


그림 7. Class 4 능동형 RFID 프로토콜의 2-hop 프레임 구조
Fig. 7. 2-hop frame structure of Class 4 active RFID protocol

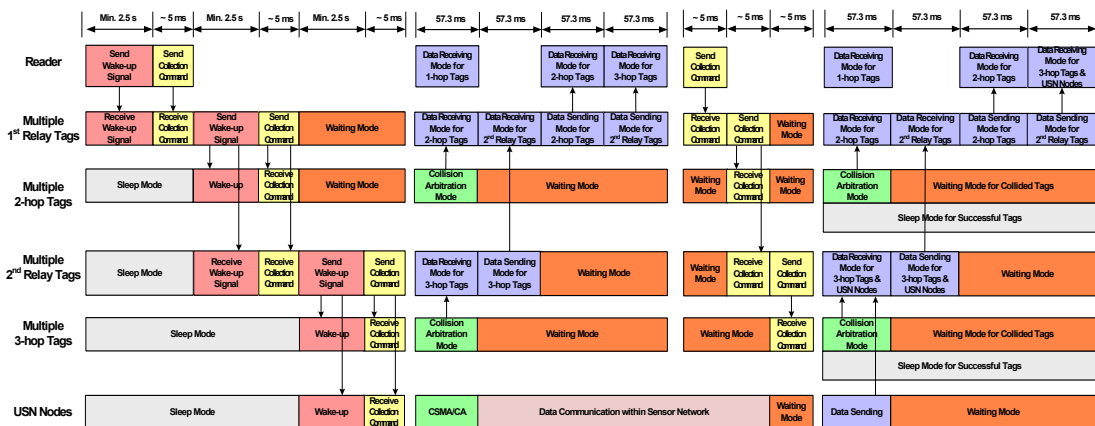


그림 8. Class 4 능동형 RFID 프로토콜의 3-hop 프레임 구조
Fig. 8. 3-hop frame structure of Class 4 active RFID protocol

이 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 태그는 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.

충돌을 일으켜 리더에서 정보를 수신하지 못한 3-hop 태그들이 다음 프레임에서 collection 명령을 수신하기 전까지 센서노드끼리 정보를 교환하다가 3-hop 태그들이 collection 명령을 수신할 때는 대기 모드로 동작하여 태그들이 정보를 수신하는데 간섭을 일으키지 않도록 한다. 3-hop 태그들이 재수집 명령을 받은 뒤 다시 한 번 태그정보를 전송하는 동안 센서노드들도 센서노드의 정보를 전송한다. 정보를 전송한 뒤에는 대기 모드로 동작하여 전력을 절약한다.

V. 모의실험 및 성능분석

본 논문에서 제안한 프로토콜을 IEEE 802.15.4a에 정의된 UWB 방식과 CSS 방식에 각각 적용하였을 경우의 성능을 MCL 방식과 SLS 방식을 이용하여 비교 및 분석한다.

성능분석을 위한 파라미터는 표 5^[7,12-14]와 같다.

Pathloss는 IEEE 802.15.4a 채널 모델에서 사용하는 식 (10)에 의하여 구하였다^[12].

$$PL(d) = PL_0 + 10n \log_{10} \left(\frac{d}{d_0} \right) + S \quad (10)$$

여기서, d_0 는 1m이며, PL_0 는 1m일 때의 pathloss 값이고, n 은 pathloss 지수이다.

Sensitivity는 신호를 인식하기 위하여 특정 SNR값을 만족하는 최소 입력전력 값으로, UWB는 SandLinks 사의 제안서에서, CSS는 CSS transceiver에서

표 5. MCL/SLS에 사용되는 매개변수.
Table 5. Parameters for MCL/SLS.

Item	Parameter		Value	
			CSS	UWB
Operating Frequency	Center Frequency (GHz)		2.44	4
	Frequency Band (MHz)		83.5	500
CSS Transceiver / SandLinks Proposal	Tx Power (dBm)		0	-14.3
	Total Ant. Gain Tx & Rx (dBi)		0	0
	RSSI Sensitivity (dBm)		-95	-94.5
Channel Model	Pathloss (dB)	AWGN	$PL=40.2+20\log_{10}(d)$	$PL=44.48+20\log_{10}(d)$
		SV-model (CM1)	$PL=43.9+17.9\log_{10}(d)$	$PL=44.0+17.9\log_{10}(d)$
	Shadowing (dB)	AWGN	Shadowing Std. Dev. $\sigma = 3.7$	
		SV-model (CM1)	Shadowing $S = 2.2$	
Coverage Metric	Coverage Target SNR for 10^{-3} BER(dB)		9.9 (AWGN) / 16.8 (CM1)	9.8 (AWGN) / 11.5 (CM1)

사용되는 값을 이용하였다^[12]. 그리고 10^{-3} BER을 만족하는 SNR값은 III장에서 LLS를 통해 얻은 값을 사용하였다.

제안한 프레임 구조를 사용할 때, 전송시간에 따른 시스템 효율을 식 (11)을 통해 구할 수 있고, 그 값은 표 6에 나타난다.

$$System\ Efficiency = \frac{1\text{-hop transmission time}}{N\text{-hop transmission time}} \times 100(\%) \quad (11)$$

표 6. 전송시간과 그에 따른 시스템 효율
Table 6. Transmission time and system efficiency

	1-hop	2-hop	3-hop
Transmission time w.o. collision (s)	2.5623	5.2492	7.9884
System efficiency (%)	100	48.813	32.075
Transmission time w. collision (s)	2.6246	5.4984	8.4768
System efficiency (%)	100	47.734	30.962

5.1 UWB 기반 프로토콜의 성능분석

표 7은 전송전력 -14.3 dBm, 안테나 이득 0 dBi, AWGN 채널과 CM1 채널에서 각각 10^{-3} BER을 만족하는 SNR 값에 따라 Sensitivity -94.5 dBm을 만족하는 인식거리를 구한 결과로, AWGN 채널에서는 약 31.6m, CM1에서는 약 22.8m의 인식거리를 갖는다.

그림 9는 Sensitivity를 -108 dBm에서 -86 dBm까지 변화시키며 인식거리의 변화를 구한 그림이다. 릴레이 홉 수 증가에 따라 인식거리 또한 증가하는 것을 확인할 수 있다.

그림 10은 시스템 처리량을 구하기 위한 시스템 모델로써, 가운데 하나의 리더와 각 홉마다 4개의 릴레이 태그를 이용하여 전체 3홉 인식거리 내에 랜덤하게 분포된 태그들과 통신을 하는 그림이고, 그림 11은 그림 10의 시스템 모델에서 한 프레임당 200개로 슬롯의 개수를 고정시킨 뒤 태그의 수를 변화시키며 시스템 처리량의 변화를 구한 그림이다. 시스템 처리량은 식 (12)를 통해 얻을 수 있다.

표 7. UWB 기반 프로토콜의 MCL 분석결과.
Table 7. MCL analysis results of UWB-based protocol.

Channel	Coverage (m)
AWGN	31.586
CM1	22.779

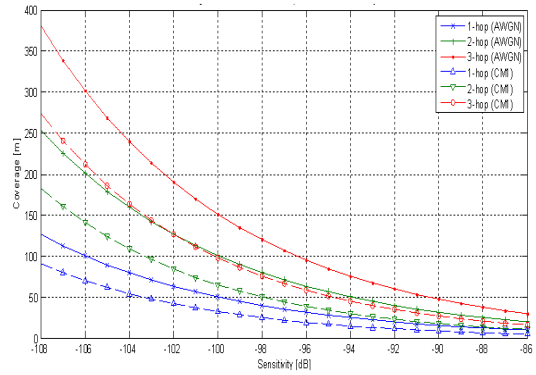


그림 9. Sensitivity 변화에 따른 인식거리의 변화 (UWB)
Fig. 9. Coverage as a function of the sensitivity (UWB)

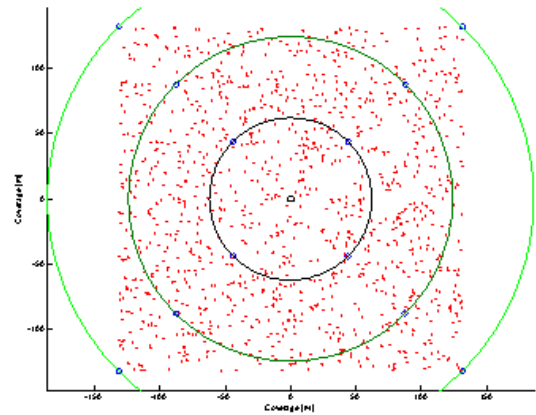


그림 10. 시스템 모델
Fig. 10. System model

$$Throughput = Data\ rate \times \frac{Total\ successful\ slots}{Identificatoin\ time} \quad (12)$$

그림 11에서 보듯이, 1-hop일 때는 300개의 태그에서 233.9 kbps의 시스템 처리량을 가지는 반면 2-hop,

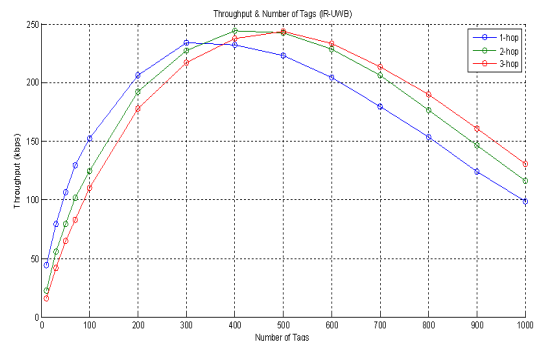


그림 11. 태그의 수에 따른 시스템 처리량의 변화 (UWB)
Fig. 11. System throughput as a function of the number of tags (UWB)

3-hop의 경우에는 각각 400개의 태그에서 244.2 kbps, 500개의 태그에서 243.4 kbps로 보다 높은 시스템 처리량을 가진다.

5.2 CSS 기반 프로토콜의 성능분석

표 8은 전송전력 0 dBm, 안테나 이득 0 dBi, AWGN 채널과 CM1 채널에서 각각 10^{-3} BER을 만족하는 SNR 값에 따라 Sensitivity -95 dBm을 만족하는 인식거리를 구한 결과로, AWGN 채널에서는 약 175.8m, CM1에서는 약 82.5m의 인식거리를 갖는다.

그림 12는 Sensitivity를 -100 dBm에서 -90 dBm까지 변화시키며 인식거리의 변화를 구한 그림이다. 릴레이 홉 수 증가에 따라 인식거리 또한 증가하는 것을

표 8. CSS 기반 프로토콜의 MCL 분석결과.
Table 8. MCL analysis results of CSS-based protocol.

Channel	Coverage (m)
AWGN	175.79236
CM1	82.45199

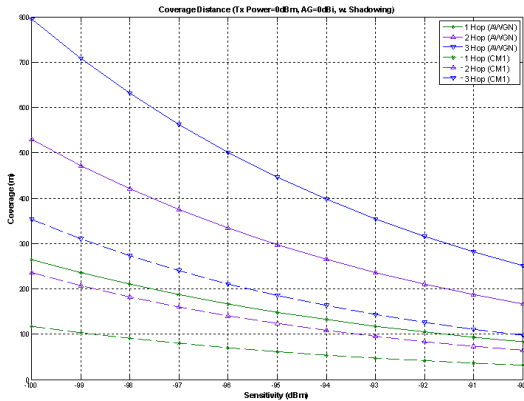


그림 12. Sensitivity 변화에 따른 인식거리의 변화 (CSS).
Fig. 12. Coverage as a function of the sensitivity (CSS).

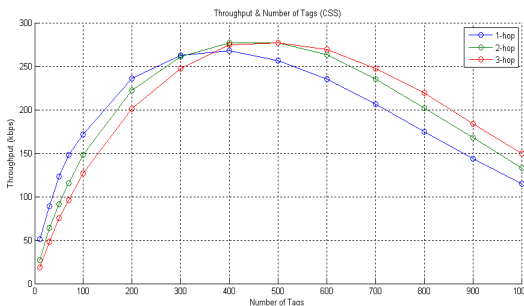


그림 13. 태그의 수에 따른 시스템 처리량의 변화 (CSS).
Fig. 13. System throughput as a function of the number of tags (CSS).

확인할 수 있다.

그림 13은 그림 10의 시스템 모델에서 한 프레임당 200개로 슬롯의 개수를 고정시킨 뒤 태그의 수를 변화시키며 시스템 처리량의 변화를 구한 그림이다.

그림 13에서 보듯이, 1-hop일 때는 400개의 태그에서 268.1 kbps의 시스템 처리량을 가지는 반면 2-hop, 3-hop의 경우에는 500개의 태그에서 각각 277 kbps, 277.1 kbps로 보다 높은 시스템 처리량을 가진다.

VI. 결 론

본 논문에서는 능동형 RFID 표준인 ISO/IEC 18000-7 및 EPCglobal Class 4 능동형 태그에 대하여 살펴보고, 시스템 처리량 및 인식 거리를 증가시키며 USN 응용을 위해서 능동형 RFID 릴레이 태그를 릴레이 AP로 사용하는 UWB 기반의 Class 4 능동형 RFID 프로토콜을 제안하였다. 또한, 제안한 UWB 기반의 Class 4 능동형 RFID 프로토콜의 성능평가를 위하여 Sensitivity에 의한 인식거리 및 시스템 효율과 같은 항목을 정의하였으며, MCL 분석과 SLS 분석을 통해 성능을 비교 및 분석하였다. 제안한 Class 4 능동형 RFID 시스템에서 릴레이 홉 수가 증가함에 따라 인식 거리는 증가하지만, 일정한 데이터 전송률을 유지하기 위한 데이터 전송시간도 증가하여 시스템 효율이 감소하는 것을 확인할 수 있다. 그리고 시스템 처리량 또한 1-hop의 경우보다 릴레이를 거치는 2-hop, 3-hop의 경우가 높은 성능을 보이는 것을 확인한다. 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 감소 및 시스템 구성비용의 절감 측면에서 보다 효율적이다.

참 고 문 헌

- [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] http://www.epcglobalinc.org/standards/TagClassDefinitions_1_0-whitepaper-20071101.pdf
- [4] 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.

- [5] J. Foerster, E. Green, S. Somayazulu, and D. Leeper, "Ultra-Wideband Technology for Short or Medium Range Wireless Communications," *Intel Technology Journal*, Q2, 2001.
- [6] 윤두영, 전수연, "UWB 기술 개요 및 주파수 정책 동향," *정보통신정책*, 통권 397호, 제 18권 13호, pp.1-20, 2006. 7.
- [7] IEEE 802.15.4a - 2007, part 15.4: Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications for Low-Rate Wireless Personal Area Networks (WPANs), Mar. 2007.
- [8] Moe Z. Win and Robert A. Scholtz, "Ultra-wide bandwidth time-hopping spread-spectrum impulse radio for wireless multiple-access communications," *IEEE Trans. Commun.*, Vol.48, No.4, pp.679-691, Apr. 2000.
- [9] Zahra Ahmadian and Lutz Lampe, "Performance analysis of the IEEE 802.15.4a UWB systems," *IEEE Trans. Commun.*, Vol.57, No.5, pp.1474-1485, May 2009.
- [10] Z. Tian and B. Sadler, "Weighted Energy Detection of Ultra-Wideband Signals," in *Proc. IEEE SPAWC05*, June 2005, pp.1068 - 1072.
- [11] 홍성현, 송인찬, 장홍, 장경희, 신동범, 이형섭, "ISO/IEC 18000-7 433MHz 능동형 RFID 시스템 기반의 인식거리 향상을 위한 멀티홉 릴레이 시스템," *한국통신학회 논문지*, 34권, 5호, pp.372 - 380, 2009. 05.
- [12] "IEEE 802.15.4a channel model - final report, document 04/662r0," <http://www.ieee802.org/15/pub/TG4a.html>, November 2004.
- [13] Nanotron Technologies GmbH, nanoLOC TRX data sheet, http://www.nanotron.com/EN/pdf/Factsheet_nanoLOC-NA5TR1.pdf
- [14] IEEE P802.15 Working Group for Wireless Personal Area Networks (WPANs) <http://www.ieee802.org/15/pub/05/15-05-0052-00-004a-sy>

mbol-interleaved-impulse-radio-cfp-presentation.ppt

홍성현 (SungHyun Hong)

준회원



2008년 2월 인하대학교 전자공학(공학사)
 2010년 2월 인하대학교 정보통신대학원 (공학석사)
 <관심분야> RFID / USN Systems, MAC Protocol, IEEE 802.11/15, 3GPP LTE

장홍 (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

장경희 (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, Mobile Ad-hoc Network, 해상/수중 통신 등

신 동 범 (Dong-Beom Shin)

정회원



1991년 2월 충남대학교 전자공
학과(공학사)

1993년 2월 충남대학교 전자공
학과(공학석사)

2000년~현재 한국전자통신연
구원 선임연구원

<관심분야> RFID System,

RTLS System, Network System

이 형 섭 (Heyung-Sub Lee)

정회원



1985년 2월 충남대학교 전자공
학과(공학사)

1994년 8월 충남대학교 전자공
학과(공학석사)

2002년 8월 충남대학교 전자공
학과(공학박사)

1991년~현재 한국전자통신연
구원 책임연구원/팀장

<관심분야> RFID System, RTLS System, Network
System