

항만 물류용 RFID 리더-태그 간 다중 홉 통신 구조

정회원 유영환*, 준회원 김진환*

Multi-hop RFID Reader and Tag Communication Architecture for Port Logistics

Younghwan Yoo* *Regular Member*, Jin-hwan Kim* *Associate Member*

요약

최근 급속히 발전하고 있는 RFID 기술의 대표적인 이용 사례로는 항만에서의 사용을 들 수 있다. 실제로 미국 및 유럽의 항만에서는 넓은 작업장에 산재한 컨테이너와 각종 장비들에 433MHz 능동형 태그를 부착하고, 이를 기반으로 게이트 자동화, 컨테이너 선적 및 하역의 자동화, 각종 장비의 위치 파악 및 관리를 수행하고 있다. 그러나, 완전한 자동화를 위해서는 해결해야 할 문제가 있다. RFID 통신의 기본 구조는 리더가 자신의 통신 범위 안에 있는 태그와 직접 통신만을 할 수 있는데, 항만에서는 금속성의 컨테이너와 각종 장비들에 의한 전파 방해 때문에 음영지역(dead-zone)이 발생하여 모든 태그의 정보를 완벽히 수집하지 못하는 경우가 있을 수 있다. 음영 지역 문제는 몇 가지 방법으로 해결 가능하지만, 본 논문에서는 그 중 가장 경제적인, RFID 태그 간의 다중 홉(multi-hop) 통신을 이용한 방법을 제안한다. 기존에 지원되지 않던 태그 간의 다중 홉 통신이 기존의 통신 구조와 병립되어 서비스 되기 위해 필요한 새로운 통신 구조를 자세히 살펴볼 것이다.

Key Words : active tag, dead-zone, multi-hop communication, port logistics, RFID/USN

ABSTRACT

The RFID technology has attracted much attention these days due to the far better efficiency than the bar-code and magnetic card system. As an important usage, the 433 MHz active RFID tag was already adopted to the container ports in the United States and Europe for container loading/unloading automation and equipment location. However, there is one problem to be solved for the complete automation. RFID readers support only the direct communication with tags within their RF communication range. Then there are a lot of containers and equipments such as crane, yard tractor, and forklift in ports; and because they are made of metal, they interfere the RF communication, resulting in the occurrence of the *dead-zone*. In the *dead-zone*, RFID tags cannot receive any signal from readers. There may be several solutions to resolve the *dead-zone* problem. Among them, this paper suggests the most economical solution where RFID tags in the *dead-zone* can communicate with readers via neighbor tags in the multi-hop manner. The new RFID communication architecture should be carefully designed in order to maintain the compatibility with the previous standard. Our experiment shows that the proposed architecture works well even in the case where some tags are out of the RF range of reader.

I. 서론

최근까지 바코드 시스템과 마그네틱 카드 시스템

이 우리 생활에 밀접하게 이용되어 왔다. 하지만 생산 방식의 변화, 소비자 의식의 변화, 문화 및 기술의 진보, 바코드와 마그네틱 카드의 단점 해소 요구

※ 이 논문은 부산대학교 자유과제 학술연구비(2년)에 의하여 연구되었음.

* 부산대학교 정보컴퓨터공학부 유비쿼터스 컴퓨팅 연구실(jymomo, compunix)@pusan.ac.kr

논문번호 : KICS2008-11-510, 접수일자 : 2008년 11월 18일, 최종논문접수일자 : 2009년 3월 26일

등은 RFID(Radio Frequency IDentification) 시스템의 개발을 요구하게 되었다. 이렇게 개발된 RFID 시스템은 무선으로 사람, 물건, 동물 등을 인식, 추적, 식별할 수 있는 기술로서 유통/물류, 차량통제, 재고관리 등에 사용되고 있다¹⁾.

RFID 시스템의 다양한 용도 가운데 현재 항만에서 쓰이고 있는 대표적인 RFID 기술은 각 항만에 존재하는 물품들에 RFID/RTLS 태그(예: 컨테이너에 부착되는 E-Seal 태그)를 부착하고 리더가 통신 범위 내의 각 태그로부터 정보를 수집하는 형태의 무선 네트워크 기술이다. 하지만 기존의 고정형 리더를 통한 리더-태그 통신은 높은 설치 비용과 설치 장소의 제한으로 인해서 전체 지역을 충분히 커버하지 못하는 단점이 있다. 또한, 비록 충분한 수의 고정형 리더를 설치할 수 있다고 하여도 항만에 산적되어 있는 금속 재질의 컨테이너와 크레인, 야드 트랙터 등의 전파 방해로 인해 통신 음영지역(dead zone)이 발생하게 된다. 태그가 음영지역에 들어가게 되면 리더와의 직접적인 통신이 불가능해진다.

이러한 음영 발생 문제에 대한 해결 방안으로는 다음과 같은 세 가지 방법들이 있다. 첫째, 가장 쉽게 생각할 수 있는 방법으로 음영이 자주 발생하는 장소에 고정형 무선 리더를 증설할 수 있다. 그러나, 이 방법에는 몇 가지 문제가 따르는데, 우선 가장 큰 문제점은 항만 내에서 고정형 리더를 설치할 수 있는 장소가 제한되어 있는 것이다. 항만에는 조밀하게 야적된 컨테이너들 사이로 야드 트랙터나 지게차 등을 위한 이동 경로가 확보되어야 하고 곳곳에 크레인, 리프트 등 장비를 위한 공간도 있어야 하기에, 리더를 설치할 수 있는 장소는 야적장 중간 중간에 마련된 조명탑 정도로 국한된다. 게다가 고정형 리더가 충분히 설치되었다고 해도 금속성의 대형 장비와 컨테이너에 의해서 태그와의 원활한 통신이 방해받는 경우가 계속 발생하게 된다.

두 번째 방법은 이동형 리더의 개발과 도입이다. 이동형 리더들은 항만 내 작업 차량들에 부착되어 차량으로부터 지속적인 전원을 공급받으면서 주변에 있는 태그들의 정보를 수집한다. 하지만, 이러한 이동형 리더에도 문제점은 있다. 먼저 특정지역에서의 지속적인 통신 음영지역 문제를 들 수 있다. 접근이 어려운 지역, 예를 들면 작업 차량의 이동 경로에서 가장 먼 지역, 가장 높은 곳에 적재된 컨테이너에 부착된 태그의 경우 이동형 리더 역시 통신이 불가능할 가능성이 있다. 또한, 리더가 끊임없이 움직이게 되므로 네트워크 토폴로지의 잦은 변화로 인한

메시지 부하가 발생하고 네트워크 안전성의 확보가 어렵다. 고정형 리더보다 2~3배에 이를 것으로 예상되는 가격도 이동형 리더의 또 다른 문제점이다.

음영지역 해소를 위한 마지막 방법은 본 논문에서 제시하는 바와 같이, 현재의 리더-태그 간 직접 통신 방식에 부가적으로 이웃 태그들을 통한 다중 홉(multi-hop) 방식의 리더-태그 통신을 이용하는 경우이다. 통신이 가능한 경우에는 직접 리더와 통신하지만, 태그가 음영지역 내에 위치한 경우에는 이웃한 다른 태그를 통해 데이터를 리더에 전달하도록 한다. 이 방식은 고정형 리더를 새로이 설치해야 하는 문제나 고가의 이동형 리더를 구입해야 하는 문제 등을 피할 수 있다. 하지만, 이 방법에도 문제점은 존재한다. E-Seal 등 현재 항만에서 사용되는 RFID 태그는 433MHz 대역에서 동작하는 능동형 태그로서 리더와의 통신은 ISO/IEC 18000-7 표준²⁾을 따르고 있다. 그런데, 해당 표준은 리더와 태그 간의 직접 통신만 명세하고 있으므로 리더와 태그 사이의 다중 홉 통신에 대해서는 새로운 구조를 설계해야만 하고, 따라서 본 논문은 이 새로운 구조에 대한 제안을 담고 있다.

이 논문은 다음과 같이 구성되어 있다. 먼저 2장에서는 항만 물류 RFID 리더-태그 통신의 표준인 ISO/IEC 18000-7의 기본 특징을 요약한다. 3장에서는 리더-태그 다중 홉 통신을 위한 통신 구조를 제안하고, 4장에는 실험 과정 및 결과 분석을 담았다. 5장에서는 현재 실험의 한계 극복 및 제안 방법의 성능 향상을 위한 향후 과제를 설명하였고, 마지막으로 6장은 본 연구의 결론이다.

II. 관련 연구

ISO/IEC 18000-7 표준²⁾은 RFID 리더-태그 통신에 사용되는 433MHz 능동형(active) 태그 통신의 air interface를 명세하고 있다. RFID 시스템은 태그와 리더로 구성되는데, 리더는 기본적으로 통신 범위 내에 존재하는 태그를 인식할 수 있어야 하며, 각종 명령어를 태그에 전달하고 그에 대한 응답을 받을 수 있어야 한다. 한편, 태그는 각각 고유한 ID를 가지며, 리더의 명령에 응답하거나 리더로부터 전달된 데이터를 저장할 수 있어야 한다. 한 개의 태그가 동시에 전송을 시도하여 충돌 등 에러가 발생할 경우는 리더와 태그 모두 이를 감지할

1) 표준 문서의 영문 용어는 interrogator (질문기, 호출기)

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

그림 1. RFID 리더의 명령어 형식

수 있어야 하고, 재전송이나 적절한 충돌 회피 방법을 통해 전송 에러에 대응해 나가야 한다.

표준상의 리더-태그 간 통신은 언제나 리더가 먼저 그림 1 형식의 명령어를 보냄으로써 시작된다. 이 명령어들은 크게 브로드캐스트(broadcast) 명령어와 유니캐스트(unicast) 명령어로 나눌 수 있는데, 브로드캐스트 명령어는 리더의 통신 범위 내에 있는 모든 태그에게 전달되지만 유니캐스트 명령어는 Tag ID 필드에 지정된 특정 ID를 가진 태그만이 수신하도록 되어 있다. Interrogator ID는 리더의 ID를 나타낸다. 브로드캐스트 명령어 중 가장 기본적인 것은 Collection 명령어인데, 이는 리더의 RF 통신 범위 내에 있는 모든 태그의 ID를 수집하는 것이다. 또한, Collection with Data나 Collection with User ID 역시 브로드캐스트 명령어인데, 태그 인식과 함께 특정 위치의 데이터나 태그의 User ID를 함께 수집하기 위해 사용한다. RFID의 원래 목적이 사물의 “인식”이라는 것을 고려했을 때 이는 가장 기본적인 명령어라고 할 수 있다. 이들 브로드캐스트 명령어에 대한 태그들의 응답은 slotted ALOHA 방식으로 전달되는데 응답 메시지 간에 충돌이 일어나서 한 번에 모든 태그 정보를 얻을 수 없는 경우가 있으므로, 이 Collection 명령어는 여러 번 반복된다.

유니캐스트 명령어로는 특정 태그의 상태 정보를 요구하는 Status 명령어와 태그상의 각종 정보를 변경하거나 저장하기 위한 User ID, Owner ID, Set Password 명령어 등이 있다. 한편, 유니캐스트 명령어 중 특이한 것으로 Sleep 명령어가 있다. RFID 태그는 리더가 명령어를 보내기 전까지는 동작하고 있을 필요가 없기 때문에, 리더가 한 번의 Collection을 수행한 후에는 그때 인식된 태그들에게 Sleep 명령어를 보내 태그들의 프로세서를 수면 모드(sleep mode)로 들어가게 한다. 리더는 특수한 비콘(beacon) 신호인 Wake Up 신호를 보냄으로써 통신 범위 내에 있는 모든 태그들을 수면 모드에서 깨울 수 있는데, 태그들은 이 신호를 받으면 준비 상태(ready state)에서 리더의 다음 명령어를 기다린다.

표준에서 Wake Up 신호는 초저전력 송수신기를 이용하여 30kHz 대역의 신호를 2.5~2.7초 정도 지속할 것을 규정하고 있다. 그림 2는 Wake Up 신호부터 Collection 명령어와 태그의 응답, 그리고 Sleep 명령어의 전송 순서를 나타낸 것이다. 하나의 Collection 명령어부터 Sleep 명령어까지를 하나의 Collection Round라고 부르는데, 총 시간은 기본적으로 62ms 정도이다.

그림 3과 4는 브로드캐스트 명령어와 유니캐스트 명령어에 대한 태그 응답 메시지의 형태이다. 다른 필드들은 주로 태그가 가지고 있는 각종 ID 정보를 담고 있어서 명확한데, Tag Status 필드의 내용은 설명이 다소 필요하다. 이 필드는 두 응답 메시지에 공통적으로 존재하는데, 리더로부터 명령어를 제대로 전달받았는지, 받은 명령어가 브로드캐스트 명령어인지 유니캐스트 명령어인지, 태그의 특징 및 배터리 전원의 잔존량이 충분하지 등의 정보를 나타내기 위해 사용된다. 향후 본문에서 제안된 네트워크와의 비교를 위하여 Tag Status 필드의 최상위 4비트를 그림 5에 나타내었다. 해당 4비트의 값이 0000 이면 브로드캐스트 명령어에 대한 응답이고, 0010 이면 유니캐스트 명령어에 대한 응답이다.

그런데, 앞서 언급했듯이 18000-7 표준상의 RFID 리더는 자신의 통신 범위 내에 존재하는 태그들을 인식하고, 이들과 통신한다. 그림 6에서 보듯이 AP의 통신 범위 내에 있는 이동 노드들만 네트워크에

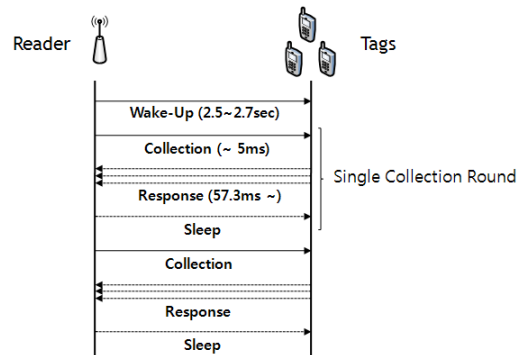


그림 2. Collection Round 수행 순서

Tag Status	Message Length	Int ID	Tag ID	Owner ID	User ID	Data	CRC
2 bytes	1 byte	2 bytes	4 bytes	3 bytes	0-16 bytes	0 - N bytes	2 bytes

그림 3. 브로드캐스트 명령어에 대한 태그의 응답 메시지 형태

Tag Status	Message Length	Int ID	Tag ID	Command Code	Parameters	CRC
2 bytes	1 byte	2 bytes	4 bytes	1 byte	N bytes	2 bytes

그림 4. 유니캐스트 명령어에 대한 태그의 응답 메시지 형태

Mode field	Mode format code (bit15 - 12)
Broadcast Command	0000
Point to Point Command	0010

그림 5. Tag Status 필드 형식

참여할 수 있는 무선 랜의 경우처럼 RFID 통신도 리더와 태그가 직접 통신하는 단일 홉(single-hop) 방식의 통신만을 지원한다. Mesh 네트워크의 경우와는 달리 RFID 통신에서는 리더의 통신 범위 밖에 있는 태그가 다른 태그를 통해 리더와 통신하는 다중 홉(multi-hop) 방식은 지원되지 않는다.

이는 다시 말하면, 기존 방법으로는 리더의 범위를 벗어난 태그는 인식할 수 없다는 뜻이다. 물론, 리더와 태그의 RF 통신 범위를 고려하여 리더를 충분히 설치함으로써 문제를 해결할 수도 있겠지만, 컨테이너가 최대 5단까지 쌓여 있고 크레인, 리프트, 야드 트랙터 등 대형 장비들이 산재한 항만같은

환경에서는 전파의 전송 거리가 들쭉날쭉 해서 알려진 통신 범위까지 서비스가 불가능한 경우가 많다. 더구나 해당 장비나 컨테이너의 재질이 금속이기 때문에 RF 전파의 진행이 크게 방해를 받거나 다중 경로 페이딩(multipath fading) 현상 등으로 전달된 신호조차 제대로 인식할 수 없게 된다. 이러한 이유로 RFID에 센서를 결합한 개념인 USN(Ubiquitous Sensor Network)에서는 센서 태그 간 다중 홉 통신 방식으로의 진화를 이루어 현재 리더의 전파 도달 범위로 제한되어 있는 네트워크 서비스 범위를 확장하는 것을 목표로 하고 있다^[3]. 하지만, 이러한 새로운 방식은 현재 433MHz RFID 통신 표준인 18000-7과의 불일치를 가져오므로, 기존 방식과의 호환을 유지하면서 다중 홉 통신을 지원할 수 있는 구조가 먼저 개발되어야 한다.

III. RFID 리더-태그 간 다중 홉 통신 구조

3.1 RFID 태그 하드웨어

그림 7은 본 연구를 위해 개발된 RFID 태그이다. 항만에서의 사용과 ZigBee^[4] 응용을 모두 고려하여 433MHz와 2.4GHz를 모두 지원하는 듀얼 모드 태그로 개발되었다. 433MHz 통신을 위해서는 CC1100을, 2.4GHz 통신을 위해서는 CC2420 RF chip을 선택하였다. 또한 마이크로 컨트롤러(MCU: Micro-Controller Unit)로는 AT91SAM7S256을, co-operator로서는 ATmega128L을 사용하였다.

3.2 리더-태그 다중 홉 통신 기본 구조

제안하는 방식에서는 그림 8에 보인 것처럼 이웃 태그를 통한 리더와의 통신이 가능하다. 그림에서 태그 5와 6은 리더의 RF 통신 범위 밖에 있고, 태그의 RF 통신 거리 역시 리더에 미치지 못하기 때

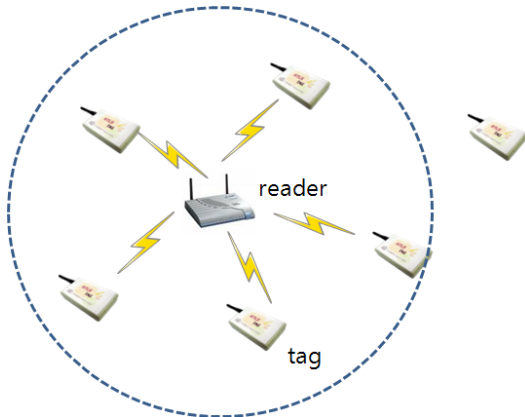


그림 6. RFID 리더-태그 통신의 형태

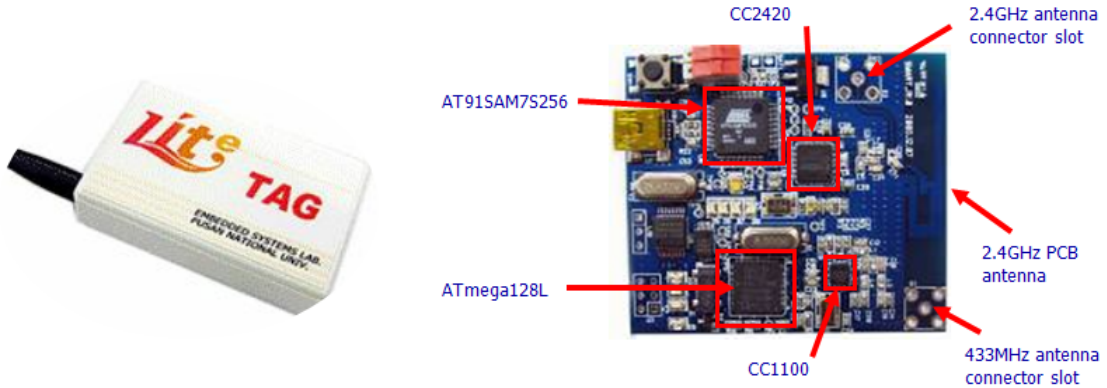


그림 7. 듀얼 모드 RFID 태그

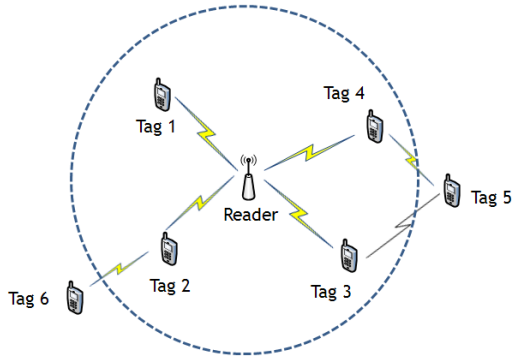


그림 8. RFID 리더-태그 다중 홉 통신

문에 기존 방법에서는 통신이 불가능하다. 반면, 제안 방식에서는 태그 4와 태그 2가 이들의 패킷을 중계해 주기 때문에 리더와 통신이 가능하다. 그러나, 이러한 패킷 중계 방식은 기존의 표준과 맞지 않으므로 RFID 태그를 위한 새로운 프로토콜의 개발이 요구된다. 해당 네트워크에는 기존의 표준인 ISO/IEC 18000-7만을 지원하는 태그도 존재할 수 있으므로, 리더 운영 체제는 변경하지 않으면서 리더로부터의 명령어와 태그로부터의 응답 메시지가 중계될 수 있도록 했다.

3.3 Wake Up 신호

ISO 표준에 따르면 태그에 명령어를 전달하기 위해서는 먼저 Wake Up 신호를 보내 태그들을 수면 상태에서 깨워야 한다. 하지만, 본 과제에서 사용하는 듀얼 모드 태그(그림 7)는 433MHz 통신을 위해 CC1100 RF chip을 채택했는데, 이 칩은 MCU의 개입없이 스스로 주기적인 수신 모드 폴링(receive mode polling)을 하면서 수신부에 도착한

패킷이 있는지 검사하고, 각 폴링 주기 사이에서는 수면 모드로 동작한다. RF 칩의 이러한 자동 폴링 기능 덕분에 태그의 MCU는 계속 수면 상태에 있다가 수신부에 실제 패킷이 도착했을 때만 인터럽트를 받고 깨어나 패킷을 처리할 수 있기 때문에 에너지 소비가 극히 적다. 이러한 기능을 Wake-on-Radio[5]라고 부른다. 결과적으로, 본 논문의 RFID 네트워크에서는 표준상의 Wake Up 신호를 구현하지 않아도 된다. Wake Up 신호는 어차피 태그의 응답을 받아야 하는 명령어가 아니라 수면 상태의 태그들에게 명령어 수신을 준비시키기 위한 것이므로 Wake-on-Radio 기능이 있는 태그에서는 더 이상 이에 대해 신경 쓸 필요가 없다. 리더도 Wake Up 신호에 대한 응답을 요구하지 않기 때문에 표준과의 호환성에도 문제는 없다.

3.4 브로드캐스트 명령어의 처리

리더의 명령어는 리더 RF 통신 범위 내의 태그에서 외부 태그로 중계되어야 한다. 명령어 중 가장 먼저 전송되는 명령어는 RF 범위 내의 태그 정보를 수집하기 위한 Collection 명령어인데, 제안된 네트워크에서는 이것을 받은 태그가 다시 브로드캐스팅하도록 한다. 예를 들면, 그림 8에서 태그 1~4는 리더로부터 직접 Collection 명령어를 받게 되는데, 임의의 지연 시간을 두고 이 명령어를 다시 브로드캐스팅한다. 그림 1의 명령어 형식 중 Tag ID 필드는 원래 브로드캐스트 명령어에서는 필요없지만, 본 네트워크에서는 Collection 명령어를 재방송(rebroadcasting)한 태그 ID를 담음으로써 해당 명령어가 어느 태그를 통해 전달되어 왔는지 알 수 있도록 한다. 그림 9는 태그에 의해 재방송된 브로드캐스팅 명령어 형식이다. 재방송 명령어는 Rebroadcasting Tag ID를

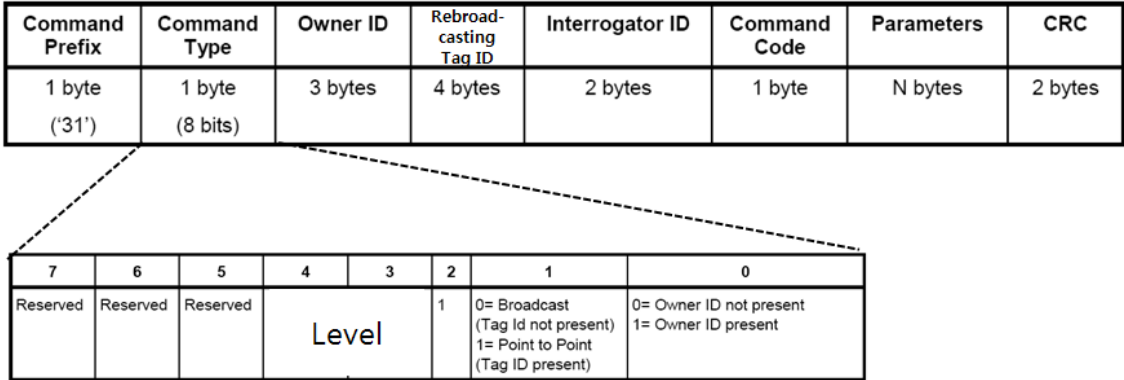


그림 9. 재방송된 브로드캐스팅 명령어 형식

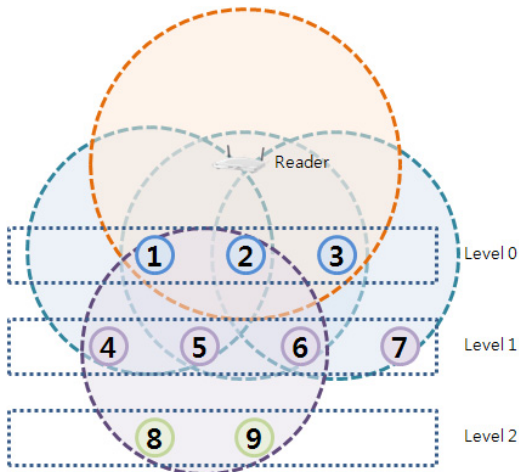


그림 10. 태그의 레벨

가지고, Command Type 필드의 사용되지 않던 두 비트를 이용하여 재방송한 태그의 레벨을 표시한다. 여기서 레벨이란, 리더로부터의 홉 수에 의해 결정된다. 그림 10에 보인 것처럼 리더로부터 바로 명령어를 받을 수 있는 태그는 레벨 0, 그 외의 태그는 명령어가 전달되어 온 홉 수만큼 레벨 값이 증가한다.

그림 10에서 태그 1~3은 리더의 명령어를 직접 받고 그에 응답하지만, 태그 4의 경우는 태그 1에서, 태그 5의 경우는 태그 1과 2를 통해 전달되어 온 Collection 명령어를 받게 되므로, 태그 1~3은 레벨 0, 태그 4~7은 레벨 1에 해당된다.

리더의 명령어를 직접 받지 못하고, 대신 재방송된 Collection 명령어를 받은 레벨 1 이상의 태그는 자신에게 명령어를 전달해준 태그에 응답하고 (이 응답 메시지의 구성은 이후 그림 11에서 설명한다),

임의의 시간이 지나 Command Type 내 레벨값을 1 증가시킨 후 자신의 ID를 Rebroadcasting Tag ID에 담아 다시 브로드캐스팅 한다. 그림 10에서 태그 5는 태그 1로부터 전달받은 명령어를 다시 브로드캐스팅 함으로써 태그 8과 9가 동일한 명령어를 받을 수 있도록 하고 있다. 이렇게 재방송된 명령어는 상위 레벨의 태그나 동일한 레벨의 태그에도 전송될 수 있지만, 각 태그는 같은 레벨이거나 하위 레벨로부터 오는 브로드캐스팅 명령어는 무시하도록 설계되었다.

한편, 상위 레벨의 태그로부터도 간혹 중복된 브로드캐스트 명령어를 받게 되는 경우가 있다. 그림에서 태그 5의 경우 상위 레벨인 태그 1과 2로부터 모두 Collection 명령어를 전달받을 수 있는데, 같은 Collection 명령어에 대해 응답을 두 번 이상하거나 재방송을 두 번 이상 할 필요가 없다. 일반적인 네트워크에서는 Broadcast ID를 이용하여 방금 받은 브로드캐스트 메시지가 이전에 받은 메시지와 동일한지 아닌지 판별하지만, 그림 1의 명령어 형식에서 볼 수 있듯이 RFID 통신의 브로드캐스트 명령어에는 Broadcast ID가 존재하지 않는다. 따라서, 지금 받은 명령어가 이전에 받은 명령어와 동일한 것인지, 아니면 리더가 새롭게 보낸 것인지 구별할 수 있는 방법이 없다. 그런데, 앞서 그림 2에서 보았듯이 한 번의 Collection Round는 60~100ms 정도이고, Wake Up 신호를 포함해도 3초 이내이다. 모든 태그의 정보를 수집하기 위해 Collection Round를 10회 이상 수행한다 해도 30초 정도면 충분하므로, 각 태그는 하나의 Collection 명령어를 받은지 30초 이내의 Collection 명령어는 무시하도록 한다. 이 경우 실제로 30초 이내에 발생한 새로운 Collection 명령어를 처리하지 못하는 데 대한 우려

Bit															
15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Mode field				Level		Reserved	Ack 1=NAK 0=ACK	Reserved		Tag type			Reserved	User ID 1=Used 0=Not Used	Battery 1=low 0= good



Mode field	Mode format code (bit 15-12)
Broadcast Command	0000
Point to Point Command	0010
Relay Command	0100

그림 11. 제안하는 Tag Status 필드 형식

가 있을 수 있는데, 리더가 컨테이너 장치장의 태그 정보를 실제로 그렇게 자주 인식할 필요가 없기 때문에 문제가 되지 않는다.

상위 레벨의 태그는 하위 레벨 태그의 응답 메시지를 받아 이 정보를 리더에게, 또는 자신의 상위 레벨 태그에게 전달해야 한다. 그런데, 이 하위 레벨 태그의 응답 메시지는 리더가 보내는 브로드캐스트 또는 유니캐스트 명령어에 대한 응답 메시지와 구별되어야 한다. 이를 위해서 그림 11과 같이 기존의 Tag Status 필드 형식에 Relay Command라는, 다른 태그를 통해 전달된 명령어에 대한 응답

메시지 코드를 추가하고, 응답 메시지를 생성하는 태그는 자신의 레벨을 기록하도록 하였다. 그리고 이 메시지를 받아주기를 원하는 상위 레벨 태그의 ID는 응답 메시지의 Data 필드 마지막 4바이트에 담도록 하였다. 태그가 어떤 패킷을 받았을 때 16진수 0x31로 시작하면 리더의 명령어(그림 1)이고, 명령어가 아니라면 태그의 응답 메시지(그림 3, 4)인데 그 중 mode가 0100이면 태그에 의해 중계된 명령어에 대해 다른 태그에서 오는 응답 메시지로 판단한다. 그 후 레벨값을 보고 레벨이 자신보다 낮으면 Data 필드를 살펴본다. 마지막 4바이트가 자신

```

if a packet on RX buffer
{
  if MSB == 0x31, deliver the packet to Proc_Cmd ( ); // command from reader
  else if first 4 bits in Tag Status == 0100 // response to relay command
  {
    if (packet_Level > its Level) and (last 4 bits in Data == its Tag ID)
      if (its Level == 0)
      {
        first 4 bits in Tag Status = 0000 or 0010 depending on the command code;
        clear Data[Data_length-(packet_Level *4)-1 , Data_length-1];
        Message Length = Message Length-(packet_Level *4);
        Send the packet to reader;
      }
    else
    {
      Message Length = Message Length + 4;
      Append the ID of the upper level tag to Data;
      CRC is newly calculated;
      Send the packet to the upper level tag;
    }
  }
  else do nothing; // response to broadcast or point-to-point command
}
else enter the sleep mode
    
```

그림 12. 중계 명령어(relay command)에 대한 응답 메시지 처리 과정

No.	Dest_Tag	Next_Tag
1	Tag 5	Tag 5
2	Tag 8	Tag 5
⋮	⋮	⋮

그림 13. 태그 2(그림 10)의 자식 테이블

의 ID와 일치하면 이 응답 메시지는 자신이 상위 레벨로 전달해야 하는 메시지라고 판단할 수 있다. 더 이상의 상위 레벨 태그가 없는 경우에는 표준 응답 메시지 형태(그림 3, 4)로 바꾸어 다음 번 Collection Round에 리더에게 전달하고, 상위 레벨 태그가 있는 경우에는 다른 필드에는 변화없이 Data 필드의 마지막에 상위 레벨 태그의 ID 4바이트만 덧붙여 전송한다. 이런 식으로 리더까지 전달된 응답 메시지는 Tag ID 필드에 이 메시지를 처음 생성한 태그 정보가 들어있으므로 리더는 해당 태그가 보낸 응답 메시지로 간주하게 된다. 중계 명령어(relay command)에 대한 응답 메시지 처리 과정을 그림 12에 나타내었다. 레벨 0의 태그가 최종적으로 리더에게 메시지를 전달하기 직전에 표준 응답 메시지 형식에 따라 mode 값을 수정하고, Data 필드에서 중계 태그들의 ID를 삭제하도록 한다. 그림 12에서 Proc_Cmd()는 리더의 명령어를 처리하는 함수이고, Data_length 값은 Message Length 필드의 값에서 다른 필드들의 크기를 뺀으로써 계산할 수 있다.

3.5 유니캐스트 명령어의 처리

유니캐스트 명령어(또는 P2P 명령어)의 경우는 특정 태그에만 명령어가 전달되어야 한다. 명령어를 수신해야 할 태그가 레벨 1 이상의 태그여서 리더와 직접 통신이 불가능한 경우에는 상위 레벨의 태그가 이를 전달해 주어야 한다. 이를 위해서 각 태그는 Collection 명령어 처리하면서 얻은 하위 레벨 태그의 정보를 유지할 수 있는 테이블을 구성한다. 그림 10에서 태그 8이 태그 5와 태그 2를 통해서 Collection 명령어에 대한 응답을 전송했다고 가정하자. 태그 8이 전송한 응답 메시지의 Data 필드 마지막 부분에는 태그 5의 ID가 담겨 있기 때문에, 태그 5는 이를 중계하면서 자신의 테이블 내에 태그 8의 ID를 기록해 둔다. 또, 태그 5가 중계한 메시지의 Data 필드 마지막에는 태그 2의 ID가 덧붙여지는데, 이를 받은 태그 2는 자신의 테이블에 그림 13처럼 태그 5와 태그 8의 ID를 차례로 기록해 둔다.

따라서, 이후에 태그 2가 태그 5나 태그 8로 향하는 유니캐스트 명령어를 감지하게 되면 이를 그대로 재전송해서 먼저 태그 5가 감지할 수 있게 하고, 만일 태그 8로 향하는 명령어였다면 태그 5 역시 이를 재전송해서 태그 8이 받을 수 있도록 해준다.

유니캐스트 명령어의 처리 중 한 가지 주의해야 할 것은 매 Collection Round의 마지막 과정으로 Sleep 명령어를 받은 태그가 곧바로 수면 모드에 들어가서는 안 된다는 것이다. 이는 기존의 네트워크와 다른 점인데 그 이유는 자신의 자식 태그가 존재하는지 확인하는 시간 동안은 깨어있어야 하기 때문이다. 따라서, 리더로부터 Sleep 명령어를 받더라도 자신이 Collection 명령어를 재방송한 시각부터 한 Collection Round 시간 동안은 깨어있다가 하위 레벨 태그에서 아무런 응답이 오지 않으면 수면 모드에 들어간다.

IV. 실험 및 분석

본 논문에서 제안한 다중 홉 방식의 RFID 리더-태그 통신이 원활하게 수행되는지 알아보기 위하여 그림 14와 같은 실험 네트워크를 구성하였다. 왼쪽은 모든 태그가 리더와 직접 통신이 가능한 경우이고, 오른쪽은 태그 3은 리더로부터의 거리 때문에 태그 2를 통해 통신해야 한다.

브로드캐스트와 유니캐스트 명령어 중 대표적 명령어인 Collection과 Sleep의 처리율을 확인하기 위해 1분 간격으로 총 10회의 태그 ID 수집 (collection) 작업을 수행하였다. 명령어 처리율은 양쪽 모두 100%였다. 수집 내지 수백 개 이상의 태그가 존재할 수 있는 실제 항만의 환경과는 달리 실험 네트워크에서는 태그의 수가 적어 패킷 충돌이 거의 발생하지 않은 이유로 보인다. 다중 홉 통신의 경우 명령어의 재전송 및 응답 메시지의 중계로 인해 전

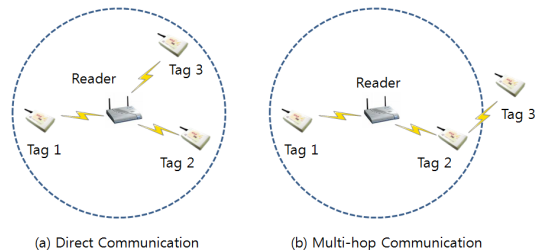


그림 14. 실험 네트워크

송 패킷 수가 더 많고, 태그의 수가 증가할수록 직접 통신의 경우보다 패킷 충돌 횟수가 더 빠르게 증가할 것으로 예상된다. 하지만, 실제 항만 환경에서는 리더와 태그의 통신 범위를 고려하여 대부분 직접 통신이 가능하도록 충분한 리더를 설치할 것이므로, 다중 홉 통신이 필요한 경우는 간혹 음영지역에 들어가는 소수의 태그에 대해서이다. 따라서, 다중 홉 통신으로 인해 실제 증가하는 오버헤드는 그리 크지 않을 것이다. 만일 100개의 태그가 존재하고 음영지역에 들어간 태그가 전체의 10% 정도라고 가정하면, 기존 방법의 경우는 1회의 브로드캐스트 명령어와 90개 태그로부터의 응답 메시지 90개, 총 91개의 패킷 전송을 통해 90%의 태그 인식률을 보일 것이다. 반면, 제안 방법에서는 리더의 브로드캐스트 명령어 1회, 90개 태그의 응답 메시지와 명령어 재방송 총 180회, 10개 하위 레벨 태그의 응답 메시지와 명령어 재방송 총 20회, 그리고 상위 레벨 태그가 하위 레벨 태그의 응답 메시지를 중계하기 위한 패킷 전송 10회 - 총 211개의 패킷 전송을 통해 100% 태그 인식률을 얻을 수 있다.

V. 향후 과제

5.1 실제 컨테이너 부두에서의 현장 실험

본 논문은 원래 항만 물류용 433MHz 능동형 RFID 태그 간 다중 홉 통신을 이용하여, 항만에서 발생할 수 있는 리더 신호의 음영지역 문제를 해결하기 위하여 작성되었다. 하지만, 현재까지의 실험은 실제 항만이 아닌 실험실 내에서 수행되었기에 음영지역 발생 문제를 얼마나 확실히 해결할 수 있는지는 확인되지 않았다. 이는 현재 부산과 광양 등 우리나라 주요 컨테이너 부두에서는 모두 IEEE 802.11g 기반의 무선랜을 사용하기 때문에 RFID 네트워크를 설치, 실험하기에 충분한 협조를 얻을 수 없었던 데 기인한다. 그러나, 앞으로 항만 물류용 RFID 기술의 실효성이 미국과 유럽 등지의 예를 통해 입증되고 우리나라 항만 작업 현장에서도 그 필요성을 인식하게 되면, RFID 다중 홉 통신 네트워크에 대한 현장 실험도 쉽게 가능할 것으로 생각된다. 또한, 현재 보유한 태그의 수가 네트워크를 구성하기에 부족하므로, 기본적으로 더 많은 수의 RFID 태그를 확보해야 할 필요가 있다.

5.2 2.4GHz ZigBee 통신의 부가 이용

제안한 방법은 일반적인 433MHz 능동형 RFID

태그를 사용하는 방법이었다. 하지만, 실제로 우리가 사용한 태그는 433MHz와 2.4GHz ISM (Industrial, Scientific and Medical) 주파수 대역을 동시에 지원 가능하도록 설계되었다. 이는 원래 다용도의 RFID 태그를 개발하고자 하는 동기 때문이었는데, 본 논문에서 제안한 433MHz 기반 항만 물류용 다중 홉 RFID 통신에 2.4GHz ZigBee 통신 기능을 부가적으로 이용한다면 네트워크의 성능 향상을 가져올 수 있을 것으로 보인다.

개선 가능한 부분은 크게 두 가지이다. 첫 번째는 리더와 직접 통신이 가능한 태그는 현재와 같이 18000-7 표준에 따라 433MHz로 통신하되, 중계가 필요한 명령어와 응답 메시지는 ZigBee 메시지로 캡슐화(encapsulation) 해서 2.4GHz 대역에서 태그 간에 전송하도록 하는 것이다. 이를 통해 얻는 효과는 패킷 충돌(collision)의 감소와 듀얼 주파수 사용으로 인한 자연스런 네트워크 처리량(throughput)의 향상이다. 제안 방법에서는 태그의 중계(relay) 기능 때문에 기존 RFID 통신에서보다 메시지 전송 횟수가 증가하므로, 패킷의 충돌도 자연히 증가하게 된다. 그런데, 리더-태그 통신과 태그-태그 통신을 각각 다른 주파수 대역으로 나누어 서비스하게 되면, 패킷의 충돌 횟수를 줄일 수 있게 될 것이다.

ZigBee 통신 기능을 이용해 개선 가능한 두 번째 부분은 각 태그 내 자식 테이블의 효율적인 구성이다. 어떤 태그가 리더와 직접 통신이 가능한 거리 밖에 새롭게 나타난 경우, 제안된 네트워크에서는 다른 태그가 Collection 명령어를 전달해 주기를 기다렸다가 응답 메시지를 보냄으로써 자신을 등록할 수 있다. 반면, ZigBee 통신이 가능하다면 태그는 일정 시간 이상 리더의 신호를 받지 못하는 경우 자신이 리더의 통신 범위 밖에 있는 것으로 판단하고 이웃 태그에 특정 형식의 등록 메시지를 2.4GHz WPAN을 통해 보낸다. 이 등록 메시지를 받은 이웃 태그들 중 리더의 존재를 알고 있는 태그가 자신의 자식으로 새로운 태그를 등록하고 ACK을 전송하면 자식 테이블의 구성이 완료된다. 제안 방법과 비교했을 때 Collection 명령어를 중계하고 응답을 받는 과정을 줄일 수 있어서 전체 Collection Round 수를 줄일 수 있고, 태그 정보 수집에 필요한 총 시간의 감소 효과를 가져온다.

5.3 저전력 통신 방법의 개발

제안 방법에는 몇 가지 극복해야 할 사항들이 있다. 그 중 가장 핵심적인 것으로 배터리 수명의 단

측을 들 수 있다. 기존에는 리더와 직접 통신만을 수행하던 태그가 태그 간의 다중 홉 통신을 수행하기 위해서는 브로드캐스팅 메시지의 수와 부가 작업들이 늘어나 전력 소모량이 증가하게 된다. 태그가 놓인 환경이나 리더와의 통신 횟수에 따라 다르기는 하나, 기존 433MHz 능동형 태그 전원의 수명은 1~3년 정도로 명세되어 있다. 하지만, 제안 방법에서는 명령어 및 다른 태그의 응답 메시지를 중계해야 하고, 명령어와 응답 메시지의 몇몇 필드들을 적절한 형식으로 재구성해야 하며, 하위 레벨 태그 정보도 유지해야 한다. 더군다나 전송 메시지 수의 증가로 인해 패킷 충돌 횟수도 늘어나므로, 기존 방법의 태그보다 3~4배 정도 많은 전력을 소모하는 것으로 조사되었고, 따라서 전원 수명도 3~6개월 정도로 대폭 감소될 것으로 예측된다. 때문에 태그의 교체 주기와 실용성을 감안했을 때 제안된 네트워크 기능을 수행하되 전력의 소모를 최소한으로 줄일 수 있는 저전력 라우팅과 토폴로지 구성 방법이 개발되어야 한다.

VI. 결 론

본 논문은 항만 물류용 RFID 리더-태그 통신의 문제점인 음영지역(dead-zone) 문제를 해결하기 위해 태그 간 다중 홉 통신을 제안하였다. 433MHz 능동형 태그 통신의 표준인 ISO/IEC 18000-7은 리더와 태그 간의 직접 통신만을 위한 표준이므로, 본 논문에서는 다중 홉 통신을 위한 새로운 메시지 형식과 통신 구조를 상세히 설명하였다. 이 새로운 통신 구조는 기존 표준을 따르는 리더와의 호환성을 유지하기 위해 리더 프로토콜에는 변화가 없도록 하였다. 물론, 다중 홉 통신을 사용함으로써 전송되는 전체 패킷의 수가 음영지역의 발생 범위에 비해 하여 증가하고 패킷 충돌도 늘어나는 등의 단점이 있지만, 기존 방법에서는 리더의 통신 범위 밖이라 인식할 수 없었던 태그들을 인식할 수 있다는 것이 본 연구의 큰 기여라고 할 수 있다. RFID 시스템의 상용화를 위해 반드시 선결되어야 할 문제가 태그 인식률을 100%로 끌어올리는 것이라는 사실을 감안할 때 제안 방법은 항만 물류 환경에서 매우 중요한 역할을 할 수 있을 것이라 생각한다.

참 고 문 헌

- [1] 안재명, 이종태, 오해석 “EPCglobal Network 기반의 RFID 기술 및 활용”, 도서출판 글로벌, 2007.
- [2] ISO/IEC 18000-7:2004, Information technology - Radio frequency identification for item management - Parameters for active air interface communications at 433 MHz.
- [3] 한국 RFID/USN 지원 센터, <http://www.rfid-usn.or.kr/>
- [4] ZigBee Alliance, <http://www.zigbee.org/>
- [5] E. Syvertsen and S. Namtvedt, “CC1100/CC2500 - Wake-on-Radio”, *Application Note 038*, <http://newarkinone.thinkhost.com/brands/promos/swra055.pdf>, Texas Instruments.

유 영 환 (Younghwan Yoo)

정회원



1996년 2월 서울대학교 컴퓨터 공학과 졸업

1998년 2월 서울대학교 컴퓨터 공학과 석사

2004년 2월 서울대학교 컴퓨터 공학과 박사

2004년 5월~2006년 12월 미국 신시내티 대학교 전기컴퓨터공학부 연구원

2007년 3월~현재 부산대학교 정보컴퓨터공학부 조교수

<관심분야> 센서네트워크, RFID/USN, 애드혹통신

김 진 환 (Jin-hwan Kim)

준회원



2008년 2월 동명대학교 컴퓨터 공학과 졸업

2008년 3월~현재 부산대학교 정보컴퓨터공학부 석사과정

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