



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

공학석사 학위 청구논문

무선센서네트워크를 이용한 제철소 롤 모니터링시스템의 구현



2007년 2월

부 경 대 학 교 대 학 원

컴 퓨 터 공 학 과

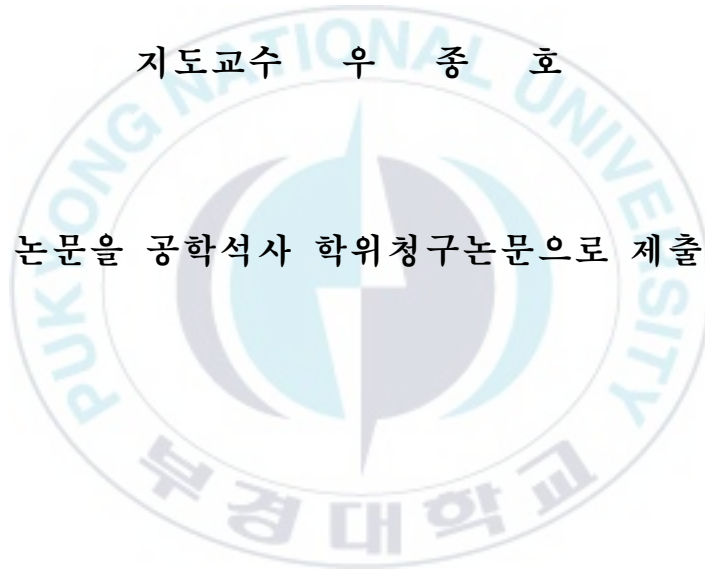
김 진 필

공학석사 학위청구논문

무선센서네트워크를 이용한 제철소 롤 모니터링시스템의 구현

지도교수 우 종 호

이 논문을 공학석사 학위청구논문으로 제출함



2007년 2월

부 경 대 학 교 대 학 원

컴 퓨 터 공 학 과

김 진 필

김진필의 공학석사 학위논문을 인준함

2007년 2월 23일



주심 공학박사 조우현 (인)

위원 공학박사 서경룡 (인)

위원 공학박사 우종호 (인)

목 차

제 1 장 서론	5.....
제 2 장 관련 연구	7.....
2.1 무선 센서 네트워크를 위한 MAC 프로토콜	7
제 3 장 룰 모니터링 시스템의 구현	11
3.1 시스템의 구성	11.....
3.2 MAC 프로토콜의 설계	12
3.3 AP의 구현	16..
3.3.1 AP의 하드웨어 구성	16
3.3.2 소프트웨어의 구현	9..... 1
3.4 센서노드의 구현	21.....
3.4.1 센서노드 하드웨어의 구성	22
3.4.2 센서노드 프로그램의 구현	23
3.5 모니터 서버 프로그램의 구현	25
제 4 장 결 론	26.....
참 고 문 헌	27

그 립 목 차

그림 1 WiseMAC의 동작	10.....
그림 2 롤 모니터링 시스템 구성도	11
그림 3 구현된 MAC의 동작	13
그림 4 프리앰블 필드의 구조	14
그림 5 구현된 MAC의 프레임 구조	15
그림 6 AP의 블록 다이어그램	17
그림 7 AP의 회로도	18.....
그림 8 구현된 AP	18.....
그림 9 모니터링 서버-AP간 데이터 전송 포맷	19
그림 10 AP의 동작	20.....
그림 11 센서노드의 구조	1..... 2
그림 12 센서 노드의 회로도	22
그림 13 구현된 센서 노드의 테스트 보드	23
그림 14 센서 노드의 동작	24

Implementation of Roll Monitoring System in Steel Mill using Wireless Sensor Network

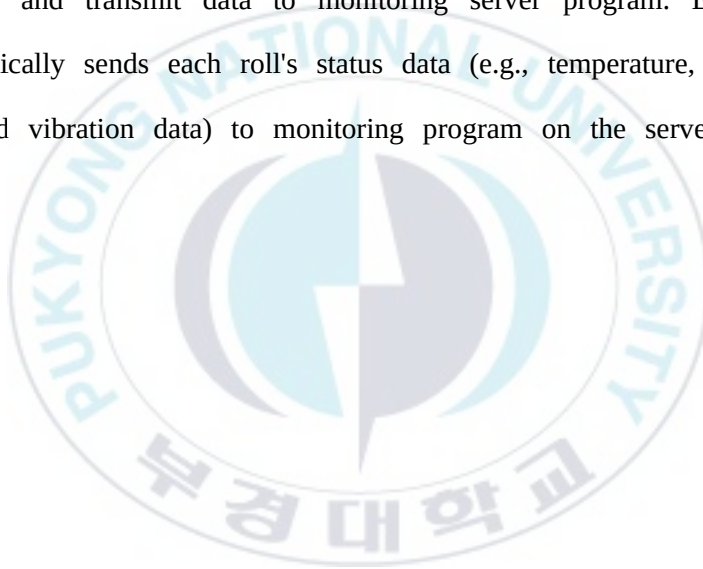
Jin-Pil Gim

*Department of Computer Engineering,
Graduate School
Pukyong National University*

Abstract

A wireless sensor network is a network consisting of spatially distributed autonomous devices using sensors to monitor physical or environmental conditions at different locations. Each sensor node in the sensor network is typically equipped with a radio transceiver, a microcontroller, and battery. There are various rolls and the quality of produced steel depended on status of rolls. Therefore, checking the status of roll is very important. However, it

is too difficult to wiring the sensors because there is great number of rolls and they exposed to high temperature in the still mill. Therefore, we implement the roll monitoring system that using wireless sensor network. In this system, a small number of APs (access point) are interconnected through the Ethernet. Each access point is serving a number of sensor nodes. To connect AP and sensor nodes, we propose and implement MAC protocols that applied preamble-sampling technique. APs connect to server computer via TCP socket and transmit data to monitoring server program. Each sensor node periodically sends each roll's status data (e.g., temperature, number of rotation, and vibration data) to monitoring program on the server computer via AP.



제 1 장 서 론

최근 산업제어부문에서 RF(Radio Frequency)를 이용하여 외부 이벤트를 감지하고 이를 네트워크를 통해 전송 및 제어하는 무선 센서 네트워크(WSN : Wireless Sensor Network) 기술이 활발히 연구되고 있다. 무선 센서 네트워크의 센서 노드는 제한적인 연산 능력과 메모리를 가지고 있으며, 무선 통신 능력을 가진다. 또한, 센서 노드는 소형으로 만들어지며 주로 배터리에 의해 구동되도록 구성되고, 특정 지역에 다수를 분포시켜 지역의 감시, 환경의 감시, 건강관리 등의 분야에서 응용될 수 있다[1].

산업제어 분야 중 철강분야에서는 주로 롤 모니터링 시스템이 개발되고 있다. 롤 모니터링 시스템에서는 철강생산 공정에서 빼 놓을 수 없는 부품중의 하나인 롤(Roll)의 상태를 인식하고 이를 관리자에게 보고한다. 롤이란 원통형의 기계 부속품으로써 강판을 얇게 가공하는 압연 롤, 가공된 강판을 전달 해주거나 아연도금 포트(pot) 안에서 강판에 아연을 입히는 싱크롤, 강판에 페인트를 칠해주는 코팅 롤 등이 있다. 이 중에서 특히 압연 롤의 경우 롤 사이로 강판을 통과시켜 얇게 밀어내므로 많은 압력을 받게 되어 롤이 휘는 등의 현상이 나타나는데 이는 제품의 품질에 직접적인 영향을 미치므로 롤의 상태를 감시하고 이상여부를 확인하는 일은 무엇보다 중요한 일이라 할 수 있다. 그러나 현재 사용되는 대부분의 롤 상태 모니터링 시스템은 주로 유선으로 구현되어 롤의 수가 비교적 많은 경우나 고온 다습한 환경에 적용하는 경우에는 배선의 어려움 등으로 적합하지 않다. 이 문제를 해결하기 위해 롤 상태 모니터링 시스템을 무선으

로 구축할 필요성이 증가하고 있다. 이에 본 논문에서는 RF 기반의 무선 센서 네트워크 기술을 응용하여 물의 상태를 모니터링 하기 위한 시스템을 구현하고 그 결과를 제시한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다.

제 2장에서는 기존에 연구된 무선 센서 네트워크의 MAC 프로토콜에 관해 알아본다. 제 3장에서는 물 모니터링을 위한 무선 센서 네트워크를 구현한다. 이를 위해 AP, 센서 노드, 모니터링 서버 프로그램을 구현하고 고찰한다. 제 4장에서는 결론을 내린다.



제 2 장 관련 연구

2.1 무선 센서 네트워크를 위한 MAC 프로토콜

무선 센서 네트워크 환경에서 각 센서의 전력은 배터리로부터 제공되기 때문에 제한적이다. 통신을 위한 전력소모가 크게 되면 전체 무선 센서 네트워크 자체의 생명주기가 짧아지는 결과를 초래하기 때문에 통신 시 소모되는 전력을 줄이기 위한 여러 MAC 프로토콜들이 제안되었다. 무선 센서 네트워크 환경에서의 MAC 프로토콜들은 설계 관점에 따라 채널수에 따른 분류, 경쟁기반(contention based) 또는 비경쟁 기반 채널 접속 방식과 관련된 노드의 조직(organization)에 따른 분류, 수신되는 메시지가 있을 때 이를 인지하는 방법(notification)에 따른 분류 등의 3가지로 분류될 수 있다[2].

사용하는 채널의 수에 따른 분류에 따르면 다중 채널 시스템의 충돌이 거의 없는 환경에서는 SMACS[3]와 PicoRadio[4]와 같은 다중 채널을 사용하는 MAC 프로토콜들이 좋은 성능을 보여준다. 하지만 다중 채널을 이용한 복잡한 무선 통신이 상당한 에너지 소모를 요구하기 때문에 MAC 프로토콜을 설계할 때 간단하고 강인한 단일채널의 물리 계층을 사용하는 경향으로 바뀌게 되었다.

MAC 계층에서 센서 노드의 조직화 방법에 따른 분류에 따르면 경쟁기반 프로토콜은 다른 노드와의 전송 충돌로 인한 에너지 소모와 매체 접근을 위한 채널 감지 등을 위한 에너지 소모가 많다. CSMA/CA(Carrier

Sense Multiple Access/Collision Avoidance) 프로토콜이 대표적인 예로써 이웃 노드들이 자신의 제어 패킷을 도청하게 하여 송수신시 매체에 접근하는 것을 막아준다. 그러나 항상 채널을 수신하고 있어야 하므로 에너지 소모를 줄일 여지가 많지 않다. J. Hill과 D. Culler[5], 그리고 A. El-Hoiydi[6]는 각각 프리앰블 감지 기법을 통해 주기적으로 무선 통신부분의 전원을 끄고 켜는 방법을 제안하였다. El-Hoiydi는 ALOHA방식에 이 방법을 적용하여 Preamble Sampling을 제안하였다[7]. B-MAC[8]에서는 프리앰블의 길이를 상위 계층에 변수로 제공하여 에너지 소모 감소와 성능 사이의 트레이드 오프를 통해 최적화된 값을 선택할 수 있게 하였다. El-Hoiydi는 Preamble Sampling에서 송신자가 수신자의 샘플링 주기를 알고 있는 경우 긴 프리앰블이 필요 없음을 이용하여 네트워크 트래픽에 따라 유동적으로 프리앰블의 길이를 최적화 시킬 수 있는 Wise-MAC을 제안하였다[9]. 프레임 기반의 TDMA 방식의 MAC 프로토콜은 예약과 스케줄링을 사용하기 때문에 충돌이 없어 자연스럽게 전력 소모를 줄이는 프로토콜이다[10]. L-MAC(Light weight MAC)은 TDMA 기반의 MAC 프로토콜로 시간을 슬롯으로 나누어 각 노드에게 할당함으로써 노드를 관리한다[11]. 이 프로토콜은 두 홉 내에 있는 이웃 노드들이 쓰지 않는 번호의 슬롯을 사용함으로써 충돌이 없는 통신을 할 수 있게 한다. 하지만 새로운 노드가 가입할 시도할 때 어떤 슬롯이 사용되지 않고 있는지 알기 위해 프레임내의 모든 슬롯을 수신해야하는 오버헤드가 있다.

센서 노드가 메시지 송수신을 인지하는 방법에 따르면 TDMA와 같은 스케줄링 기반의 프로토콜은 사전에 각 노드가 통신할 시간이 정해져 있기 때문에 언제든지 채널을 감시하고 있을 필요가 없이 정해진 시간에서만

통신을 하기 때문에 에너지 소모를 줄일 수 있다[12, 13]. MAC 프로토콜 중 Wake-up 라디오를 사용하는 경우 통신 채널과 별도의 주파수를 여분의 채널로써 Wake-up 사용하여 매우 낮은 전력으로 채널을 감지하여 수신되는 신호를 인지한다[14]. 그러나 Wake-up 채널이 비록 저 전력이라 할지라도 여분의 채널을 감지하고 있는 것은 에너지 소모를 줄이기 위한 측면에서 좋지 못하므로 단일 채널을 사용하는 센서 네트워크로 옮겨가게 되었다. 그 결과 단일 채널을 사용하고 주기적으로 라디오를 끄고 켜면서 라디오가 켜진 구간만 채널을 감지하면서 데이터의 수신을 인지하게 하는 프로토콜이 제안되었다.

앞서 기술한 MAC 프로토콜들이 애드 혹 멀티 홉(ad-hoc multi-hop) 토폴로지를 가정한 프로토콜인데 반해 El-Hoiydi는 프리앰블 샘플링 기법을 응용하여 인프라스트럭처 네트워크(Infrastructure Network)를 위한 WiseMAC 프로토콜을 제안하였다[16]. 인프라스트럭처 네트워크는 이더넷과 같은 백본 네트워크에 연결되어 있는 소수의 AP(Access Point)와 AP에 연결된 다수의 센서 노드로 구성된다. AP의 가장 큰 특징은 전력 소모에 제약이 없다는 점이다. 따라서 소수의 AP를 설치시 전원과 이더넷 등의 네트워크에 연결이 용이한 빌딩, 공장 등의 모니터링 등에 유리하며 본 논문에서 구현하고자 하는 물 모니터링 시스템에 적합하다.

WiseMAC[16]의 동작은 그림 1에서 보는 바와 같이 각 센서 노드가 고유의 RF 채널 샘플링 주기를 가지고 프리앰블이 수신되는 경우에만 데이터를 수신하고 나머지 시간은 슬립모드로 전환하여 전력소모를 줄이도록 한다. AP는 연결된 모든 센서의 샘플링 주기를 알고 있어야 하며 데이터 전송이 필요한 경우 각 센서 노드의 샘플링 주기에 맞춰 프리앰블을 전송

하고 데이터 전송을 시작한다. 이러한 방법은 전력소모를 줄일 수 있고 다운링크 스트림 (AP에서 센서노드로의 통신)만을 다루었기 때문에 자연적으로 충돌발생의 가능성 또한 없다는 장점이 있으나 무선 센서 네트워크의 어플리케이션의 특성상 꼭 필요한 업 링크 스트림(센서노드에서 AP를 통한 외부로의 데이터 전송)에 대한 처리가 빠져있다는 단점이 있다.

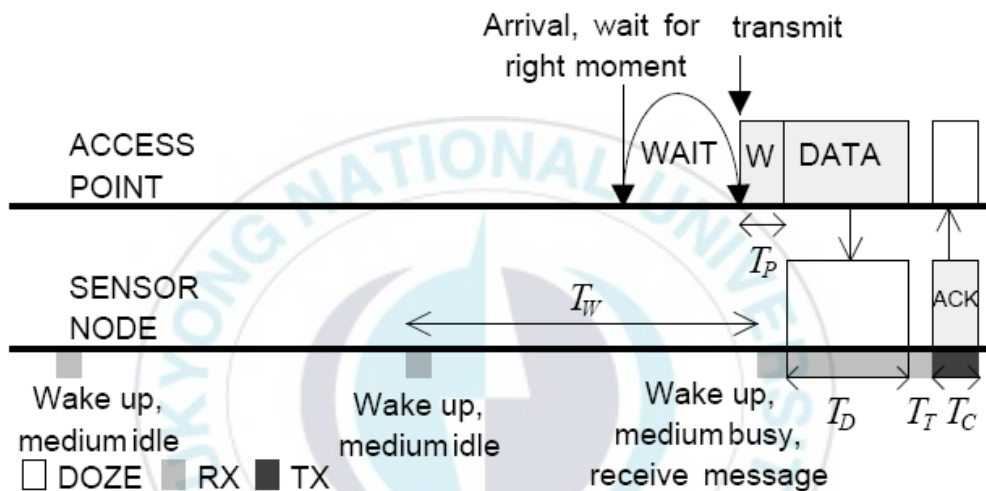


그림 1 WiseMAC의 동작

본 논문에서는 El-Hoiydi가 제안한 WiseMAC의 기본 아이디어와 TDMA 기법을 응용하여 업 링크 스트림을 구현하여 양방향 통신이 가능한 롤 모니터링 시스템을 위한 무선 센서 네트워크 MAC 프로토콜을 설계하고 구현한다.

제 3 장 롤 모니터링 시스템의 구현

3.1 시스템의 구성

롤 모니터링 시스템은 그림 2와 같이 모니터링 서버, AP(Access Point), 센서 노드의 세 부분으로 구성되고 모니터링 서버와 AP는 이더넷, AP와 센서 노드는 MAC 프로토콜을 통해서 연결된다.

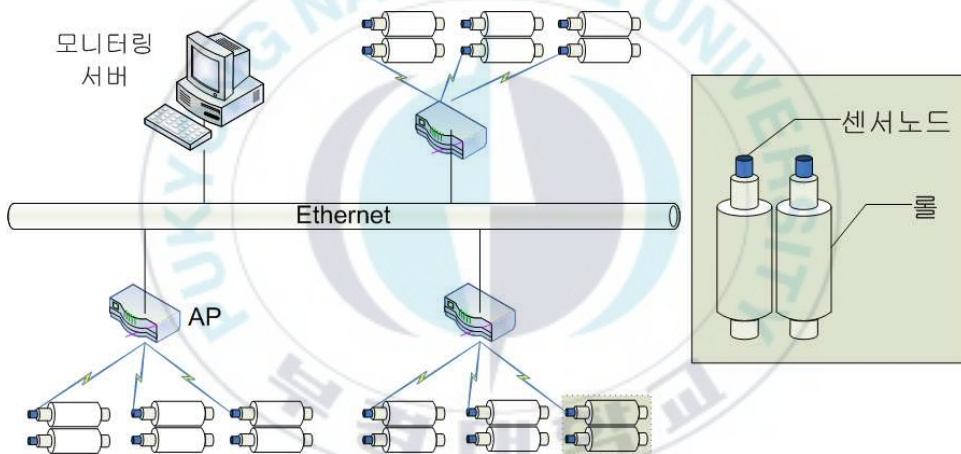


그림 2 롤 모니터링 시스템 구성도

모니터링 서버는 PC를 이용하며 GUI를 통하여 현재 각 센서노드에서 수집된 데이터와 센서노드의 상태정보 등을 표시하고 파일에 수집된 데이터를 기록한다. 또한 현재 상태데이터를 보고 하도록 하는 등의 사용자 명령을 센서노드에 내릴 수 있도록 한다.

AP는 상시적인 전원을 공급받고 이더넷에 연결되어 센서노드와 모니터

링 서버 사이의 게이트웨이 역할을 담당한다. 또한 인접한 센서노드들을 관리하고 모니터링 서버와 센서 노드간의 통신을 중계한다. 모니터링 서버와는 TCP 소켓으로 연결하며 센서 노드와의 통신은 본 논문에서 구현한 MAC 프로토콜을 이용한다.

센서 노드는 물에 부착되어 물과 함께 회전하면서 물의 회전수, 진동, 온도 등 상태에 관한 데이터를 수집하여 AP를 통해 모니터링 서버로 전달한다. 그리고 배터리로 구동되어야 하므로 전력 소모가 작은 소형의 마이크로컴과 RF 트랜시버로 구성된다.

3.2 MAC 프로토콜의 설계

물 상태 모니터링 시스템의 특성상 제철소 내부라는 제한된 공간에서 운영되며 상시적인 전원 공급과 이더넷 연결이 가능한 소수의 AP를 설치하기가 비교적 용이하여 인프라스트럭처 네트워크 토폴로지가 적합하다. 또한 센서노드의 데이터 수집 주기가 1일 2~3회 정도로 매우 길고, 데이터 전송량이 비교적 소량이다. 또한 관리자에 의해 물의 이상이 의심되는 경우와 같이 센서 노드의 데이터 수집 주기와 상관없이 현재의 상태를 즉시 확인할 필요가 있는 경우가 발생할 수 있다. 이러한 경우 현재의 상태를 즉시 보고하도록 센서 노드에 명령을 내려야 하며 이를 위해 양방향 통신이 필요하다. 그러므로 본 논문에서는 전체 시스템의 수명주기를 늘리기 위하여 El-Hoyidi 등이 제안한 방법과 TDMA를 응용하여 MAC 프로토콜을 설계하였다.

본 논문에서 제안하는 MAC 프로토콜은 그림 3에서 보이는 바와 같이 전체 수행주기를 절반으로 나누어 업 링크 타임 슬롯과 다운링크 타임 슬롯으로 구분한다. 업 링크 타임 슬롯에서는 센서노드에서 AP로의 전송이 이루어지고 다운링크 타임 슬롯에서는 AP에서 센서노드로의 데이터 전송이 이루어진다.

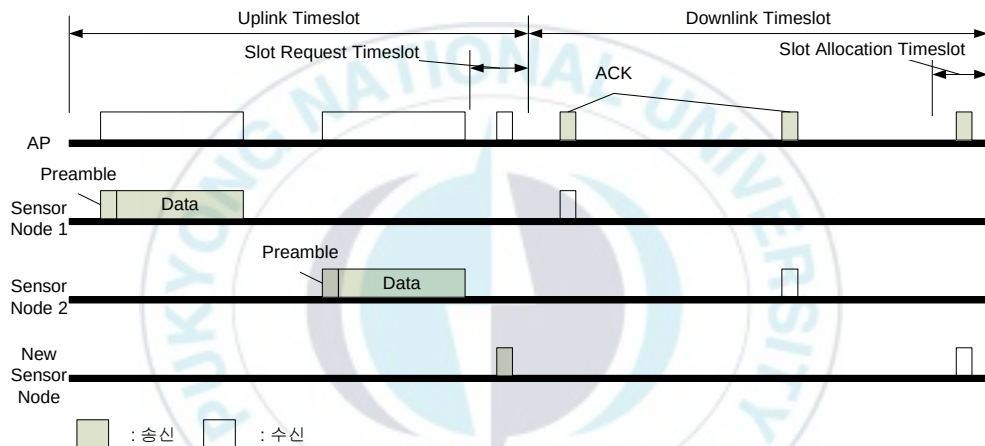


그림 3 구현된 MAC의 동작

각 센서노드는 네트워크에 참여할 때 AP로부터 슬롯 번호를 할당 받는데 이는 업 링크와 다운링크 타임 슬롯의 번호로 사용된다. 이를 위해 업 링크와 다운링크 타임 슬롯에는 각각 슬롯 요구 타임 슬롯(Slot Request Time slot)과 슬롯 할당 타임 슬롯(Slot Allocation Time slot)을 두고 새로운 센서 노드가 네트워크에 참여할 때 사용한다. 데이터 전송에 사용되는 프리앰블은 그림 4와 같이 업 링크 시에는 0xAA, 다운링크 시에는 0x55의 비트패턴을 사용하고 해당 타임 슬롯의 번호를 포함하여 전송함으로써 새

로 네트워크에 참여하는 센서 노드의 동기화에 이용할 수 있다. 센서 노드는 네트워크에서 전송되고 있는 프리앰블을 수신하여 시간을 동기화하고 슬롯 요구 타임 슬롯까지 대기한다. 슬롯 요구 타임 슬롯이 되면 슬롯 할당 요청 메시지를 AP에 전송하고 다운 링크 타임 슬롯의 슬롯 할당 타임 슬롯에서 그 결과를 수신함으로써 타임 슬롯 할당과정을 마치게 된다. 만약 타임 슬롯 할당 요청이 두 개 이상의 센서노드에 의해 동시에 이뤄져 충돌이 발생한 경우에는 AP가 바로 다음의 다운링크 타임 슬롯에서 ACK필드에 NACK를 표시하여 전송하며 두 노드는 각각 임의의 시간동안 대기 후 타임 슬롯을 재요청한다. 타임 슬롯을 할당받은 센서노드는 자신의 타임 슬롯이 아닌 동안은 슬립모드로 전환하고 주기적으로 웨이크 업해서 데이터를 송수신하게 된다.

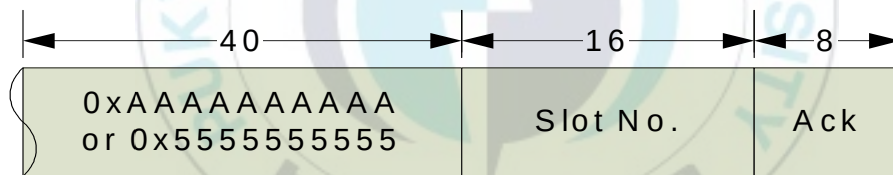


그림 4 프리앰블 필드의 구조

다운링크의 데이터 전송은 AP가 목적 센서 노드의 타임 슬롯에서 프리앰블과 데이터를 전송한다. 센서 노드는 자신의 타임 슬롯이 되는 시점에서 Wake-Up하고 RF 채널을 수신하여 수신된 데이터가 프리앰블이면 데이터 수신을 시작한다. 그러나 수신된 데이터가 프리앰블이 아니거나 수신된 데이터가 없으면 다시 슬립모드로 전환함으로써 Wake-Up 주기간의 통신 전력을 줄임으로써 전체 시스템의 전력소모를 줄일 수 있다[6][15]. 데이터 수신이 완료된 센서노드는 바로 직후의 업 링크 타임 슬롯에서

ACK 신호를 전송하여 데이터 전송을 종료한다. 데이터 전송 후 ACK 신호를 수신하지 못한 경우 재전송하며 3회 이상 재전송에 실패하면 에러를 반환한다.

업 링크의 데이터 전송 시 센서 노드는 먼저 RF 채널 사용여부를 확인하고 채널이 사용 중이 아닐 경우 타임 슬롯 길이만큼 프리앰블을 전송하고 데이터 전송을 시작한다. AP는 해당 타임 슬롯동안 프리앰블이 수신되면 데이터를 수신하고 그렇지 않으면 다음 타임 슬롯까지 대기한다. 데이터가 성공적으로 수신된 경우 바로 직후의 다운링크 타임 슬롯에서 ACK 신호를 전송한다. 센서노드가 ACK 신호를 수신하면 데이터 전송이 완료되며 ACK 신호가 수신되지 않거나 NACK 신호가 수신되면 데이터 전송을 다시 시도한다.

구현된 MAC 프로토콜에서 사용하는 프레임 구조는 그림 5와 같다. 여기서 타임 슬롯은 1024개로 분할하고 프리앰블은 64bit로 구성하였으며 이진수 1과 0의 반복으로 설정하였다. Sensor ID 필드는 16비트 크기의 센서 고유ID를 포함하며 Data Size 필드에는 다음에 오는 데이터 필드의 크기 정보가 포함되며, 가변길이의 Data가 전송된 후에 16비트 CRC코드를 이용하여 오류를 체크한다.

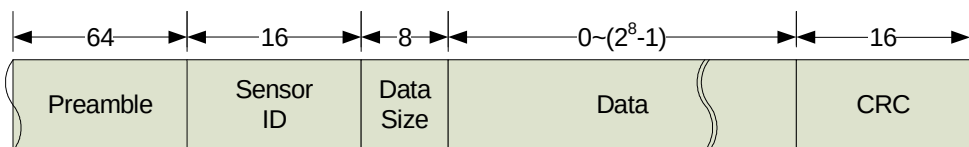


그림 5 구현된 MAC의 프레임 구조

본 구현에서는 업 링크 타임 슬롯과 다운링크 타임 슬롯으로 각각 512개를 구성하였으며 각 타임 슬롯의 길이는 프리앰블이 전송되는 시간의 길이로 정하였다. 따라서 프리앰블의 전송시간을 T_p 라고 할 때 MAC 프로토콜의 전체 수행 주기 T 는 다음 식 (3.2.1)과 같다.

$$T = T_p * 1024 \quad 3.2.1$$

구현된 시스템은 Chipcon社의 CC1000 RF Transceiver를 사용하였고, AP와 센서노드는 CPU의 시리얼 포트와 인터페이스하기 위하여 채널 대역폭을 56kbps로 설정하였으며 프리앰블은 64bit로 설정하였으므로 전체 수행 주기는 약 1.2초가 된다. 그리고 업 링크와 다운 링크에서 각각 500개씩의 타임 슬롯은 각 센서노드들의 데이터 통신에 사용되고 나머지 12개씩의 센서노드는 타임 슬롯의 할당을 위하여 사용한다. 이렇게 함으로써 이론상 최대 500개의 센서들이 한 채널에서 사용될 수 있다.

3.3 AP의 구현

를 상태 모니터링 시스템에서 AP는 각 센서노드들을 관리하고, 각 센서노드로부터 획득된 상태정보를 모니터링 PC로 전달하는 역할을 한다. 센서 노드와는 달리 전원 공급에 제약이 없고 이더넷 연결이 요구된다.

3.3.1 AP의 하드웨어 구성

AP는 FALINUX사의 EZ-X5 보드를 이용하여 구현하였다. EZ-X5 보드는 ARM코어를 내장한 Intel사의 PXA255 프로세서와 512KByte의 부트 플래시, 64MB의 SDRAM과 64MB의 NAND 플래시 메모리를 내장하였으며

CS8900 이더넷 컨트롤러를 내장하여 손쉽게 이더넷 연결이 가능하다. 그리고 손쉬운 어플리케이션 소프트웨어 개발을 위해 Linux 커널이 포팅되어 있다.

AP는 센서 노드의 타임 슬롯에 따라 정확한 시간에 데이터 송수신이 이루어져야하지만 리눅스 환경에서 정확한 타이밍을 보장하기 어려우므로 그림 6과 같이 EZ-X5보드에 Atmega128 컨트롤러와 시리얼 포트로 연결하고 Atmega128과 RF Transceiver인 CC1000을 시리얼 포트에 연결하여 구현하였다.

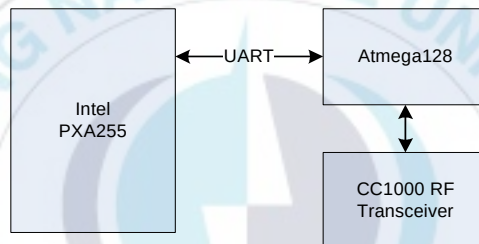


그림 6 AP의 블록 다이어그램

따라서 EZ-X5 보드에서는 모니터링 서버와의 TCP 연결을 관리하고 시리얼 포트를 통해 Atmega128 마이컴과 통신한다. Atmega128 마이컴에서는 MAC프로토콜을 구현하여 타임 슬롯을 관리하고 센서노드와의 통신을 담당한다.

ATMEGA128 마이컴은 16Mhz 외부 크리스털 클록으로 구동하고 UART0와 PXA255의 FFUART를 연결하여 통신하도록 하였다. RF Transceiver는 데이터 통신을 위해 UART1을 사용하고 RF Transceiver의 내부 레지스터 설정을 위해 PA0, PA1, PA2 포트를 PALE, PDATA, PCLK에 연결하였으며 RSSI(Received Signal Strength Indicator) 출력을 ADC0번 채널

구현한 AP의 회로도는 아래 그림 7과 같다.



실제 구현된 AP는 그림 8과 같다.

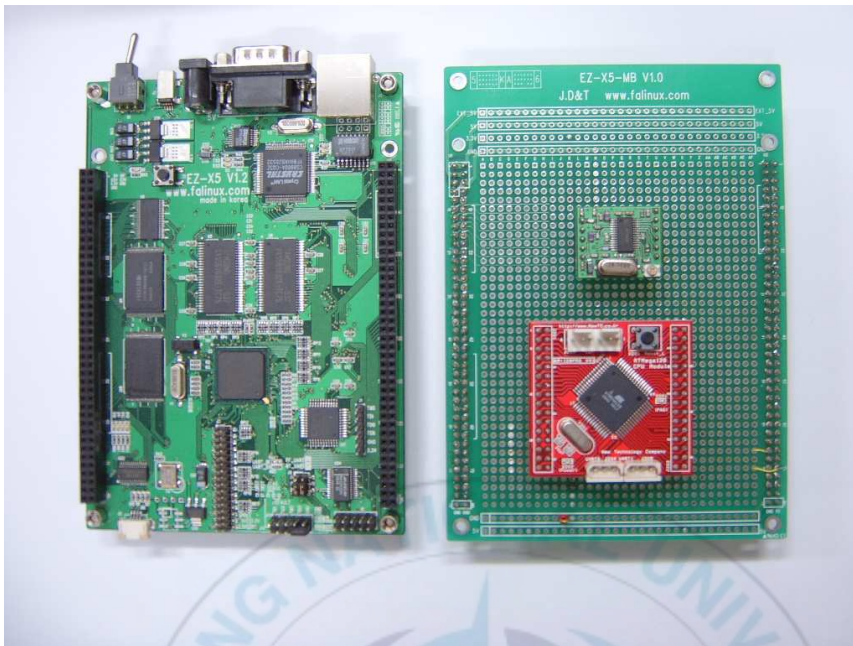


그림 8 구현된 AP

3.3.2 소프트웨어의 구현

AP에서 사용되는 소프트웨어는 PXA255 보드의 리눅스 환경에서 작성하여 구현된 서버와의 통신 부분과 Atmega128 마이컴에서 구현된 MAC관련 부분으로 나눌 수 있다.

먼저 EZ-X5 보드의 프로그램은 모니터링 서버와 TCP 소켓을 연결하고 데이터를 중계한다. 이때 모니터링 PC와 주고받는 데이터의 포맷은 다음 그림 9와 같다.

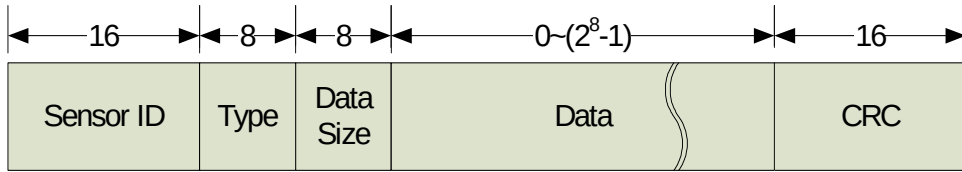


그림 9 모니터링 서버-AP간 데이터 전송 포맷

Type 필드는 데이터 유형을 표시하는 필드로 모니터링 AP에서 모니터링 서버로 전송될 때에만 존재한다. Type 필드의 값은 다음 표 1과 같다. EZ-X5 보드와 Atmega128 마이크로컴퓨터 간의 통신은 그림 9에 나타난 데이터 형식을 이용하여 이루어지며 리눅스상의 AP 프로그램은 데이터 전달과 버퍼링을 담당한다.

표 1 Type 필드

Type	AP → 서버
0x00	센서노드로부터 데이터 전달
0x01	센서 추가 알림
0xFF	센서 응답 없음

Atmega128 마이크로컴퓨터는 RF Transceiver와 연결되어 MAC 프로토콜의 업 링크 타임 슬롯과 다운 링크 타임 슬롯의 제어가 구현되었다. 업 링크를 수행하는 동안 RF Transceiver는 수신모드로 전환되어, 센서노드로부터 데이터 전송이 발생한 경우 수신된 데이터를 EZ-X5 보드로 전송한다. 또한, AP에 의해서 서버 컴퓨터가 센서노드에게 보내는 제어 메시지가 EZ-X5 보드를 통해 전달되며, 이 때 보내지는 요구 메시지는 내부 버퍼에 유지된다. 내부 버퍼에 유지되는 데이터는 센서노드의 ID, 데이터에 대한 포인터 값 등이 있다. 다운 링크 타임 슬롯으로 동작할 경우에는 먼저 도착

한 데이터부터 차례대로 전송한다. 이 때, AP에서 관리하는 센서노드의 센서ID와 타임 슬롯의 테이블도 역시 내부 버퍼에 유지된다. 그리고 새로운 센서 노드가 추가될 때 센서노드가 타이밍 동기화를 위해 할당되지 않은 슬롯에서도 프리앰블을 전송하도록 하며 센서 노드의 슬롯 할당 요구가 있을 때 타임 슬롯을 할당한다. AP의 동작은 그림 10과 같이 내장된 타이머 인터럽트를 이용하여 수행한다.

```
void TimerOverflow_ISR()
{
    TimerReset();
    if(bDownLink) {
        if( Slots[SlotCount]== -1 ) // 슬롯이 할당되지 않음
            SendPreamble();
        else SendData();
    }
    else {
        if( RecvPreamble() ) {
            ReceiveData();
        }
    }
    SlotCount++;
    return;
}
```

그림 10 AP의 동작

3.4 센서노드의 구현

센서 노드는 각 물의 회전수 온도, 진동 등 현재 물의 상태를 알 수 있는 데이터를 취득하여 AP로 전송한다. 센서 노드가 데이터를 수집하기 위해서 각 물에 센서노드가 부착될 필요가 있으며 이는 설치시의 물리적인 간섭을 줄이기 위해 센서 노드의 크기가 소형화될 필요가 있다. 본 구현에서는 센서 노드를 지름 4.5cm 높이 5cm의 원통형으로 제한하였다. 따라서 센서 노드는 지름 약 3cm 이하의 PCB 2~3장에 구현될 필요가 있다.

이를 위해 사용되는 마이컴은 소형이면서 센서와의 인터페이스를 위한 주변장치를 내장하고 있을 필요가 있다. 센서노드는 그림 11과 같이 2개의 배터리와 3개의 PCB로 구성된다.

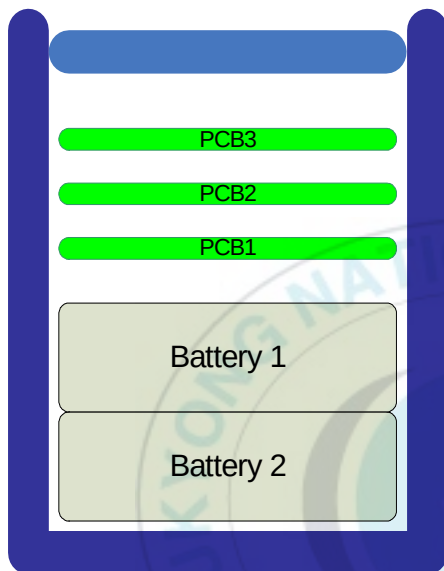


그림 11 센서노드의 구조

3.4.1 센서노드 하드웨어의 구성

센서노드는 Atmel 社の ATMEGA168V를 이용하여 구현하였다. ATMEGA168V 프로세서는 3V 전원을 사용하는 경우 약 0.5mA를 소모하는 저전력 프로세서이며 32핀 TQFP 패키지로 9mm*9mm의 소형이다. 이 컨트롤러는 32개의 범용 레지스터, 16KB의 Flash Memory, 1KB의 SRAM, 8 채널의 ADC, 직렬 USART, 23개의 IO를 지원하여 다양한 센서를 인터페이스 할 수 있다. 또한 다양한 파워 세이브 모드를 지원하여 센서 노드의 구현에 적합하다.

센서노드는 그림 12와 같이 배터리 구동을 감안하여 3V 입력전원으로 구동되며 클럭은 내부 오실레이터를 이용하여 1Mhz로 동작한다. RF Transceiver로 AP 구현 시와 동일한 CC1000을 사용하였다.

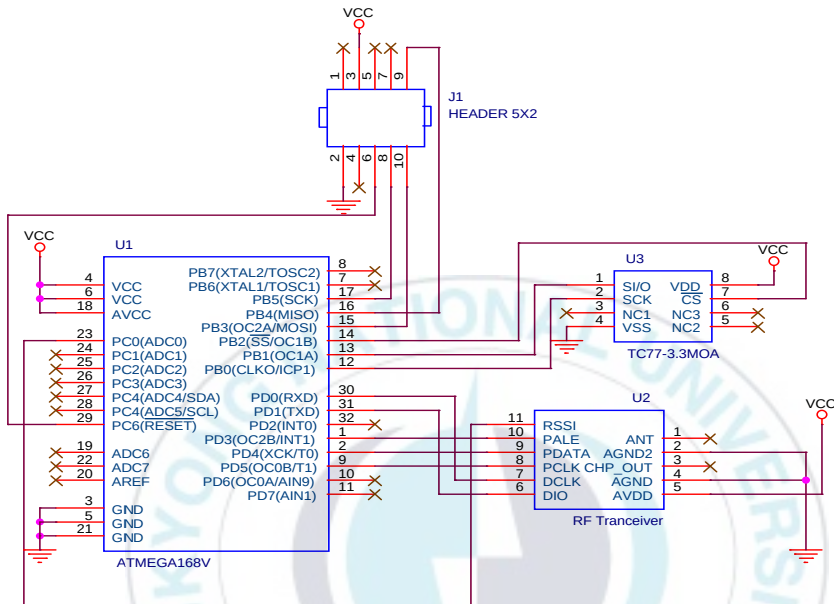


그림 12 센서 노드의 회로도

CC1000은 USART를 이용하여 데이터 입출력을 하도록 하였으며 PD3, PD4, PD5 포트와 RF Transceiver의 PALE, PDATA, PCLK 핀을 연결하여 무선 채널에 관한 설정을 하도록 하였다. TC77 온도센서를 PB0, PB1, PB2 포트에 연결하여 온도를 측정하는데 사용하였으며 AVR-ISP 포트를 이용하여 플래쉬 메모리의 프로그램을 담당하였다. 구현된 테스트 보드는 그림 13과 같다.

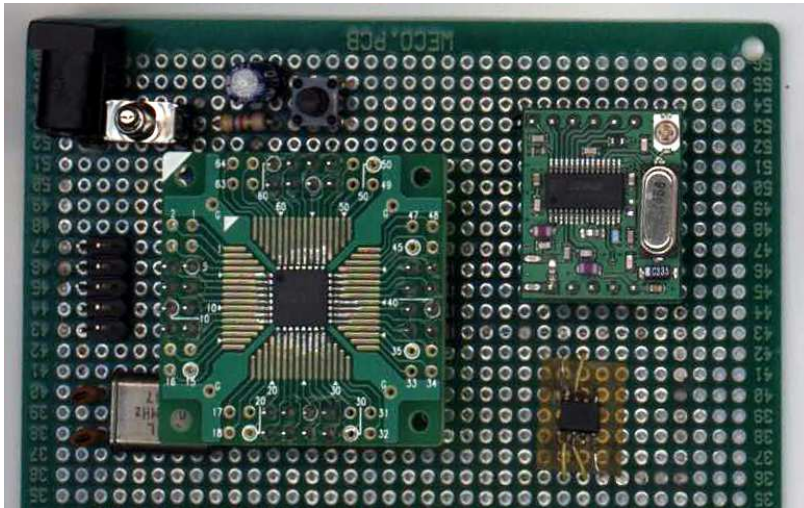


그림 13 구현된 센서 노드의 테스트 보드

3.4.2 센서노드 프로그램의 구현

3.4.2.1 센서 노드의 초기화

센서 노드가 처음 전원이 인가되거나 오동작 등으로 인하여 다시 시작된 경우 AP와의 통신을 초기화해야 한다. 이를 위해 기본적인 마이컴의 초기화 과정이 수행되고 나면 RF채널을 지속적으로 수신하여 AP에서 발신하는 프리앰블에 있는 슬롯 번호를 확인하여 AP와의 동기를 맞추고 다음 슬롯 요청 타임 슬롯이 될 때까지 슬립 모드로 전환한다.

3.4.2.2 데이터의 전송

센서노드에 사용된 Atmega168V 마이컴은 그림 14와 같이 아이들 모드에서 Timer1의 카운트는 지속되며 인터럽트가 발생할 경우 Active 상태로 천이되고 Timer1의 오버플로 인터럽트 서비스 루틴이 수행되므로 Timer1의 오버플로 인터럽트 서비스 루틴에서 MAC 프로토콜이 구현되었다.

```

int main()
{
    Init();
    RequestSlot();
    SetTimer();
    Suspend();
    while(1)
        SleepMode();
}
void Timer1Ovf_ISR() {
    CheckSensingPeriod();
    if( bUpLink==TRUE ) {
        if( bSenseData )
        {
            SenseData();
            SendData();
        }
    }
    else
    {
        if( SamplePreamble() )
        {
            ReceiveData();
            ProcessCommand();
        }
    }
}

```

그림 14 센서 노드의 동작

Timer1 오버플로 인터럽트가 발생하면 먼저 업 링크 슬롯인지 다운링크 슬롯인지를 판단하고 업 링크 슬롯이면서 송신할 데이터가 존재하는 경우 AP로의 데이터 송신을 수행한다. 다운 링크 슬롯인 경우에는 RF채널을 감지하여 프리앰블의 수신 여부를 결정하고 데이터의 수신이 없거나 프리앰블이 아닌 경우 인터럽트 서비스 루틴을 종료하면 마이컴은 아이들 모드로 전환되어 다음 타이머 오버플로 인터럽트 발생까지 대기한다. 이러

한 과정을 통해서 센서 노드의 전력소모를 감소시킬 수 있다.

3.5 모니터 서버 프로그램의 구현

모니터 서버 프로그램은 GUI를 통해 센서 노드로부터 수집된 각 물의 현재 상태에 관한 데이터와 현재 센서노드의 상태에 관한 데이터 등을 사용자에게 표시하고 사용자의 명령을 센서 노드로 전달한다. 모니터 서버는 Microsoft Visual C++를 이용하여 구현하였다.

프로그램의 화면 구성은 리스트 컨트롤을 이용하여 센서 노드에서 수집된 데이터를 표시하는 데이터 표시 부분과 센서 노드와의 통신과정 중에 발생한 이벤트에 대한 로그를 표시하는 부분으로 나뉜다. 데이터 표시 부분은 각 행마다 하나의 센서노드의 데이터가 종류별로 표시되며 가장 왼쪽의 체크박스를 이용하여 현재의 물 상태 데이터를 수집하도록 명령할 수 있다. 이벤트 로그 표시부분은 프로그램 동작 중 일어난 이벤트나 에러 메시지를 표시한다.

제 4 장 결 론

철강제조공정에 설치가 용이한 무선 센서 네트워크 기반의 물 모니터링 시스템을 개발하였다. 이를 위해 TDMA기법과 프리앰블 샘플링 기법을 응용하여 단일채널에서 양방향 통신이 가능한 인프라스트럭처 토폴로지를 구성하는 MAC 프로토콜을 설계하고 이를 이용하여 물 모니터링 시스템을 구현하였다.

기존의 프로토콜은 다운 링크 스트림만을 가정하여 실효성이 없었으나 본 논문에서는 TDMA를 응용하여 업 링크와 다운 링크를 위한 타임 슬롯으로 시간을 나누고 데이터를 전송하도록 하여 양방향 통신을 구현하였다. 그러나 타임 슬롯을 할당받기 위한 여분의 타임 슬롯을 할당하였으며 슬롯 할당을 요구할 때 전송충돌이 발생할 가능성이 있는 단점이 있다.

AP의 구현을 위해 Intel PXA255 프로세서와 Atmega128 마이컴을 이용하였다. 그리고 Atmega168V 마이컴을 이용하여 센서노드를 구현하고 설계된 MAC 프로토콜을 적용하고 시험적으로 TC77 온도 센서를 연결하여 동작을 검증하였다. 차후 물의 회전수, 진동 특성 등의 데이터를 수집하기 위한 센서를 추가하여 물의 정확한 상태를 진단하는 방법에 대한 연구가 필요하다.

참 고 문 헌

[1] D. Culler, D. Estrin, M. Srivastava "Overview of Sensor Networks", IEEE Computer Society, August 2004.

[2] 황호영, 정윤원, 김민정, 정창용, 권재균, 성단근, “무선 센서 네트워크에서의 에너지 효율적인 MAC 프로토콜에 대한 동향 및 분석,” Telecommunication Review 제14권 6호, 2004. 12.

[3] K. Sohrabi, J. Gao, V. Ailawadhi and G. Pottie, "Protocols for self-organization of a wireless sensor network," IEEE Personal Communications, Vol. 7, No. 5, Oct. 2000, pp. 16-27.

[4] C. Guo, L. Zhong and J. Rabaey, "Low power distributed MAC for ad hoc sensor networks," in Proc. IEEE GLOBECOM 2001, Vol. 5, Nov. 2001, pp. 2944-2948.

[5] J. Hill and D. Culler. Mica, "A wireless platform for deeply embedded networks," IEEE Micro, Vol. 22, Nov. 2002.

[6] A. El-Hoiydi, "Aloha with preamble sampling for sporadic traffic in ad hoc wireless sensor networks," in Proc. IEEE ICC 2002, Vol. 5, Apr. 2002.

[7] A. El-Hoiydi, "Aloha with Preamble Sampling for Sporadic Traffic in Ad Hoc Wireless Sensor Networks," in Proc. IEEE Int. Conf. on Communications, New York, USA, Apr 2002.

[8] J. Polastre and D. Culler, "B-MAC: An adaptive CSMA layer for

low-power operation," Technical Report, Dec. 2003.

[9] A. El-Hoiydi, J.-D. Decotignie, C. Enz and E. Le Roux, "Poster abstract: WiseMAC, an Ultra Low Power MAC Protocol for the WiseNET Wireless Sensor Network " in Proc. ACM Sensys 003, Nov. 2003.

[10] P. Havinga and G. Smit, "Energy-efficient TDMA medium access control protocol scheduling," in Proc. AMOC 2000, Nov. 2000, pp. 1-9.

[11] L. van Hoesel and P. Havinga, "A lightweight medium access protocol for wireless sensor networks," in Proc. INSS 2004, May 2004.

[12] K. Arisha, M. Youssef and M. Younis, "Energy-aware TDMA-based MAC for sensor networks," in Proc. IMPACCT 2002, May 2002.

[13] G. Pei and C. Chien, "Low Power TDMA in large wireless sensor networks," in Proc. IEEE MILCOM 2001, Vol. 1, Oct. 2001, pp. 347-351.

[14] S. Singh and C. Raghavendra, "PAMAS: Power aware multi-access protocol with signaling for ad hoc networks," ACM SIGCOMM Computer Communication Review, Vol. 28, No. 3, Jul. 1998, pp. 5-26.

[15] A. El-Hoiydi, "Spatial TDMA and CSMA with Preamble Sampling for Low Power Ad Hoc Wireless Sensor Networks," in Proc. IEEE Int. Conf. on Computers and Communications (ISCC), Taormina, Italy, July 2002.

[16] A. El-Hoiydi, J.-D. Decotignie, and J. Hernandez. "Low power MAC protocols for infrastructure wireless sensor networks", In Proceedings of the Fifth European Wireless Conference, Feb. 2004.

감사의 글

본 논문이 이루어지기까지 세심한 배려와 지도로 이끌어주시며 학문의 길을 가르쳐주신 우중호 교수님께 한없는 감사를 드립니다. 그리고 본 논문을 심사해주신 조우현 교수님, 서경룡 교수님께 진심으로 감사드립니다. 또한 학위과정동안 많은 가르침을 주신 학과의 여러 교수님들께도 감사드립니다.

길게 느껴졌지만 짧았던 대학원 생활동안 항상 격려해주시고 조언을 해주신 봉기형, 이미 졸업하셨지만 항상 관심가지고 챙겨주셨던 수진형에게도 감사드립니다. 그리고 연구실에서 같이 생활하며 고생했던 승호, 민석, 회정, 성원이와 다른 선후배님들께도 감사드립니다. 대학원 선배로써 고민도 들어주시고 많은 조언해주신 창수선배, 희숙선배, 길호선배, 주현선배에게도 감사드립니다. 같이 공부하면서 고생한 진호, 규희, 영선씨와 지금은 졸업한 학부동기 석주에게도 고마움을 전합니다. 학부시절부터 언제나 새로운 도전꺼리를 제시해주었던 컴퓨터제어연구회 높낮이의 여러 선배님들, 동기들, 후배들에게도 감사드립니다. 특히 늦은 시각 출출할 때 찾아뵈어 이런저런 이야기를 들어주신 제식형과 멀리서도 후배 걱정이 많으셨던 성기형에게 감사드립니다.

이날이 있기까지 힘든 일 마다하지 않으시고 항상 관심과 사랑으로 지켜봐 주신 어머니와 동생 진욱이와 함께 작은 결실의 기쁨을 나눕니다.

2007년 2월 김진필 드림