
유비쿼터스 항만 물류 환경을 위한 스마트 태그 시스템의 설계 및 구현

조현태* · 백윤주*

Design and Implementation of a Smart Tag System for Ubiquitous Port Logistics

Hyuntae Cho* · Yunju Baek*

이 논문은 부산대학교 자유과제 학술연구비(2년)에 의하여 연구되었음

요 약

최근 물류의 양이 증가함에 따라 빠르고 정확한 물류처리가 요구되어 지고 있다. 특히, 광역 물류 환경에서 게이트웨이로서의 역할을 수행하는 항만에서의 물류처리는 무엇보다 중요하다. 본 논문에서는 항만에서 보다 신속, 정확한 물류 처리를 수행하기 위한 스마트 태그 시스템을 설계 및 구현한다. 스마트 태그 시스템은 사물의 정보를 인식하는 능동형 RFID, 컨테이너의 보안을 담당하는 전자봉인 장치, 그리고 사물의 위치를 파악 및 추적하는 RTLS 시스템으로 이루어져 있다. 물류 환경에서 사용되는 인식 기술은 이중 시스템들에서 판독되어지므로 표준과의 호환성은 중요하다. 본 논문에서는 표준과의 호환성을 유지하는 방법을 소개하고 검증을 수행하였으며, 스마트 태그의 수명, 인식률 및 인식시간 등과 같은 시스템의 성능을 분석한다.

ABSTRACT

In recent, rapid and accurate processing for logistics have been required, according as logistics has grown dramatically. Especially, identifying, locating, or tracking objects in ports are important, because ports are gateways to extended markets. In this paper, we describe the design and implementation of a smart tag system for ubiquitous port logistics. Our solution consists of three parts: an active RFID to identify objects, an electronic container seal to charge with security of containers, and a RTLS system to locate objects. Because identification technology for logistics can be read by heterogenous systems, compliance with the international standard is one of the most critical issues. This paper introduces the method to maintain compliance with ISO, and conducts some verifications. In addition, we analyze the system performance such as lifetime, identification rate, and time for multiple tag identification.

키워드

스마트 태그, 능동형 RFID, 전자봉인장치, RTLS, 항만 물류, 임베디드 시스템

I. 서 론

최근 물류의 양이 증가함에 따라, 빠르고 정확한 물류

처리가 요구되어 지고 있다. 특히 항만은 글로벌 시장에 대한 게이트웨이로서의 역할을 수행하고 있으며 물류 환경의 일부로서 중요한 부분으로 인식되고 있다. 거대

한 허브 항은 화물 및 컨테이너를 하역 및 처리하는데 많은 비용과 시간을 투자하고 있다. 이러한 비용들 중의 대부분은 새로운 노동 인력을 투입하고, 새로운 장비를 배치하는데 집중되어 있다. 항만 물류 환경에서 물류를 처리하는데 드는 비용과 부하를 줄이기 위해서 RFID (radio frequency identification) 기술을 적용할 수 있다. RFID 시스템은 물품 등 관리할 사물에 태그를 부착하고 전파를 이용하여 사물의 정보 및 주변 환경정보를 인식하여 각 사물의 정보를 수집, 저장, 가공 및 추적함으로써 사물에 대한 측위, 원격처리 및 정보교환 등 다양한 서비스를 제공한다. 이러한 기술은 기존의 바코드를 대체하여 상품관리를 네트워크화 및 지능화함으로써 유통 및 물품관리 뿐만 아니라 보안, 환경관리 등의 다양한 응용에 활용되어질 수 있다[1, 2].

RFID 시스템은 전력공급 방식에 따라 수동형과 능동형으로 분류된다. 수동형 RFID는 필요한 전력을 리더로부터 받고, 이를 이용해 데이터 저장, 컴퓨팅 및 RF 전송에 활용한다. 반면 능동형 RFID는 배터리와 같은 내부 전력 공급원을 사용하여 연속적으로 전원을 공급받기 때문에 보다 먼 거리까지 통신이 가능하다[3]. 항만과 같은 넓은 환경에서는 장거리 송수신이 반드시 필요하기 때문에 수동형보다는 능동형 RFID가 적합하다. 컨테이너 물류 환경을 위한 능동형 RFID 기술은 ISO/IEC 18000-7[4] 표준문서에서 제시하고 있으며, 항만 물류 환경을 위한 능동형 RFID 시스템을 컨테이너, 팔레트 등 다양한 사물에 부착하여 화물의 보안 및 위치 측정 등의 다양한 응용에 적용할 수 있다. 본 논문에서는 이러한 항만 환경에 적용시킬 수 있는 능동형 RFID 태그를 개발하고, 이를 확장하여 컨테이너의 보안, 사물의 위치 측정을 수행하는 스마트 태그를 설계하고 구현한다. 스마트 태그는 능동형 RFID, 컨테이너용 전자 봉인 장치, 그리고 RTLS(real time locating system) 세 부분으로 이루어진다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 항만 물류를 위한 능동형 RFID 표준 및 관련연구를 기술한다. 3장에서는 능동형 RFID, 컨테이너 전자봉인 장치, 및 RTLS 시스템을 포함하는 스마트 태그를 설계하고 구현한 내용에 대해 기술한다. 4장에서 스마트 태그 시스템 표준과의 호환성에 대해서 검증하고 5장에서 시스템의 성능에 대해서 평가를 한다. 마지막으로 6장에서 논문의 결론 및 향후연구 과제에 대해서 기술한다.

II. 관련연구

RFID를 위한 표준은 ISO/IEC에서 명시하고 있다. 데이터 구분에 관련한 표준은 15961(태그 명령), 15962(데이터 구분), 그리고 19799(API)에서 정의하고 있다. 또한, 에어 인터페이스(air interface)에 대한 표준은 18000에서 명시하고 있다. 18000-1은 총괄적인 정보 및 특성, 18000-2는 135kHz 이하, 18000-3은 13.56MHz, 18000-4는 2.45GHz, 18000-6은 극초단파 영역인 860-960MHz, 마지막으로 18000-7은 433.92MHz를 위해 정의하고 있다[4]. 이중 컨테이너를 위한 433.92MHz의 능동형 RFID에 대한 표준은 ISO/IEC 18000-7에서 정의하고 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 요구사항은 크게 프리앰블(preamble)과 데이터 부분으로 나누어진다. 프리앰블은 60 μs 길이의 20개 펄스와 마지막 싱크 펄스로 구성되어 있다. 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(cyclic redundancy check) 2바이트가 있고, 마지막으로 패킷의 끝을 나타내는 부분이 뒤따른다.

ISO 18185[5] 표준은 컨테이너용 전자봉인 장치에 관한 정보의 인식 및 제공을 위한 시스템과 참조를 제공한다. ISO 18185는 컨테이너의 개폐여부를 인지하고, 경고할 수 있는 기능을 기본적으로 탑재하고 있어야 한다. 전자봉인 장치의 표준을 정의하는 ISO 18185의 물리계층은 ISO/IEC 18000-7과 호환되어야 한다. 특히, 봉인 장치의 상태 인식, 배터리의 상태 지시자, 제조자 식별자, 컨테이너의 고유 식별자를 제공할 수 있어야 한다.

RTLS와 관련된 표준은 ISO/IEC 24730과 ANSI 371에서 정의하고 있으며, 이중 433MHz의 RTLS에 대한 내용은 ISO/IEC 24730-3[6]과 ANSI 371-2[7]에서 기술하고 있다. RTLS 시스템은 서버, 리더 그리고 태그로 구성된다. RTLS 리더는 태그로부터 신호를 수신하여 서버로 전달한다. 서버는 리더가 전송한 데이터를 기준으로 태

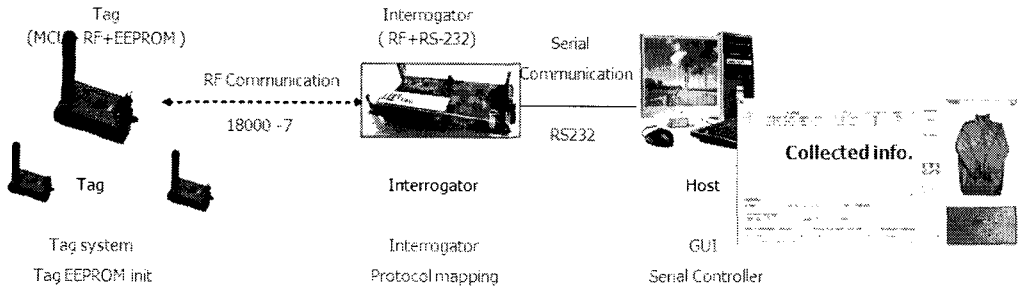


그림 1. 능동형 RFID 시스템의 구조
Fig 1. Architecture of active RFID systems

그들의 위치를 계산한다. 위치를 측위하는 기법은 일반적으로 multi-lateration 기법을 사용하지만, 표준에서는 명확히 정의하고 있지 않으며 이외에 다양한 많은 방법들을 사용해 구현할 수 있다.

III. 유비쿼터스 항만 물류 환경을 위한 스마트 태그 시스템

본 장에서는 항만 물류 환경을 위한 표준과 호환되는 스마트 태그 시스템을 설계하고 구현한다. 스마트 태그 시스템은 능동형 RFID, 컨테이너 전자봉인장치, 실시간 위치 측정을 위한 RTLS 시스템으로 구성된다. 기본적으로 이들 시스템은 433MHz 주파수 대역에서 동작하고, ISO/IEC 18000-7 표준을 준수한다.

3.1 능동형 RFID 시스템

3.1.1 능동형 RFID 시스템의 하드웨어 설계 및 구현

본 절에서는 ISO/IEC 18000-7 표준을 준수하면서 물류 환경을 위한 433.92MHz 능동형 RFID 시스템을 설계 및 구현한다. 433.92MHz에서 동작하는 능동형 RFID 시스템은 크게 리더와 태그로 나뉘어진다. 리더와 태그는 기본적으로 3V에서 동작하도록 설계하였다. 마이크로컨트롤러로 Atmel사의 Atmega128L[8]을 사용하며, 무선 통신을 위해서 극초단파 대역의 RF 칩인 SEMTECH사의 XE1203F[9]를 사용하였다. Atmega128L은 8MHz의 스피드로 동작하며, 53개의 I/O 및 128k바이트의 프로그램 메모리를 가지는 8비트 RISC 구조의 마이크로컨트롤

러이다. RF 칩은 433, 868, 및 915MHz의 주파수에서 동작하며 FSK 변조방식을 사용한다.

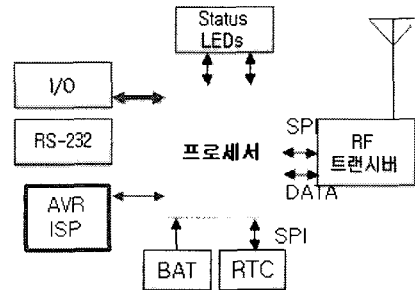


그림 2. 능동형 RFID 시스템의 블록도
Fig 2. Block diagram of an active RFID

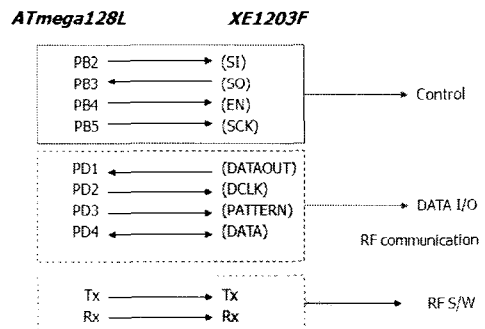


그림 3. 프로세서와 RF 트랜시버와의 인터페이스
Fig 3. Interface between a processor and RF transceiver

설계 및 구현된 433.92MHz 능동형 RFID 시스템의 구조는 그림 1과 같으며, 리더는 RS-232 인터페이스를 통해 호스트로부터 명령을 받고, 마이크로컨트롤러에서 명령을 처리한 후 데이터를 전송한다. 리더와 태그간의 통신은 ISO/IEC 18000-7 에어 인터페이스에서 정의된 내용에 따라 통신되며, 통신의 시작은 리더가 먼저 질의를 보내면 태그가 응답한다. RF를 통하여 데이터를 전송할 때는 FSK 기법으로 변조한 후에 전송하며 RF를 제어하기 위해서 마이크로컨트롤러는 SPI(serial peripheral interface)를 사용한다.

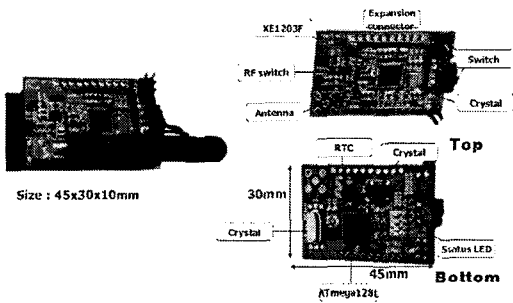


그림 4. 능동형 RFID 태그의 외형
Fig 4. Outward of the active RFID tag

그림 2는 능동형 RFID 시스템 블록도를 보여준다. 그림 2와 같이 시스템은 프로세서, RF 트랜시버, RTC(real time clock)[10]등으로 구성되며, 프로세서와 RF 트랜시버 사이의 인터페이스는 그림 3과 같다. 그림 4는 능동형 RFID 태그의 외형 모습을 나타내고 있다.

3.1.2 능동형 RFID 시스템의 소프트웨어 설계 및 구현
본 절에서는 이전 절에서 구현한 하드웨어를 바탕으로 표준에서 제시하는 프로토콜을 구현하도록 한다. 표준은 데이터 인코딩을 위해서 맨체스터 방식을 제안하고 있으며, 각각의 펄스의 간격은 엄격히 정해져 있다. 예를 들어, 프리엠블 신호는 20개의 30us high 신호와 30us low 신호로 이루어지며, 추가로 싱크(sync) 비트를 가진다. 싱크비트는 통신의 방향을 나타내며, 42 us high 54 us low 이면 태그에서 리더로의 통신을 나타내며, 54 us high 54 us low 이면 리더에서 태그로의 통신을 나타낸다. 표준은 이처럼 엄격한 클럭 동기를 요구하고 있다. 하지만 기본적으로 RF 트랜시버는 이러한 요구사항을 충족하지 못하기 때문에 본 논문에서는 NRZ(non return zero) 기법을

사용하여 소프트웨어적으로 맨체스터 신호를 생성하였다. 이렇게 생성된 신호는 트랜시버를 통하여 송신되게 된다. 이 소프트웨어적 기법은 프로세서의 클럭에 의존하여, 8MHz의 경우 한 클럭이 125ns이므로 이를 더하거나 빼서 신호의 펄스를 정확하게 맞추게 된다.

송신자가 정확한 타이밍을 가지는 신호를 생성하여 전송한다 하더라도, 수신자 측면에서 트랜시버가 이 신호를 정확히 변조하기가 어렵다. 이를 해결하기 위해 리더는 그림 5와 같이 정해진 타이밍에 맞추어 샘플링을 수행하고 이를 분석하여 프리엠블 신호 및 데이터를 확인한다.

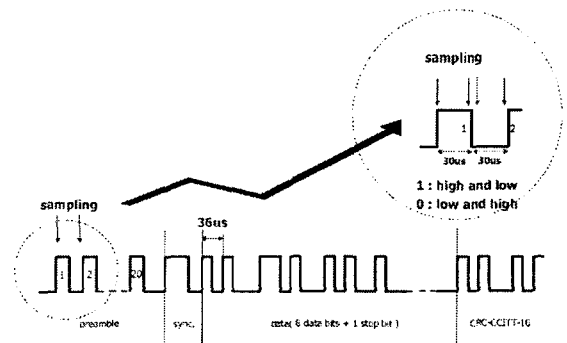


그림 5. 신호의 디코딩 방법
Fig 5. Signal decoding method

전체 RFID 시스템을 위한 소프트웨어는 그림 1과 같이 호스트, 리더 및 태그로 분리된다. 호스트 시스템은 리더와 태그간의 데이터 흐름을 제어하며, 리더와의 통신은 시리얼 통신을 이용한다. 호스트가 사용자로부터 정보를 받으면, 이를 분석하여 패킷을 생성하고, 시리얼 통신을 통하여 리더로 전송한다. 리더와 태그의 통신은 리더가 항상 통신을 시작하는 master-slave 방식으로 이루어지며, 태그로부터 응답한 데이터를 처리하여 다시 호스트로 전송한다.

그림 6은 리더 시스템의 동작 과정을 보여준다. 리더는 부팅 후, 해당 포트들을 초기화하고 호스트로부터 메시지를 기다린다. 호스트로부터 명령을 받으면 이를 분석하고 명령에 해당하는 패킷을 생성한다. 그리고 패킷을 전송하기 전에 수면 상태에 있는 태그들을 깨우기 위해 wake-up 신호를 펄드내의 모든 태그들에게 보낸다. 태그들이 활성화되면 리더는 해당 명령을 전송한다. 전송 후, 리더는 태그들로부터 오는 메시지를 듣기 위해 수신모드로 들어가게 되고, 태그들의 메시지를 수신한다.

이때, 둘 이상의 태그가 동시에 전송할 수 있기 때문에 리더는 메시지 충돌방지를 위해서 dynamic framed slotted ALOHA 기법을 사용한다. 이렇게 수집된 정보는 다시 호스트로 전달되고, 수집 완료된 태그들을 다시 수면상태로 돌리는 명령을 수행한다.

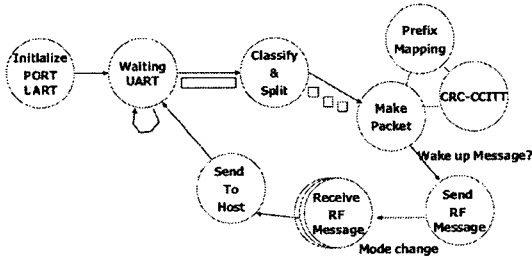


그림 6. 리더 시스템의 동작과정
Fig 6. Operation of a reader system

그림 7은 태그 시스템의 동작 흐름을 나타낸다. 리더의 통신 영역 내에 존재하는 능동형 RFID 태그가 wake-up 신호를 수신하면 태그는 수면 상태에서 활성화 상태로 바뀌게 된다. 활성화 상태 이후, 리더로부터 태그 수집 명령을 받게 되면 태그는 해당 패킷을 검증한다. 올바른 데이터는 P2P 메시지와 브로드캐스트 메시지로 나누어 처리되고, 에러가 있는 데이터는 폐기한다. P2P 메시지에는 슬립(sleep) 명령, 상태 요청, 사용자 ID, 펌웨어 개정, 모델 번호, 메모리 읽기/쓰기, 패스워드 설정 명령 등이 있다. 브로드캐스트 명령은 통신 범위 내의 태그들의 ID를 요청하기 위해 사용되어진다. 태그는 자신의 식별자를 저장하기 위해서 4K바이트의 내부 EEPROM 중 일부를 사용한다. P2P 메시지의 경우 자신의 식별자와 비교하여 같으면 처리하고, 다르면 패킷을 폐기한다. 반면에 브로드캐스트 명령의 경우, 즉 리더가 둘 이상의 태그들로부터 데이터를 동시에 받게 되면 충돌이 발생하여, 올바른 정보를 전달받을 수 없다. 이 점을 해결하기 위해 태그는 다수의 슬롯(slot)으로 이루어진 프레임(frame)에서 임의의 슬롯을 선택하여 해당 슬롯 시간에 메시지를 리더로 전송한다.

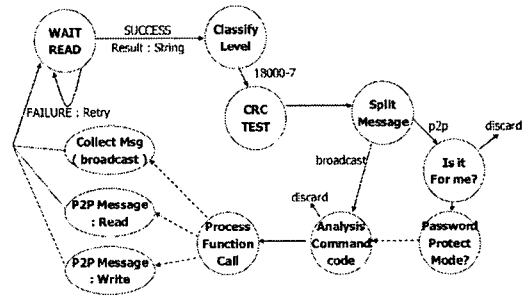


그림 7. 태그 시스템의 동작과정
Fig 7. Operation of a reader system

그리고 메시지 송신이 성공적으로 이루어졌으면, 리더로부터 슬립 명령을 받게 되고 수면상태로 들어가며 다음 콜렉션 라운드에 참여하지 않는다. 메시지 송신이 제대로 이루어지지 않았다면, 태그는 다음 콜렉션 명령에 다시 임의의 슬롯을 획득하고 메시지 전송을 재시도한다. 태그는 배터리로부터 전원을 공급받기 때문에 태그의 수명을 연장시키기 위해서 가능한 많은 시간을 수면상태로 있어야 한다.

그림 8은 에너지 절약을 위한 접근법을 나타내고 있다. 태그는 초기에 수면 상태를 유지하다가 매 2초 마다 깨어나서 무선 주파수 대역에 존재하는 신호를 듣는다. 이때 주파수 대역에 존재하는 신호가 능동형 RFID 리더로부터의 wake-up 신호이면 태그는 활성화 되고, 반대로 wake-up 신호 이외의 다른 신호 또는 신호가 없다면 태그는 다시 수면 상태로 전이된다. 여기서 매 2초마다 스스로 깨어나는 이유는 ISO/IEC 18000-7에서 wake-up 신호는 최소 2.5초 이상을 유지해야 한다고 정의하고 있고, 이 시간 중 2초마다 깨어나 잠깐의 시간만 분석하면 되기 때문이다. 활성화가 되면 리더로부터 연속되는 명령을 받아서 처리 할 수 있다.

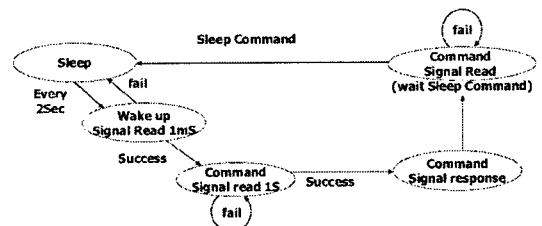


그림 8. 에너지 절약을 위한 상태전이도
Fig 8. State transition for energy saving

3.2 컨테이너 전자 봉인 장치 시스템

ISO 18185에서 정의하는 전자봉인 장치의 물리계층은 ISO/IEC 18000-7의 물리계층과 일치한다. 따라서, 컨테이너용 전자봉인 장치는 능동형 RFID 태그 플랫폼을 확장하여 적용시킬 수 있다. 컨테이너 전자봉인 장치는 프로세서, RF 모듈, 물리적 봉인 장치 및 센서부로 이루어져 있다. 그림 9는 컨테이너 봉인장치의 외형 및 구성요소들을 보여준다. 물리적 봉인 장치는 컨테이너의 개폐 여부를 인지하기 위해서 설계되었다. 물리 봉인 장치가 잘리거나 훼손된다면 전자 봉인 장치는 이를 인식하고, 경고 메시지를 전송한다. 컨테이너의 개폐여부를 확인하기 위해 추가적으로 CdS센서를 장착하여 봉인 장치가 빛에 노출 시 컨테이너가 훼손 되었다고 판단한다. 또한 피에조 부저를 통하여 훼손 즉시 경고음을 발생하기도 한다.

ISO 18185 표준에서 제시하는 컨테이너 전자 봉인 장치는 외부 이벤트의 발생에 대해서 그 기록을 유지하고 있어야 한다. 이벤트의 발생은 시간을 기준으로 내부 메모리에 기록되며, 실시간에 대한 정보는 RTC 칩으로부터 획득한다. 이 RTC는 전자봉인 장치가 처음 봉인 될 때 초기화 되며, 추후 변경되지 않는다. 컨테이너 전자봉인장치의 데이터에는 봉인 장치의 상태, 봉인 장치 식별자, 제조사 식별자, 봉인된 시점, 봉인 해제 시점, 배터리 상태, 프로토콜 식별자 등을 포함한다[5]. 봉인 장치의 상태는 시간정보와 함께 EEPROM에 저장되어 있다.

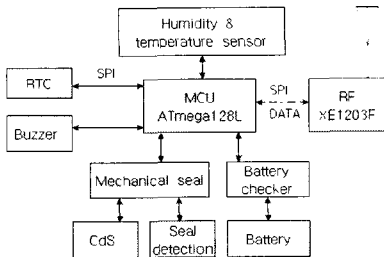
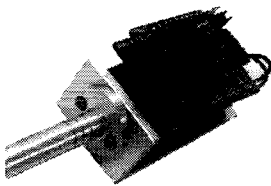


그림 9. 컨테이너용 전자봉인 장치
Fig 9. Electronic container seal

전자 봉인 장치의 데이터 형식에는 유니캐스트, 브로드캐스트 이외에 추가적으로 봉인 장치의 해제를 알리는 경고 메시지가 추가되어 있다. 메시지 송시신의 관계는 기본적으로 master-slave 방식이지만, 봉인이 해제 되었을 경우는 봉인장치가 먼저 리더로 경고 메시지를 전송할 수 있도록 되어 있다.

3.3 항만 물류 환경을 위한 RTLS 시스템

RTLS는 사물을 위치를 실시간으로 측위하고 추적하는 시스템이다. 위치를 측위하는 대표적인 기법으로 TDOA(time difference of arrival), TOA(time of arrival), ROA(RSSI of arrival) 등이 있으며, 표준에서는 이들 측위에 대해서는 명확히 언급하고 있지 않고 어느것을 사용해도 무방하다고 기술하고 있다. 이 중 TDOA는 신호의 도달시간 차이를 계산하여 위치를 측정하는 기법이며, TOA는 신호의 비행시간을 계산하여 이를 거리로 변환하는 기법이고, ROA는 수신한 신호의 세기를 측정하여 이를 거리함수로 변환하여 위치를 측정하는 기법으로 별도의 추가적인 하드웨어가 필요하지 않고 저렴하고 간단하게 구현할 수 있는 기법이기 때문에 다양한 응용에서 적용되어질 수 있다. 본 절에서는 능동형 RFID를 확장하여 ROA 기반의 RTLS 시스템을 설계 및 구현한다.

RTLS는 리더와 트랜스미터로 이루어지며, 트랜스미터는 주기적으로 신호를 방출하고, 리더는 트랜스미터가 방출한 신호의 세기를 측정한 후 이를 거리로 변환한다. 이때, 리더의 수가 3개 이상이 존재하게 되면 Lateration 기법을 적용하여 태그의 위치를 추정해 낼 수 있다. 그림 10은 Lateration 기법을 이용한 위치 측위 방법을 보여준다.

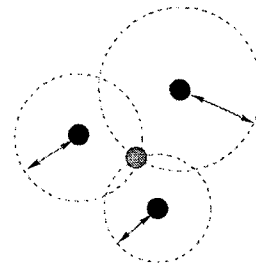


그림 10. Lateration을 이용한 위치 측위
Fig 10. Localization using Lateration method

능동형 RFID 태그에서 사용되는 RF 트랜시버인 XE1203F는 신호의 세기를 표현하기 위해서 3bit의 RSSI 값을 제공한다. 3bit의 해상도를 이용하여 거리를 측정하는 것은 불가능하기 때문에 추가적인 접근법을 고려하여야 한다. XE1203F 트랜시버는 I/Q 신호에 대한 외부 인터페이스를 가지도록 개발되었다[11]. 해상도가 높은 RSSI 값을 측정하기 위해 본 논문에서는 프로세서가 직접 I/Q 신호를 획득하도록 하였다. 획득된 I/Q에 대한 아날로그 값은 A/D 컨버터를 통해 디지털 값으로 변환되고, 이를 상위 계층에서 신호의 세기를 추정하고 RSSI 값을 결정짓는다. 다음의 그림 11은 I/Q 신호를 이용하여 RSSI 값을 획득하는 과정을 나타낸 것이다.

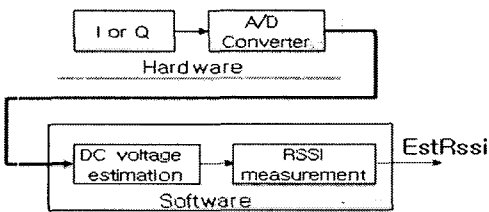


그림 11. I/Q 신호를 이용한 RSS 측정 알고리즘
Fig 11. RSS estimation using I/Q signal

추정된 RSSI 값을 이용하여 거리별로 실험을 수행한 결과 그림 12와 같은 그래프를 나타내었다.

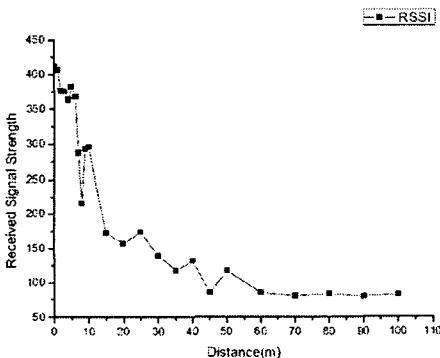


그림 12. 거리에 따른 신호 감쇄율
Fig 12. Signal attenuation by distance

IV. 시스템 검증

물류 시스템을 위한 RFID는 다양한 장소, 다양한 환경에서 이종의 리더들로부터 인식될 수 있기 때문에 표준과의 일치가 무엇보다 중요하다. 본 장에서는 개발된 스마트 태그가 이종 시스템과의 호환성을 유지하기 위해 표준과의 호환성을 검증하였다. 그림 13은 능동형 RFID, 전자봉인장치, RTLS 시스템에서 공통적으로 정의하고 있는 ISO/IEC 18000-7의 데이터링크 계층의 데이터 포맷을 검증한 결과이다. 데이터 바이트들은 맨처음 인코딩 기법에 따라 변복조되며, 이들 타이밍에 대한 기술은 표준에서 정의하고 있다. 데이터 링크의 데이터 포맷은 프리앰블, 싱크비트, 데이터로 구성되며, 프리앰블은 20개의 30us high, 30us low로 구성되고, 싱크비트는 42us high, 54us low 또는 54us high, 54us low 중 하나의 값을 가진다. 그림 13의 오실로스코프를 이용한 측정 결과는 신호의 타이밍을 보여주고 있다. 프리앰블의 경우 정확히 30us high, 30us low의 신호를 측정할 것을 볼 수 있다. 그림에서 두개의 신호가 존재하는데, 상단의 펄스는 송신시의 타이밍이고, 하단의 펄스는 수신측에서 복조한 후의 펄스를 나타낸다. MII(media independent interface)에서 측정된 결과 14us의 차이를 가진다. 이 딜레이는 주파수의 전달 지연, 변조시간, 복조 시간 등을 포함하고 있다. 그림 14는 스펙트럼 분석기를 이용하여 무선주파수의 중심 주파수를 측정한 내용이며, 표준에서 정의하고 있는 내용과 정확히 일치하여 433.92MHz의 값을 표시하는 것을 볼 수 있다.

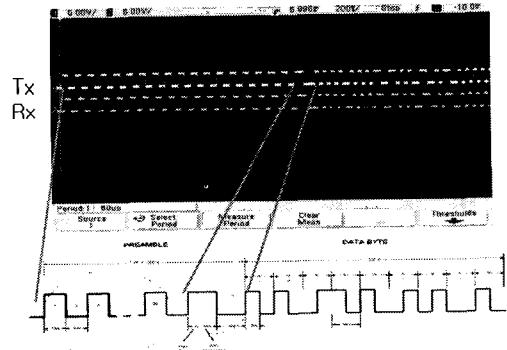


그림 13. 데이터링크 계층의 검증
Fig 13. Verification of data link layer

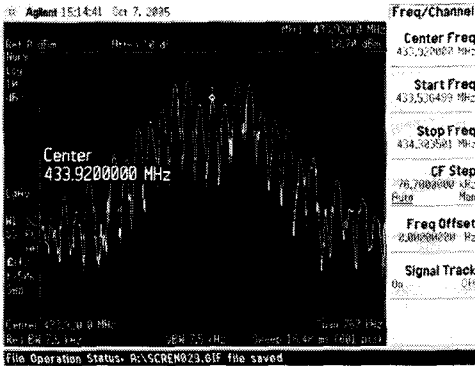


그림 14. 물리계층의 검증
Fig 14. Verification of physical layer

V. 성능평가

본 장에서는 개발된 스마트 태그의 성능에 대해서 실험하고 성능평가를 한다. 성능평가는 두 단계로 나눈다. 첫 번째, 스마트 태그는 배터리로 동작을 하고 배터리의 수명이 태그의 수명이 되기 때문에, 얼마만큼 효율적으로 에너지를 사용하는가가 중요한 이슈이다. 두 번째, 능동형 RFID와 전자봉인 장치의 경우, 필드 내에 다수개의 태그가 존재할 수 있으며, 이들은 동시에 읽혀져야 한다. 즉, 필드 내 다수의 태그를 얼마나 정확하게 인식할 수 있는나이다. 둘 이상의 태그가 동시에 응답을 하면 이는 메시지의 충돌로 인하여 리더에 의해 읽혀지지 않는다. 본 논문에서는 dynamic framed slotted ALOHA 기법을 적용하였고, 이 기법이 얼마나 정확하고 신속하게 태그들을 인식할 수 있는지 실험하였다.

5.1 에너지 효율성

표 1과 표 2는 에너지를 가장 많이 사용하는 프로세서와 RF 모듈의 전력소비를 나타낸 표이다. 프로세서의 경우 활성화 상태일 때 최대 5.5mA 수면 상태일 때 최대 25uA의 전력을 소모한다. 이는 활성화 상태의 경우 수면 상태보다 220배 더 많은 전력을 소모하게 된다. RF 트랜시버의 경우 송신 시(5dBm 출력)에 33mA, 수신시 14mA, 수면상태에서 0.2uA의 전력을 소모한다.

표 1. 프로세서의 소비전력
Table 1. Power consumption of MCU

State	Cond.	Typ.	Max	Unit
Active	all		5.5	mA
Sleep	WDT	<15	25	uA

표 2. RFIC의 소비전력
Table 2. Power consumption of RFIC

State	Cond.	Typ.	Max	Unit
Tx	5dBm	33	40	mA
Rx		14	17	mA
Sleep		0.2	1	uA

본 논문에서는 태그의 에너지 절약을 위해서 3.1절에서 언급한 바와 같이 주기적(매 2초마다)으로 수면상태와 활성화 상태를 반복하면서 신호를 분석한다. 신호 분석 결과 프리앰블 신호가 확인되면 활성화 상태로 전이되어 신호를 받을 준비를 하게 되는 것이다.

스마트 태그는 2개의 AAA 배터리를 장착하고 있으며, 배터리의 용량은 2.5Ah이다. 실험 결과 태그는 시간당 0.303876mA의 파워를 소모하였고, 전체 배터리가 소모될 때까지 약 1년 정도의 수명을 가진다는 것을 알 수 있다.

5.2 필드 내에 존재하는 다수의 태그 인식률에 대한 실험

본 절에서는 필드 내에 다수의 태그가 존재할 경우, 이를 수집하는 경우에 대해서 실험을 하였다. 그림 15는 항만 내에 존재하는 컨테이너에 부착된 태그들의 모습을 보여준다.

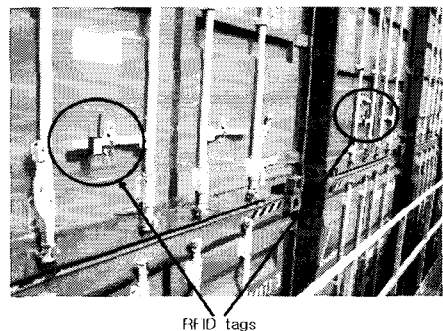


그림 15. 컨테이너에 부착된 능동형 RFID 태그
Fig 15. RFID tags attached to containers

앞서 언급한 바와 같이 필드 내에 둘 이상의 태그가 동시에 리더로 메시지를 전송하면 충돌로 인하여 리더는 메시지를 정확히 읽을 수 없다. 이러한 태그간의 메시지 충돌을 줄이기 위해서 dynamic framed slotted ALOHA 기법을 사용하였다. Dynamic framed slotted ALOHA 기법을 위한 설정은 다음과 같다. 초기 윈도우 사이즈는 57.3ms, 한 프레임은 6개의 슬롯으로 구성되어 있으며, 각각의 슬롯은 응답 메시지를 보낼 수 있을 만큼 충분하다.

실험은 다음과 같이 진행되었다. 먼저 리더가 태그 정보 수집 명령을 보내면 이를 수신한 태그는 임의의 슬롯을 선택하고 그 슬롯에 메시지를 전송한다. 다시 리더가 태그의 응답 메시지를 정확히 받는다면 리더는 해당 태그들에 대해서 슬립 메시지를 보낸다. 슬립 메시지를 받은 태그는 다음 라운드에 참여하지 않는다. 이 과정은 연속적으로 세 번의 수집 라운드에서 태그들로부터 응답이 없을 때까지 계속 반복 수행된다.

그림 16은 필드 내에 존재하는 태그들을 수에 따른 응답률을 실험한 그래프이며, 매 실험은 100회씩 진행되었다. 그래프에서 전체 태그의 수와 리더가 수집한 태그의 수가 겹치는 것을 볼 수 있다. 실험 결과, 모든 경우에 99.5% 이상의 정확한 인식률을 보여 주었다.

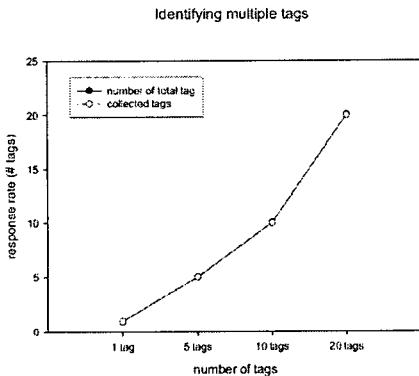


그림 16. 태그의 수에 따른 응답률
Fig 16. Response rate by the number of tags

리더가 태그의 정보를 99% 이상 수집하는 좋은 인식률을 가지고 있다고 하더라도, 전체 태그를 수집하는데 많은 시간이 소요된다면, 이는 물류 처리의 혼잡을 초래하게 된다. 따라서 태그의 정보를 정확하게 인식하는 것도 중요하지만 전체 태그를 수집하는데 소요시간을 최소화하는 것 역시 중요하다.

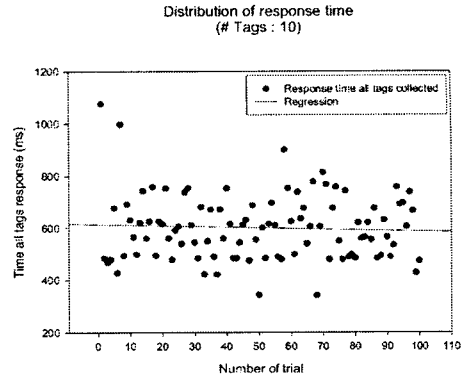


그림 17. 10개의 태그를 수집하는데 걸리는 시간
Fig 17. Time measurement that 10 tags collect

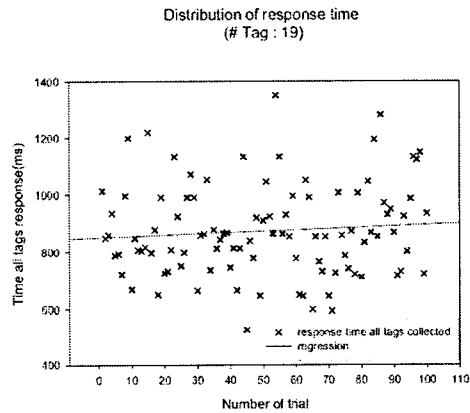


그림 18. 19개의 태그를 수집하는데 걸리는 시간
Fig 18. Time measurement that 19 tags collect

본 실험에서는 필드 내에 존재하는 태그들을 모두 수집하는데 필요한 시간을 측정하였다. 실험을 100회 진행되었고, 매회의 시간을 그래프와 같이 나타내었다. 그림 17은 RFID 필드 내에 10개의 태그가 존재하고 이들 모두를 수집하는데 걸리는 시간을 측정하였다. 전체 태그들을 수집하는데 걸리는 시간은 평균 600ms 정도이다. 최악의 경우에도 1초 내외의 시간이 걸리는 것을 볼 수 있다. 그림 18에서는 19개의 태그가 존재할 때 이들을 수집하는데 필요한 시간을 측정하였다. 태그의 수를 약 2배 정도로 늘렸을 경우, 시간은 약 1초 정도로 증가하였다.

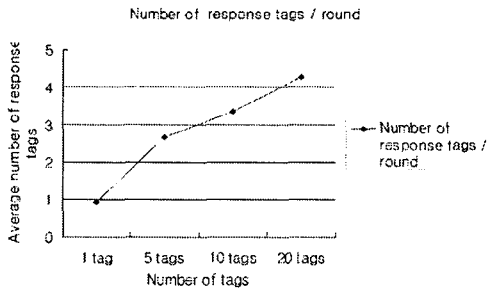


그림 19. 매 라운드 당 수집되는 태그의 수
Fig 19. The number of tags collected per each round

마지막으로 능동형 RFID와 컨테이너 전자 봉인 장치와 같은 경우에는 필드 내에 모든 태그들이 응답할 때까지 수집(collection) 라운드를 반복한다. 이때, 매 라운드마다 프레임의 크기가 정해져 있으므로 수집되는 태그의 수 또한 한정되어 있다. 실제로 이 각 라운드마다 얼마나 많은 태그가 수집되는지에 대한 실험을 하였다. 그림 19의 그래프에서 나타내는 바와 같이 필드 내에 10개의 태그가 배치되어 있을 때, 각 라운드 당 평균 3개 이상의 태그를 수집하였고, 20개의 태그가 배치된 경우, 평균 4개 이상의 태그를 수집하는 결과를 보였다.

VI. 결 론

본 논문에서는 유비쿼터스 항만 물류 환경을 위한 스마트 태그를 설계하고 구현하였다. 유비쿼터스 항만 물류 환경을 위한 스마트 태그는 능동형 RFID 태그, 컨테이너용 전자 봉인 장치, 및 433MHz RTLS 시스템에 사용되어 질 수 있다. 개발된 스마트 태그는 이종 시스템간의 호환성을 보장하기 위해 표준과 일치시키도록 설계 및 구현되었다. 개발된 스마트 태그 시스템은 99%이상의 높은 인식률을 보였고, 필드 내에 존재하는 태그들은 신속히 수집하는 것을 실험결과로 알 수 있었다. 스마트 태그는 배터리로부터 전력을 공급받기 때문에 태그의 수명을 연장시키기 위해 기법이 필요하다. 본 논문에서 개발된 스마트 태그는 태그의 수명을 연장시키기 위한 기법을 탑재하고 있으며, AA 배터리를 사용할 경우 약 1년 정도로 수명은 연장할 수 있다. 본 논문에서 구현한 스마트 태그 시스템은 항만 물류뿐만 아니라 많은 응용에서 적용되어 질 수 있으리라 예상된다.

항만 물류 환경을 위한 스마트 태그와 관련한 향후과제는 플랫폼을 개발하는데 드는 비용의 최소화, 다중 태그들을 보다 신속히 인식할 수 있도록 하는 연구 등을 포함하고 있다.

참고문헌

- [1] Klaus Finkenzeller, "RFID Handbook: fundamentals and applications in contactless smart cards and identification," Wiley press, 2003.
- [2] Michael, K., McCathie, L., "The Pros and Cons of RFID in Supply Chain Management," International Conference on Mobile Business, July 2005.
- [3] John scott, "WhereNet RTLS in Marine TerminalsRTLS," WhereNet, 2001.
- [4] ISO/IEC 18000-7, "Information technology - radio frequency identification for item management - Part 7: parameters for active air interface communications at 433 MHz," ISO/IEC, 2004.
- [5] ISO/IEC 18185-1, "Freight containers - Electronic seals - Part 1: Communication protocol," ISO/IEC, 2004.
- [6] ISO/IEC 24730-3, "Information technology - Real Time Locating Systems (RTLS) - Part 3: 433MHz air interface protocol," ISO/IEC, 2006.
- [7] ANSI INCITS 371-2, "American National Standard for Information Technology - Real Time Locating Systems 56 JOURNAL OF COMMUNICATIONS, VOL. 1, NO. 4, JULY 2006 (RTLS) - Part 2: 433-MHz Air Interface Protocol," INCITS, 2003.
- [8] Atmel, Atmega128(L) datasheet, <http://www.atmel.com>, 2005.
- [9] XEMICS, XE1203F datasheet, <http://www.xemics.com>, 2005.
- [10] RICOH, RTC Rx5C348A datasheet, <http://www.ricoh.com>, 2003.
- [11] SEMTECH, "AN1200.01 Application note", <http://www.semtech.com>, 2005.

저자소개



조 현 태(Hyuntae Cho)

2003년 2월 한국해양대학교 학사
2005년 3월 부산대학교 석사
2005년 3월 ~ 현재 부산대학교 컴퓨터
공학과 박사과정

※ 관심분야: 무선 센서 네트워크, 임베디드시스템, RFID



백 윤 주(Yunju Baek)

1990년 2월 한국과학기술원 학사
1992년 2월 한국과학기술원 석사
1997년 2월 한국과학기술원 박사

1996년 6월 ~ 2002년 2월 NHN(주) 연구소장, 2003년 9월
~ 현재 부산대학교 정보컴퓨터공학부 교수

※ 관심분야: 임베디드시스템, 무선 센서 네트워크, 컴
퓨터 구조, RTLS