

RFID 태그간 메쉬 네트워킹을 위한 듀얼 라디오 태그 시스템

준희원 김진환*, 종신회원 유영환*^o

Dual-Radio Tag System for RFID Tag Mesh Networking

Jin-Hwan Kim* Associate Member, Younghwan Yoo*^o Lifelong Member

요약

본 논문은 태그간 메쉬 네트워킹 방법과 네트워크 간섭을 해결하기 위한 RFID 태그간 메쉬 네트워킹을 위한 듀얼 라디오 태그 시스템의 구현을 설명한다. 최근 항만 또는 물류창고에서 상품 선적 및 보관 등의 정보를 자동화 하기 위해 RFID 전자태그가 부착된 컨테이너, 팔레트의 이용이 확대되고 있다. 그러나 RFID 시스템은 항만이나 물류창고에 산재되어 있는 금속성 물체 등으로 인해 리더와 태그간의 통신을 방해하는 음영지역이 발생한다. 본 논문에서 제안한 통신 음영지역 문제점 해결하기 위한 방법은 다음과 같다. 리더와 태그간의 직접 통신이 가능한 지역은 ISO/IEC 18000-7 표준에 따라 433MHz 주파수 대역에서 통신하고 리더와 태그간의 통신이 불가능한 음영지역이나 리더의 통신 범위를 벗어난 지역에서는 IEEE 802.15.4 표준에 따라 2.4GHz 주파수 대역에서 태그간 메쉬 네트워킹을 이용하여 통신한다. 이 방법을 적용한 통신방식은 리더와 태그간 통신에서 존재하는 통신 음영지역의 해소에 큰 도움을 줄 수 있고, 리더를 추가로 설치하는 방식보다 설치비용 절감 효과를 기대할 수 있다. 그리고 네트워크 인프라가 갖추어져 있지 않은 곳에서도 태그간 메쉬 네트워킹을 이용하여 쉽고, 빠르고, 경제적으로 네트워크 인프라를 구축할 수 있다.

Key Words : Dead-zone, Dual-radio, Mesh, Multi-hop, RFID

ABSTRACT

This paper consists of two parts: the protocol for tag-to-tag mesh network and the implementation of dual-radio RFID system. Recently, RFID has been adopted in ports or warehouse, being attached to containers and pallets for loading/unloading automation. However, the RFID system has encountered one problem - some tags cannot receive any command from reader intermittently due to signal interference by containers or field equipments (e. g. cranes and yard tractors). This area where reader signal cannot reach is called dead-zone. The proposed method for solving the dead-zone problem is as follows. A zone which can be communicated directly between readers and tags communicates in 433MHz frequency band in compliance with ISO/IEC 18000-7 standard. On the other hand, dead-zone communicates in 2.4GHz frequency band by using tag-to-tag mesh network in compliance with IEEE 802.15.4 standard. The proposed method can not only save much cost to install additional readers but also help resolve the dead-zone problem. Furthermore, it can provide the easier, faster, and more economical network infrastructure.

I. 서론

RFID 시스템이 각광받고 있는 현재, 항만에서

쓰이고 있는 대표적인 RFID 기술은, 항만에 존재하는 물품들에 RFID 태그(예: 컨테이너에 부착되는 E-Seal 태그)를 부착하고 리더가 각 태그로부터 정

* "이 논문은 2009년 교육과학기술부로부터 지원받아 수행된 연구임" (지역거점연구단육성사업/차세대물류IT기술연구사업단)

* 부산대학교 컴퓨터공학과 유비쿼터스 컴퓨팅 연구실({compunix, ymomo}@pusan.ac.kr)^o : 교신저자

논문번호 : KICS2009-05-190, 접수일자 : 2009년 5월 9일, 최종논문접수일자 : 2009년 10월 15일

보를 수집하는 형태의 무선 네트워크로 이루어져 있다. 하지만 기존 RFID 기술의 고정 인프라는 높은 설치비용을 요하는 단점이 있다. 그리고 고정형 리더의 방식으로는 넓은 지역을 커버하기 어렵고, 항만에 산적되어 있는 금속 컨테이너의 통신 방해로 음영지역이 발생하는 문제점이 있다.

본 연구에서는 기존 RFID 기반 네트워크 방식의 문제점인 음영지역 내의 태그들의 정보를 리더가 직접 읽을 수 없는 문제점을 해결하기 위하여 태그간 메시 네트워크 방법을 사용하였다. 리더와 태그, 태그와 태그간의 통신에서 발생하는 주파수 간섭 문제 해결을 위해 듀얼 라디오를 이용한 RFID 시스템을 구현 하였다. II장에서는 기존 RFID 기반 네트워크 방식의 문제점인 통신 음영지역에 관한 다양한 해결방안들에 대해 설명하고, III장에서는 주파수 간섭에 대한 해결책을 제시한다. IV장에서는 리더와 태그간 통신 방법에 대해 설명하고 V장에서는 II장에서 제시한 음영지역 해소 방안 중 하나인 태그간 메시 네트워크 방법을 소개한다. VI장에서는 실제 구현된 태그간 메시 네트워크와 듀얼 라디오를 이용한 RFID 시스템을 설명하고 VII장에서는 듀얼 라디오 시스템의 구현 결과에 대해 설명한다. 마지막으로 VIII장에서는 앞으로 진행되어야 할 사항들에 관해서 언급하면서 결론을 맺는다.

II. 음영지역 해소를 위한 다양한 해결방안

RFID 기반 네트워크 방식에서 존재하는 통신 음영지역의 해소를 위한 방안으로는 다음과 같은 방법들이 있다. 고정형 무선 리더의 증설, 이동형 리더 설치, 그리고 본 논문에서 제안하는 태그간 메시 네트워크(Tag-to-Tag Mesh Network: T2T-MN) 엔진이 탑재된 태그와 태그간의 멀티 홉(multi-hop) 통신을 이용하는 경우이다.

2.1 고정형 리더 증설

통신 음영지역을 해소하기 위한 가장 손쉬운 방법은 고정형 리더를 증설하는 것이다. 하지만 고정형 리더의 증설은 여러 가지 문제점을 가지고 있다. 가장 큰 문제점은 항만 내에서 고정형 리더를 설치할 수 있는 장소가 제한되어 있는 것이다. 즉, 리더를 증설하려 해도 설치할 수 없는 경우가 발생한다. 또한 고정형 리더가 설치되었다고 하여도 항만에 산적해 있는 금속의 컨테이너에 의해서 모든 태그와의 원활한 통신이 불가능한 경우가 발생하게 된다.

2.2 이동형 리더 설치

위와 같은 고정형 리더의 통신 불가능상태를 해소하기 위해서 이동형 리더의 개발이 다수 진행되고 있다^{[10], [11]}. 이러한 이동형 리더는 고정형 리더의 문제점인 금속성 장애물에 의한 통신 음영지역 문제를 해소해 준다.

이동형 리더는 이동성의 장점으로 고정형 리더의 제한된 장소에 설치해야 하는 문제를 해결 할 수 있다. 그러나 이러한 이동형 리더에도 문제점은 있다. 이동형 리더는 배터리 같은 독립 전원이 제공되어야 하고 전원을 제공하기 위해 빈번한 배터리 교체로 인해 고정형 리더보다 높은 가격이 예상된다. 그리고 리더가 끊임없이 움직이게 되므로 네트워크를 구성할 때 핵심 요소인 네트워크 안전성의 확보가 어렵다. 또한 밀집된 금속의 컨테이너 때문에 깊숙이 위치한 태그는 이동형 리더로도 읽을 수 없는 음영 지역이 여전히 존재할 수 있고 이동형 리더를 운용하기 위한 차량과 인력 등 더 투입 되어야 하기 때문에 본 논문에서 제안한 듀얼 태그 시스템보다 비용 측면에서 좋다고 할 수 없다.

2.3 태그간 메시 네트워크

통신 음영지역을 해소하기 위한 마지막 방법으로는 그림 1과 같이 본 논문에서 제안하는 태그와 태그간의 메시 네트워크 방법이 있다.

태그간 메시 네트워크이란 리더와 직접 통신할 수 없는 RFID 태그의 경우 주변의 다른 태그를 통해 자신의 정보를 전달할 수 있도록 태그간 멀티 홉 통신이 가능하게 하는 방법이다. 이는 기존 고정형 무선 네트워크의 통신 음영지역 발생 문제와 이동형 무선 네트워크의 높은 가격 및 안정성 문제를



그림 1. 음영지역에서의 태그간 통신

보완할 수 있다. V장에서 통신 음영지역 문제를 해결하기 위해 본 논문에서 제안한 태그간 메쉬 네트워킹 방법에 대해서 보다 자세히 설명할 것이다.

III. RFID에 사용되는 주파수에 관한 고찰 및 주파수 간섭 해결방안

본 논문에서 제안하는 다중 홉 통신에는 리더와 태그, 태그와 태그간의 통신이 존재한다. 각각의 통신을 같은 주파수대역을 사용하게 되면 리더가 태그의 정보를 수집하기 위해 전송한 메시지와 태그간 통신을 위한 메시지가 서로 간섭하여 리더가 태그정보를 읽지 못하거나 태그간 메쉬 네트워킹이 불가능한 현상을 초래하게 된다.

주파수 간섭의 해결방안으로는 다음과 같은 방법들이 있다. 같은 주파수대역의 다중 채널을 사용하는 방법과 서로 다른 주파수 대역(Dual Radio Frequency)을 사용하는 경우이다.

3.1 RFID 주파수 대역

RFID에서 사용하는 주파수는 표 1과 같이 저주파(LF), 고주파(HF), 극초단파(UHF), 그리고 마이크로파로 나뉜다. 인식 거리는 전파 출력에 따라 달라지지만 일반적으로 아래 표의 내용과 같이 사용되고 있다. 그리고 고주파로 갈수록 인식 속도는 증가하지만, 환경에 민감하게 반응하는 특징이 있다¹⁾.

표 1. RFID 시스템에서 사용되는 주파수 대역

전파 분류	주파수 대역	인식 거리
Low Freq.(LF)	125kHz ~ 134kHz	~ 60 cm
High Freq.(HF)	13.56MHz	60 cm
Ultra High Freq. (UHF)	433.92MHz 860MHz ~ 960MHz	50 ~ 100 m 3.5 ~ 10 m (passive)
Microwave	2.45GHz	30 m

3.2 다른 채널을 사용하는 방법

주파수 간섭의 해결을 위한 가장 간단한 방법은 같은 주파수 대역을 사용하되 다른 채널을 사용하여 통신 하는 방법이 있다. 그러나 현재 항만에서 사용하고 있는 컨테이너에 부착되는 E-Seal 태그 등은 ISO/IEC18000-7표준을 따르고 있고 이 표준은 433MHz 주파수 대역 단일 채널을 가지므로 다른 채널을 사용 할 수가 없다.

3.3 서로 다른 주파수 대역(Dual Radio Frequency)을 사용하는 방법

주파수 간섭을 해결하기 위한 두 번째 방법으로는 본 논문에서처럼 듀얼 라디오 주파수를 사용하는 방법이 있다. 듀얼 라디오를 사용하면 서로 다른 주파수 대역에 맞춰진 두 개의 Radio Transceiver를 통해 주파수 간섭을 완전히 배제 할 수 있다.

IV. 리더와 태그간 통신 방법

4.1 리더와 태그간 통신 표준

본 연구에서 사용된 RFID 리더와 태그간 통신을 위한 표준은 ISO/IEC에서 명시하고 있으며 18000-7은 433.92MHz 능동형 RFID에 대한 표준을 명세하고 있다.

이 표준에서 정의하고 있는 물리계층에 대한 내용은 다음과 같다. 반송파 주파수는 433.92MHz를 사용하고 정확도는 $\pm 20\text{ppm}$ 이다. 변조 방식은 FSK(Frequency Shift Keying), 주파수 편차는 $\pm 50\text{kHz}$, 변조율은 27.7kHz이다. 그리고 수면상태(sleep)에 있는 태그를 깨우기 위해 30kHz의 부반송파를 사용한다.

데이터 링크 계층의 구성은 그림 2와 같이 크게 프리앰블(PREAMBLE)과 데이터(DATA BYTE) 부분으로 나뉜다. 프리앰블은 60 μs 길이의 20개 펄스와 마지막 싱크 펄스로 구성되어있다. 싱크펄스는 통신의 방향을 결정하게 된다. 42 μs high, 54 μs low는 태그에서 리더로의 통신이고, 54 μs high, 54 μs low는 리더에서 태그의 방향을 나타낸다. 데이터는 8비트와 1개의 stop 비트로 이루어진다. 다음으로 에러 체크를 위해 CRC 2바이트가 있고, 마지막으로 패킷의 끝을 나타내는 부분이 뒤따른다²⁾.

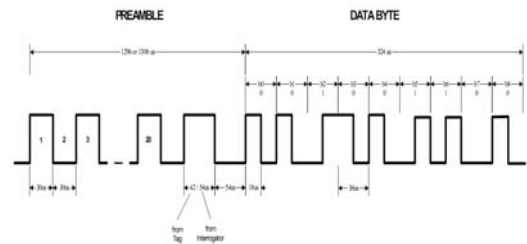


그림 2. ISO/IEC 18000-7표준의 데이터 통신 타이밍도

4.2 리더와 태그간 통신 방법

리더와 태그간 통신의 RFID 시스템 동작은 크게 broadcast와 P2P의 형태를 취한다. 그림 3은 리더에

Command Prefix	Command Type	Owner ID	Tag ID	Interrogator ID	Command Code	Parameters	CRC
1 byte (31)	1 byte (8 bits)	3 bytes	4 bytes	2 bytes	1 byte	N bytes	2 bytes

7	6	5	4	3	2	1	0
Reserved	Reserved	Reserved	Reserved	Reserved	1	0 => Broadcast (Tag ID not present) 1 => Point to Point (Tag ID present)	0 => Owner ID not present 1 => Owner ID present

그림 3. 리더에서 태그로 보내는 메시지 포맷

서 태그로 보내는 메시지 포맷을 보여주고 있다.

Command Type에 따라서 Broadcast와 P2P로 나누어지는데 Broadcast는 태그전체를 수집할 때 보내는 명령이고 P2P는 Broadcast를 통해 수집된 태그 정보를 이용해 특정 태그의 상세정보를 수집하거나 변경하기 위해 사용되는 명령이다.

4.2.1 Broadcast 통신

Broadcast 메시지는 리더의 RF 전송범위 내의 모든 태그들로부터 데이터 및 이력을 수집하고자 할 때 사용하는 메시지이다.

리더에서 Broadcast 명령을 내리면, 리더는 최소 2.5초 동안 wake up 신호를 전송하게 되고 Wake up 신호를 인지한 태그는 수면모드에서 깨어나 활성화 상태로 변경한다. 이때, 태그는 리더가 내린 명령어를 해석하여 그에 따른 응답을 수행한다. 리더가 둘 이상의 태그들로부터 데이터를 동시에 받게 되면 충돌이 발생하여, 올바른 데이터를 전달받을 수 없기 때문에 이 점을 해결하기 위해 Frame slotted ALOHA 기법을 사용한다. 메시지의 처리순서는 그림 4와 같다.

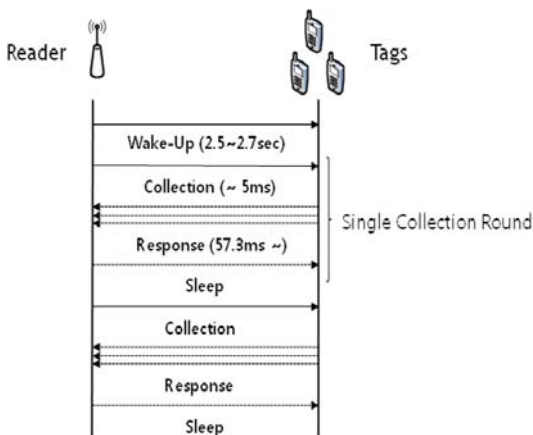


그림 4. Broadcast 통신 흐름

4.2.2 P2P 통신

P2P 메시지는 Broadcast를 통해 수집된 태그정보

를 이용해 특정 태그의 상세정보를 수집하거나 변경하기 위해 사용되는 명령이다. P2P 명령어 또한 Broadcast 명령과 마찬가지로 wake up 신호를 전송하고 태그는 리더가 내린 명령어에 따라 태그의 정보를 응답하거나 태그의 정보를 수정하는 역할을 수행한다.

그림 5는 P2P 명령을 처리하는 순서를 나타내고 있다.

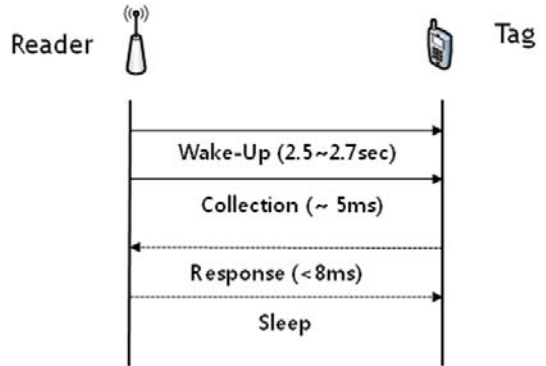


그림 5. P2P 통신 흐름

V. 태그간 메시 네트워크 방법

항간에 설치되어 있는 RFID 기반 네트워크 방식은 주파수 대역 433MHz를 기반으로 하고 있다. 이 주파수 대역의 인식거리는 약 50~100m로 알려져 있으나¹¹ 조밀하게 적재된 컨테이너들과 그 외 많은 장비들로 인해 실제 통신 거리는 이보다 훨씬 짧다. 더구나, 대개 금속성 재질인 컨테이너를 비롯한 많은 물품들이 신호의 음영 지역을 만들어 실제 평균 통신 거리는 30~40미터에 불과하다. 이런 이유로 50~100미터의 통신 거리를 예상하고 구축된 기존의 무선 네트워크 고정형 RFID 리더들은 작업장에 존재하는 모든 태그를 인식하지 못하는 문제가 발생한다.

이에 본 연구에서는 우선적으로 리더와 통신할 수 있을 경우에는 기존 고정형 리더를 통해 통신하고 리더와 직접 통신할 수 없는 RFID 태그의 경우 주변의 다른 태그를 통해 멀티 홉 방식으로 자신의 정보를 리더에게 전달할 수 있게 하는 메시 네트워크 방식을 이용해서 위의 문제를 해결하였다.

본 논문에서 제안하는 태그간 메시 네트워크 엔진은 RFID 기반 네트워크에서 발생하는 통신 음영 지역을 해소하기 위한 소프트웨어 엔진으로서 다음과 같은 특성을 지닌다.

5.1 메쉬 네트워킹 통신 표준

태그와 태그간의 통신 모드는 2.4GHz 대역을 사용하고 PHY 계층과 MAC 계층은 IEEE 802.15.4 표준을 따르며 네트워크 계층과 응용계층은 ZigBee 표준을 따른다.

IEEE 802.15.4 표준에서 정의하고 있는 PHY과 MAC 계층에 대한 내용은 다음과 같다. 사용하는 주파수 대역은 2400~2483.5MHz 대역에서 16개의 채널을 사용한다. 전송속도는 250Kbps 이며 O-QPSK 변조 방식을 이용한다.

PHY 영역에서는 아래와 같은 서비스를 지원한다.

- ※ 무선영역의 활성화 및 비활성화
- ※ 채널의 에너지 검출(Energy Detection)
- ※ 노드의 전송특성LQI(Link Quality Indication)
- ※ CSMA-CA 사용을 위한 CCA(Clear channel assessment) 지원
- ※ 채널의 선택(Channel frequency selection)
- ※ 데이터의 송수신

MAC 계층은 PHY의 상위계층으로 다음과 같은 서비스를 제공한다.

- ※ 네트워크에서 비컨의 동기화
- ※ PAN에서 등록(association),탈퇴(disassociation)
- ※ 장비 보안의 지원
- ※ 채널 접근을 위한 CSMA-CA 방식 이용
- ※ GTS(Guaranteed Time Slot) 방식의 작동과 유지 관리
- ※ ACK 프레임 사용
- ※ 프레임의 유효성 검사

ZigBee는 IEEE 802.15.4를 기반으로 상위계층의 표준을 제정하기 위한 그룹 모임이다. ZigBee연합은 저속 통신으로 배터리 수명이 수년까지 갈 수 있는 표준 기술을 개발하였으며 블루투스과 비교해 볼 때 칩 가격이 싸고, 전력소모가 적으며, 메쉬 네트워크 형태도 지원한다. 현재 네트워크계층, 응용계층의 표준화를 마친 상태로 본 연구에 적합한 프로토콜이다^{3), 4)}. 아래 그림 6은 IEEE 802.15.4기반의 ZigBee 계층을 나타내었다.

5.2 태그간 통신 방법

5.2.1 Broadcast 통신

태그간 메쉬 네트워킹에서 Broadcast 통신은 리더의 통신 범위 내에 있는 태그가 리더로부터

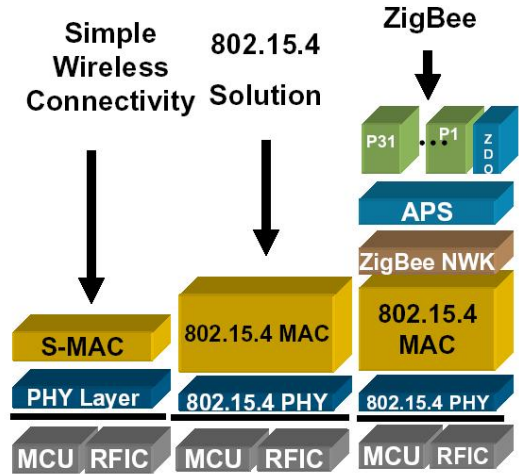


그림 6. IEEE 802.15.4와 ZigBee 계층

Broadcast 명령을 받으면 리더의 범위 밖에 있는 태그 정보까지 수집한다. 이를 위해 리더 통신 범위 내의 태그는 2.4Ghz 주파수 대역을 통해 이웃 태그들에게 수집명령을 Re-broadcast 한다.

5.2.2 P2P 통신

태그간 메쉬 네트워킹에서 P2P통신은 Broadcast를 통해 수집된 태그 정보를 기반으로, AODV 알고리즘을 통해 리더로부터 전송 받은 P2P수집 명령을 특정 태그에게까지 멀티 홉으로 전달한다. P2P통신에서 사용된 라우팅 방법은 3절에서 자세히 다룬다.

5.2.3 태그간 통신의 라우팅 방법

본 연구에서는 태그와 태그간의 P2P 통신을 위해 AODV(Ad hoc On-Demand Distance Vector Routing) 라우팅 프로토콜을 선택하였다. Reactive Routing Pro-tocol중의 하나의 AODV는 Ad-hoc 네트워크에서의 요구기반(On Demand)라우팅 프로토콜이다. Ad-hoc 네트워크 내의 모든 노드들은 데이터 전달이 없는 라우팅 경로 정보만을 라우팅 테이블에 유지 및 관리한다. 데이터 전달이 필요한 소스 노드는 요구기반 방식으로 목적지 노드까지의 최단 경로를 라우팅 경로 탐색 과정을 통해 찾아낸다.

AODV가 경로 탐색 및 유지관리를 위해 사용하는 메시지 형태는 RREQ(Route Request), RREP(Route Reply), RERR(Route Error), RREP-ACK(Route Replay Acknowledgement)의 4가지 타입이 있다. RREQ는 소스노드가 목적지 노드까지의 경로를 찾기 위해 사용되는 메시지 형태이며 RREP는

RREQ를 처음 송신한 소스노드에게 유니캐스트 방식으로 전달되는 형태이다. 그리고 RREP은 목적지 노드까지 가는 경로가 단절 되었을 때 소스노드에게 통보(notify)하기 위해 사용되며 RREP-ACK는 소스노드가 RREP를 수신 한 후 이에 응답을 위해 사용되는 메시지 타입이다.

그림 7의 (a)는 RREQ가 네트워크 내에 플러딩 방식으로 전달되는 모습이고, (b)는 RREP 메시지를 RREQ가 전송된 역방향의 루트를 통해 소스 노드로 전송하는 모습이다. 이때 RREQ를 전달했던 상위 노드들은 하위 노드의 라우팅 경로를 저장하게 된다. (c)는 이렇게 찾은 경로를 통해 데이터를 주고받는 모습이다⁵⁾.

본 연구에서 사용된 AODV알고리즘은 항만이나 물류 창고 등에서 특정 컨테이너나 화물의 정보를 조회해야 할 필요가 있을 때 동작하게 된다.

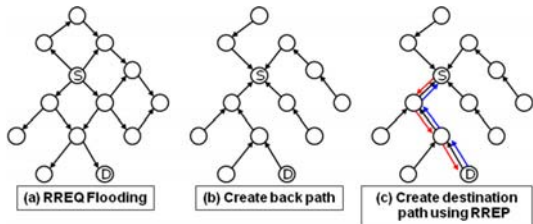


그림 7. AODV를 이용한 경로 설정

VI. 태그간 메쉬 네트워킹과 Dual Radio Frequency를 이용한 RFID 시스템

6.1 하드웨어 구성

그림 8은 본 연구를 위해 개발된 스마트 태그이다. MCU로는 ARM7TDMI 코어를 사용하는 AT91SAM7S256⁶⁾과 8bit 프로세서인 ATmega128 AVR⁷⁾이 사용되었고, 통신용으로 2.4GHz RF Transceiver인 CC2420⁸⁾과 433MHz RF Transceiver인 CC1100⁹⁾

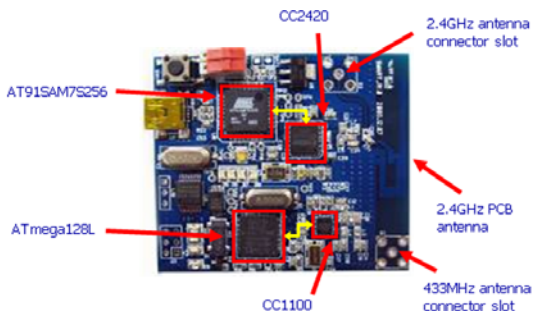


그림 8. 스마트 태그 하드웨어

이 사용되었다.

6.2 스마트 태그 시스템 구성

그림 9와 그림 10은 스마트 태그 내부와 리더와 태그간 데이터 흐름을 보여준다.

- ※ Data Flow #1 : 리더로부터 데이터를 전송 받은 CC1100 RF Transceiver는 ATmega128L MCU를 통해 AT91SAM7S256 MCU로 이동하여 CC2420 RF Transceiver를 통해 다른 태그로 전송한다.
- ※ Data Flow #2 : 다른 태그로부터 데이터를 전송 받은 CC2420 RF Transceiver는 AT91SAM7S256을 통해 ATmega128L로 이동하여 CC1100 RF Transceiver를 통해 리더

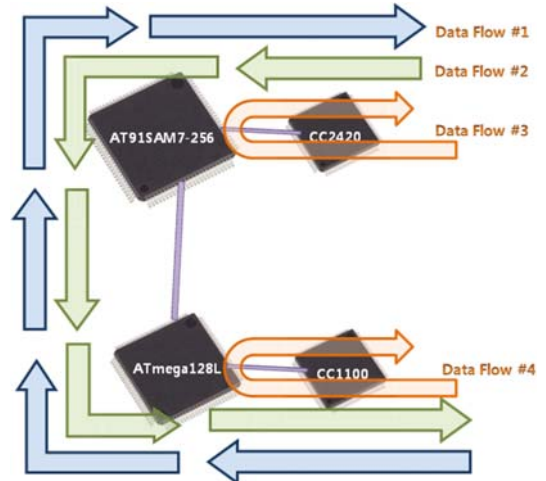


그림 9. 스마트 태그 데이터 흐름도

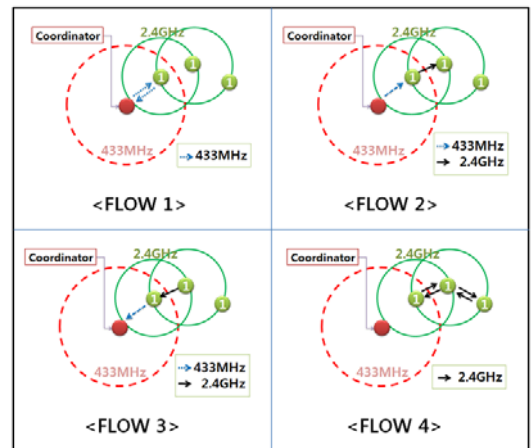


그림 10. 리더와 태그의 데이터 흐름도

로 전송한다.

- ※ Data Flow #3 : 다른 태그로부터 데이터를 전송 받은 CC2420 RF Transceiver는 AT91SAM7S256에서 데이터를 처리한 후 다시 CC2420 RF Transceiver를 통해 송신한 태그 또는 다른 태그로 전송한다.
- ※ Data Flow #4 : 리더로부터 데이터를 전송 받은 CC1100 RF Transceiver는 ATmega128 MCU에서 데이터를 처리한 후 다시 CC1100 RF Transceiver를 통해 같은 리더로 전송한다.

6.2.1 리더와 태그간 통신 모듈

그림 9의 스마트 태그의 데이터 흐름도에서 Data Flow1에 해당하는 통신 흐름으로서 ATmega128 MCU와 CC1100 RF 칩(433MHz)을 이용한 리더와 태그 간 통신이다. CC1100 칩을 통하여 리더에서 오는 명령어나 데이터를 처리하고, 이를 통해 다시 리더로 송신하게 된다. ATmega128에서 처리할 수 있는 것은 자체적으로 처리를 하여 리더로 전송하고, 그 외 경우에는 AT91SAM7S256의 공유메모리에 저장되어있는 데이터를 받아 처리한 후 값을 리더 받아 리더로 전송을 하게 된다.

6.2.2 태그간 통신 모듈

그림 9의 스마트 태그의 데이터 흐름도에서 Data Flow2, 3, 4에 해당하는 통신 흐름으로서 AT91SAM7S256 MCU와 CC2420 RF 칩(2.4GHz)을 이용한 태그 간 통신이다. 스마트태그끼리 서로의 정보를 교환하게 되는데, 각 태그에 있는 CC2420 칩을 이용하여 데이터를 송수신하게 된다.

6.3 OS포팅

본 연구에서는 AT91SAM7S256 MCU와 ATmega128 MCU에 μ C/OS-II를 포팅 하였다. 현재 개발된 태그 내에는 2개의 MCU가 서로 통신하고 있으며 각자 연결된 RF 제어 칩을 갖고 있다. 그러므로 중첩 인터럽트가 발생하고 이것을 OS에서 처리해주어야 한다. 그러므로 인터럽트가 들어왔을 때 높은 순위의 태스크가 실행되어야 하는 선점형 커널을 이용 해한다. 그리고 멀티태스킹이 가능한 경량 커널 중 가장 적합한 μ C/OS-II를 선택 하였다.

6.3.1 Main-MCU 동작

AT91SAM7S256 MCU는 스마트 태그의 Main-MCU로 동작을 하는데, 태그 간 통신 및 ATmega128 MCU와의 시리얼 통신을 위한 태스크가 있어야 한

다. 이를 위해 CC2420 RF Transceiver로 송수신하는 태스크들과 ATmega128 MCU와 통신하는 태스크를 생성한다.

- ※ 태스크 스케줄링: μ C/OS-II에서 기본적으로 생성되는 Idle 태스크 1개를 제외한 우선순위가 다른 4개의 태스크를 생성하였다. 각 태스크는 LED제어, UART 직렬 통신 제어, RF 통신 제어, 공유메모리 관리로 구성되어 있고 필요에 따라 태스크 추가가 가능하다. 스케줄링이 정상적으로 동작한다는 것은 μ C/OS-II 가 올바르게 포팅 되었음을 의미한다.
- ※ LED 제어: AT91SAM7S256 MCU에는 4개 황색 LED가 연결되어 있고 LED의 On/Off/Toggle 정보를 통하여 태그의 상태와 데이터 송수신 상태를 시각적으로 확인 할 수 있다.
- ※ UART 직렬 통신: AT91SAM7S256 MCU는 Serial port(COM port)를 통해 PC와 직렬 통신을 하는 기능과 MCU간 통신 기능이 있다. PC와의 직렬 통신은 Serial port를 통하여 데이터 송수신을 모니터링하고 디버깅을 할 수 있고 MCU간 통신 기능에서는 ATmega128 MCU와 데이터 전송을 담당하는 역할을 한다.
- ※ RF 통신 제어: AT91SAM7S256 MCU에 연결된 CC2420 RF Transceiver 제어를 담당한다. MCU에서 송신할 데이터를 RF모듈로 전달하는 역할과 RF모듈이 수신된 데이터를 처리하는 역할을 담당한다.
- ※ 공유메모리 제어: 공유메모리 공간은 AT91SAM7S256 MCU의 Internal SRAM에 위치하며, 라우팅 테이블을 저장하며 각종 상태 값을 저장한다. 스케줄링을 통하여 ATmega128 MCU로부터 받은 메시지를 처리하여 공유 메모리에 읽기, 쓰기 접근이 가능하다.

6.3.2 Sub-MCU 동작

ATmega128 MCU는 스마트 태그의 Sub-MCU 역할을 맡으며, 태그와 리더 간 통신을 담당하는 태스크와 담당과 AT91SAM7S256 MCU의 공유메모리에 접근하기 위해 시리얼 통신을 담당하는 태스크가 있어야 한다.

- ※ 태스크 스케줄링: μ C/OS-II에서 기본적으로 생성되는 Idle Task 1개를 제외한 우선순위

가 다른 3개의 태스크를 생성하였다. 각 태스크는 LED 제어, UART 직렬 통신 제어, RF 통신 제어로 구성되어 있고 필요에 따라 Task 추가가 가능하다. 그리고 이 3개의 태스크가 번갈아 가면서 서로 다른 LED를 각자 Toggle 하도록 구현하여 스케줄링이 정상적으로 동작함을 확인하였다. 스케줄링이 정상적으로 동작한다는 것은 $\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 가 올바르게 포팅 되었음을 의미한다.

- ※ LED 제어: ATmega128 MCU에 3개의 적/녹/황색 LED가 연결되어 있고 LED의 On/Off/ Toggle 정보를 통하여 태그의 상태와 데이터 송수신 상태를 시각적으로 확인할 수 있다.
- ※ UART 직렬 통신: ATmega128 MCU의 USART포트는 AT91SAM7S256 MCU의 USART포트와 직접 연결되어 직렬 통신을 한다. 이 직렬 통신을 통하여 Main-MCU와 데이터 송수신을 한다.
- ※ RF 통신 제어: ATmega128 에 연결된 CC1100 RF Transceiver제어를 담당한다. MCU에서 송신할 데이터를 RF모듈로 전달하는 역할과 RF모듈이 수신한 데이터를 전송 받아 처리하는 역할을 담당한다.

6.4 관리 시스템

관리 시스템은 태그들로부터 전송 받은 데이터를 DB에 저장하고 Manager모듈을 통해서 태그들의 수집 명령을 수행할 수 있다. 그림 11은 관리 시스템의 구성도를 보여준다.

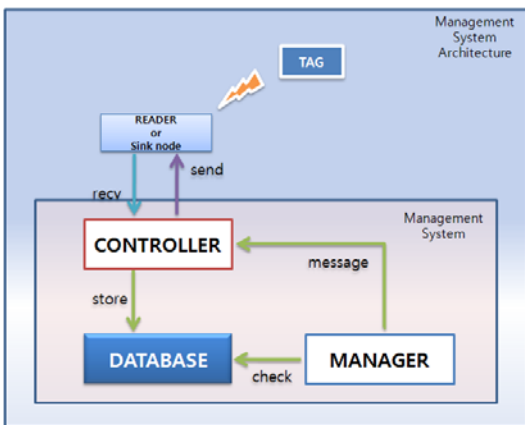


그림 11. 관리 시스템 구조도

- ※ 제어부: PC와 연결되어있는 리더는 태그로부터 전송 받은 데이터를 처리하여 DB로 태그의 정보를 저장, 관리부로부터 전달된 명령어 처리, 데이터의 송/수신 등을 담당한다.
- ※ 관리부: DB에 query를 보내 데이터를 수집하여 사용자 인터페이스를 제공하고 제어부로 데이터 수집, 특정 태그에 정보전송 등의 역할을 담당한다.

VII. 구현 결과

본 논문에서는 스마트 RFID 시스템의 검증을 위하여 9개의 태그를 이용하여 10번의 모의 실험하였다. 그림 12는 건물 내에 직접 태그들을 설치하여 메시 네트워크를 통한 리더와 태그간 다중 홉 통신을 보여준다. 상단의 좌측 그림은 리더가 모든 태그를 한번에 읽을 수 있는 1홉 내에 태그들을 위치시켰고 상단 우측의 그림은 리더들이 2홉의 태그를 직접 읽을 수는 없지만 1홉의 태그를 통하여 읽을 수 있도록 위치 시켰다. 그리고 하단에 위치한 그림은 3홉까지 태그를 위치 시켜서 태그를 읽을 수 있도록 하였다. 실제 향만이나 물류창고에서 리더가 태그를 읽을 때 3홉 이상 떨어지는 경우가 없기 때문에 3홉까지만 설정하여 실험하였다. 리더와 1홉 내의 태그 인식거리는 약 10미터, 태그와 태그간의 인식거리는 약 5미터로 전파 범위를 조절하여 실험하였다.

7.1 성능 분석

그림 13은 홉 카운트에 따른 태그 수집 비율을



그림 12. 리더와 태그간 단일 및 다중 홉 통신

나타낸다. 태그를 리더의 1홉 범위 내에 있을 때 기존의 방법(Single RFID)과 태그간 매쉬 네트워킹 방법(Dual RFID) 둘 다 모든 태그들이 수집되는 것을 확인 할 수 있지만 태그가 리더의 범위를 벗어났을 경우에 본 논문에서 제안한 태그간 매쉬 네트워킹 방법을 이용했을 경우에만 모든 태그들이 수집 가능함을 알 수 있다. 이 실험은 4번의 수집 명령을 했을 때 모든 태그가 수집되었기 때문에 4번의 수집 횟수를 기준으로 실험 하였다.

그림 14는 수집 횟수에 따른 태그 수집 비율을 나타낸다. 기존의 방법은 1홉 내에 모든 태그를 위치 시켰고 태그간 매쉬 네트워킹 방법은 그림 12의 하단의 모델로 배치 시켜서 실험 하였다. 제안한 방법을 사용하였을 때 첫 번째 수집 명령에서 50% 정도의 태그가 수집되었지만 두 번의 수집 명령에서 거의 모든 태그가 수집되었음을 알 수 있다.

그림 15는 3홉의 거리까지 위치시킨 Dual RFID

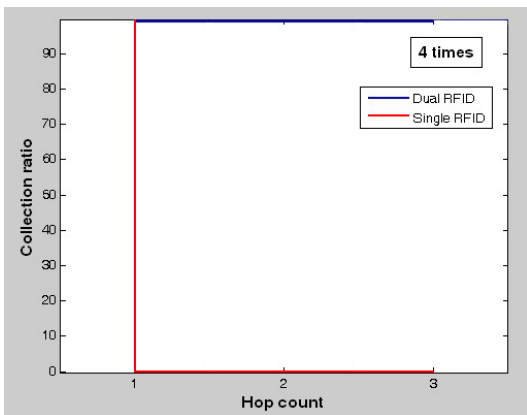


그림 13. 홉 카운트에 따른 태그 수집 비율

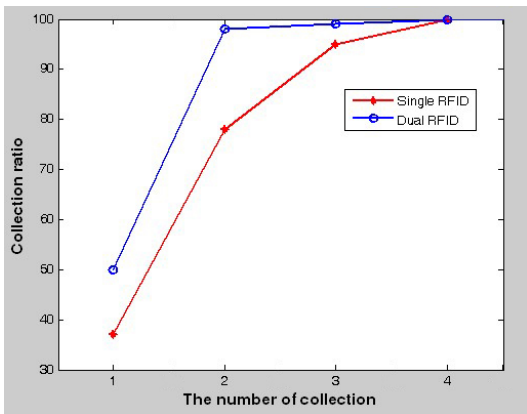


그림 14. 수집 횟수에 따른 태그 수집 비율

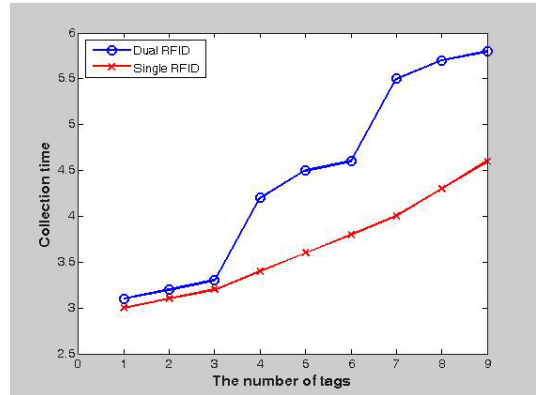


그림 15. 태그 수에 따른 수집 시간

시스템과 1홉 내의 Single RFID시스템의 태그 수에 따른 수집 시간을 나타낸다. Dual RFID 시스템에서 태그수집 시간은 wake-up 신호 2.5초 후부터 태그가 응답하기 때문에 1홉 내의 태그들은 약 3초쯤에 응답하였고, 2홉 내의 태그들은 약 4.5초를 전후하여 응답하였으며, 마지막으로 3홉에 있는 태그들은 약 5.5초 후반 대에 응답 한 것을 알 수 있다. 반면 Single RFID시스템은 약 4.5초가 걸렸다.

7.2 태그정보의 수집과 Viewer

그림 16은 그림 12의 실험에서 수집된 태그 정보가 DB에 저장된 것을 보여주는 관리 시스템화면의 일부이다. 그림에서 왼쪽 테이블이 수집된 태그들의 기본 정보이고 오른쪽 테이블이 각각 태그의 상세 정보를 보여준다.

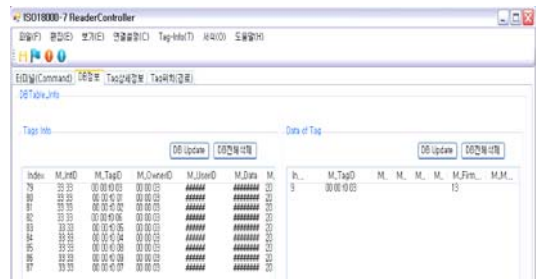


그림 16. 관리 시스템을 통한 태그 수집 정보

7.3 UART를 통해 들어온 태그정보

그림 14는 UART Serial port를 통해 전송 받은 실제 태그로부터 수집된 데이터를 보여주는 화면과 실험에 사용된 태그들의 모습이다.

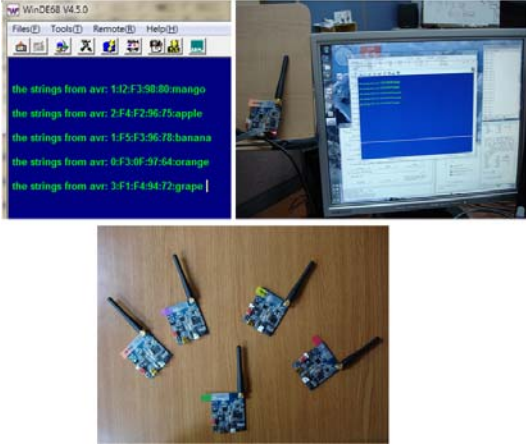


그림 17. 태그 정보 수집 창과 실제 태그 모습

VIII. 결 론

본 논문에서는 음영지역 해소를 위해 듀얼 라디오를 이용하여 리더와 태그간의 통신, 태그간 메쉬 네트워킹을 구현하였다. 이 방법을 적용한 통신방식은 리더와 태그간 통신에서 존재하는 통신 음영지역의 해소에 큰 도움을 줄 수 있고, 리더를 추가로 설치하는 방식보다 설치비용 감소 효과를 기대할 수 있다. 그리고 네트워크 인프라가 갖추어져 있지 않은 곳에서는 태그간 메쉬 네트워킹을 이용해 쉽고, 빠르고, 경제적으로 네트워크 인프라를 구축할 수 있다. 그러나 두 개의 MCU와 RF Transceiver를 사용하기 때문에 단일 주파수 대역을 사용하는 태그에 비해 전력소모가 많아지게 된다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 433MHz대역의 1홉 내의 태그들은 wake-up 신호를 받았을 때에만 동작하게 되고 그렇지 않을 경우에는 sleep모드로 들어가서 전력소모를 줄이는 방법을 택했다. 그리고 2.4GHz대역의 멀티 홉 통신은 Zigbee기반의 AODV알고리즘을 사용하여 전력 소모를 줄이고자 하였다.

향후 보다 효율적이고 안정적이고 긴 수명의 RFID시스템을 제공하기 위하여 전력 소모를 줄일 수 있는 자가 충전(self-charge), 효율적인 라우팅 구성 등의 추가 연구가 필요하고, 또한 보안 프로토콜을 적용하여 안전한 시스템을 지향한 방안에 대한 연구가 필요 할 것이다.

참 고 문 헌

- [1] Klaus Finkenzeller, "RFID Handbook: fundamentals and applications in con-tactless smart cards and identification", 2003
- [2] ISO/IEC, 18000-7 International Standard, 2004.
- [3] IEEE, "Part 15.4: Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications for Low-Rate Wireless Personal Area Networks (WPANs)", IEEE Computer Society, 2006.
- [4] Sinem Coleri Ergen, "ZigBee/IEEE 802.15.4 Summary", ZigBee Alliance, 2004.
- [5] C.Perkins, E.Belding-Royer and S.Das, "Ad-Hoc On-demand Distance Vector (AODV) Routing", IETF RFC 3561, 2003.
- [6] Atmel, AT91SAM7S256 datasheet, 2005.
- [7] Atmel, Atmega128 (L) datasheet, 2005.
- [8] Texas Instruments, CC2420 datasheet, 2006.
- [9] Texas Instruments, CC1100 datasheet, 2007.
- [10] Ickjin Kwon, Yunseong Eo, Heemun Bang, Kyudon Choi, Sangyoon Jeon, Sungjae Jung, Donghyun Lee, Heungbae Lee, "A Single-Chip CMOS Transceiver for UHF Mobile RFID Reader", IEEE Journal of Solid-State Circuits, Vol.43, No.3, March 2008
- [11] Michael Lin, Hosam Rowaihy, Timothy Bolbrock, Guohong Cao, Thomas La Porta, "Data Collection Using RFID and a Mobile Reader", Global Telecommuni-cations Conference, 2008. IEEE GLOBECOM 2008. IEEE, pp.1-6, Nov. 30 2008-Dec. 4 2008

김진환 (Jin-Hwan Kim)

준회원



2008년 2월 동명대학교 컴퓨터 공학과 졸업

2008년 3월~현재 부산대학교 컴퓨터공학과 석사과정

<관심분야> WSN, RFID/USN, Zigbee, Embedded System

유 영 환 (Younghwan Yoo)

중신회원



1996년 2월 서울대학교 컴퓨터공학과 졸업

1998년 2월 서울대학교 컴퓨터공학과 석사

2004년 2월 서울대학교 컴퓨터공학과 박사

2004년 5월~2006년 12월 미국신시내티 대학교 전기컴퓨터공학부 연구원

2007년 3월~현재 부산대학교 정보컴퓨터공학부 조교수

<관심분야> 센서네트워크, RFID/USN, 애드혹통신