

무선 센서 네트워크 기반 무기 자산 건전성 모니터링 시스템

정희원 윤경효*, 이승일*, 이진영*, 하성기**, 유창석***, 김성률*,
종신회원 서대화*

Health Monitoring System based on Wireless Sensor Network for Weapon Asset

Kyung-Hyo Yoon*, Seung-il Lee*, Jin-Young Lee*, Sung-Gi Ha**, Chang-Seok You***,
Seong-Ryul Kim* *Regular Members*, Dae-Wha Seo* *Lifelong Member*

요약

본 논문에서는 무기 자산의 고장 진단 및 수명을 판단하는데 중요한 정보로 활용되는 온도, 습도, 충격량을 모니터링하여 무선 네트워크를 통하여 관리 서버로 전송하는 무선 센서 네트워크 기반 무기 자산 건전성 모니터링 시스템을 소개한다. 본 시스템의 운용을 위해 제안된 시나리오와 시나리오에 따라 개발한 무선 네트워크 운용 라우팅 방법을 소개한다. 그리고 시스템 구현을 위해 개발된 센서 태그, 이동형 리더기, 모니터링 서버를 소개한다.

Key Words : RRAPDS, PHM, WSN, USN, IEEE 802.15.4

ABSTRACT

This paper introduces a health monitoring system based on a wireless sensor network for weapon asset. This system can estimate the remaining lifetime and decide what should be done and when should it be done using the environmental conditions such as temperature, humidity and shock for weapon assets by sensor tag. And we describes its operating scenario and routing method for this system. Finally we introduce the developments of the sensor tag, portable reader, gateway and monitoring server.

I. 서론

최근 항공, 우주, 원자력, 건설 분야 등에서 주요 자산에 대한 Health Monitoring 방안에 대한 연구가 다각적으로 이루어지고 있다. 방산 분야를 중심으로 그림 1과 같이 RRAPDS(Remote Readiness Asset Prognostics and Diagnostics System)^[1] 개념

을 전술, 전략 무기 체계를 비롯한 다양한 무기체계에 핵심 시스템으로 적용하고 있다. 적재, 보관, 이동, 작중 중에도 해당 무기 체계의 상태에 대한 정보를 실시간으로 사용자에게 제공하고 있으며 획득된 데이터를 기반으로 무기체계의 수명과 직접적인 관련된 수명관리 프로그램에 효과적으로 사용하고 있다^[2-3].

※ 본 연구는 국방과학연구소 PHM 시스템 개발 프로그램의 일환으로 수행되었습니다.

* 경북대학교 임베디드소프트웨어연구센터(newyoon@cest.re.kr), (dwseo@cest.re.kr), (: 교신저자) ** (주)퍼스텍, *** 국방과학연구소 논문번호 : KICS2011-12-594, 접수일자 : 2011년 12월 1일, 최종논문접수일자 : 2012년 1월 16일

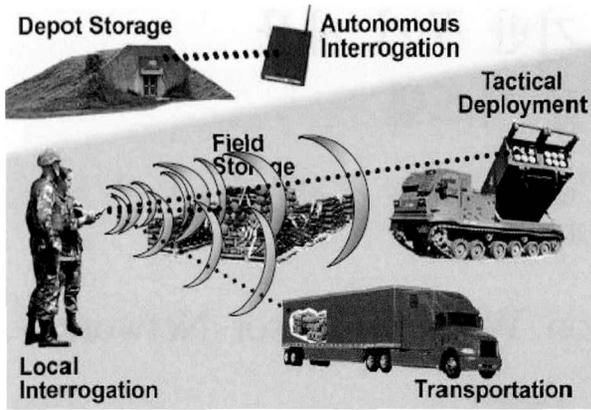


그림 1. RRAPDS 개념도
Fig. 1. RRAPDS

무기체계의 성능 개선과 더불어 무기체계에 탑재된 PHM(Prognostic Health Monitoring)기술은 경쟁 무기체계화의 차별화에 핵심 요소 기술로써 수명주기 안에서 고장 및 진단을 예측하여 무기체계의 신뢰성을 보장한다⁴⁻⁵. 그림 2와 같이 PHM은 무기체계가 자신의 상태를 스스로 판단하여 그 정보를 사용자에게 실시간 제공하도록 하는 스마트 무기(Smart Weapon) 개념이며 모든 주요 무기체계의 설계 단계에 적용하는 것을 궁극적인 목표로 삼고 있다⁶.

무기 자산이 처한 환경에서 센서 네트워킹 기술의 적용은 기존의 네트워크 보다 환경적, 운용적인 측면에서 가혹한 제약사항을 가지고 있다.²⁻³ 또한 무기 자산이라는 특수한 응용분야는 무기 자산의 종류 및 보관 등에 따라 건전성 모니터링 운용 방법이 상이하하며 이에 따라 별도의 프로토콜이 요구된다.

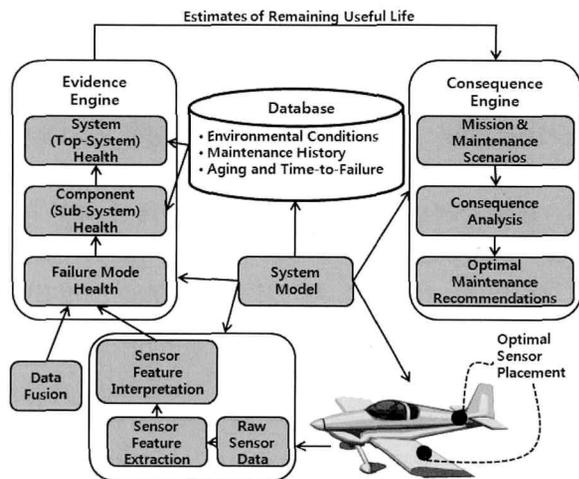


그림 2. PHM 시스템 아키텍처
Fig. 2. PHM System Architecture

따라서 본 논문에서는 군 환경을 고려한 무선 센서 네트워크 기반의 무기 자산 건전성 모니터링 시스템을 제안 한다. 그리고 본 시스템을 위한 무선 네트워크 라우팅 방법과 운용 시나리오를 제안한다. 상황 시나리오에 대한 연구 내용과 무선 네트워크 라우팅 방법을 바탕으로 무기 자산에 부착되는 센서태그, IEEE 802.15.4⁷기반의 센서태그 네트워크 관리 기능의 게이트웨이, 센싱 정보를 수집 및 데이터베이스에 저장하는 모니터링 서버, 사용자가 휴대하여 센서태그의 정보를 확인 할 수 있는 이동형 리더기를 개발하여 시스템을 구현하였다. 마지막으로 개발된 센서태그에 대해 MIL 규격(Military Standard)⁸에 기초한 성능 및 신뢰성 시험을 통하여 군 환경에 이용 가능성을 시험하였다.

II. 무기 자산 건전성 모니터링 시스템

무기 자산은 무선 센서 네트워크로 이루어진 통제 지역에서 보관되고, 각 지역에 보관된 무기 자산은 임무, 종류, 목적에 따라 별도의 센서 태그에 의해 각각 식별 코드가 부여된다. 사용자는 무기 자산 건전성 모니터링 시스템을 이용하여 근거리 무선 통신으로 각각의 무기 자산을 탐색하고, 센서태그로부터 센싱 데이터(온도, 습도, 충격)를 전송받는다. 또한 군 요원은 근거리 무선 통신이 가능한 이동형 리더기를 통해 특정 무기 자산에 접근할 수 있으며 통신 및 전원 시설이 없는 지역에서도 이동형 리더기를 이용하여 데이터 수집이 가능하다. 무기 자산에 부착된 센서 태그로부터 전송받은 데이터를 이용하여 미리 설정된 임계치를 넘어 서는 경우 관리자에게 경고 메시지를 전달하며, 이후에 통제된 무선 근거리 통신망과 원거리 통신망을 통해 획득한 데이터를 중앙 데이터베이스로 전송, 고장진단분석 및 잔여수명 산정에 활용할 수 있게 하기 위해 저장된다. 수집된 데이터는 노화, 환경, 고장시점 및 정비 이력 등의 데이터들과 무기 자산의 시스템 모델을 근거로 한 특징 추출, 해석, 비교, 융합 과정을 거쳐 통계적 추론 방법으로 고장 진단 및 잔여수명 산정에 이용될 수 있다. 이러한 과정을 통해 예측된 고장 진단 및 잔여 수명에 따라 군 요원은 무기 자산에 대해 적절한 정비 시나리오 계획을 세우고, 문제 발생에 따른 초래 결과를 예측할 수 있으며, 지속적으로 이러한 과정에서 얻어진 정보를 통해 무기자산의 최적 정비 방안을 적절한 시점에 제시할 수 있다.

무기 자산 건전성 모니터링 시스템의 무선 네트워크 구성은 아래 그림 3과 같다. 센서태그, 게이트웨이, 이동형 리더기는 IEEE 802.15.4 기반의 무선 네트워크를 통해 자가망(PAN : Personal Area Network)을 형성하고 있으며, 게이트웨이와 서버 모니터링 시스템은 TCP/IP를 통해 연결되어 있어 근거리 통신망을 원거리 통신망으로 확장이 가능하여 무기 보관 장소와 모니터링 서버와 원격지 통신이 가능하다. 센서태그는 애드-혹(Ad-hoc), 메쉬 라우팅(Mesh Routing)을 지원하여 보관 장소의 환경에 따라 발생할 수 있는 무선 네트워크의 통신 장애를 극복할 수 있으며, 무기 보관의 재배치에 따른 센서태그의 이동에도 대처 할 수 있다.

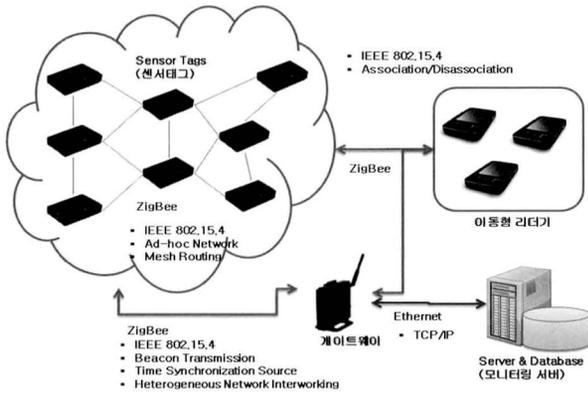


그림 3. 무기 자산 건전성 모니터링 네트워크 구성도
Fig. 3. Weapon Asset Health Monitoring Network

III. 시스템 운용 시나리오

운용 시나리오는 무기 자산이 보관, 적재, 취급 이동의 상황에 따라 다음 몇 가지로 요약할 수 있으며 그림 4와 같이 시나리오의 기능에 따라 모니터링 서버를 구현 하였다.

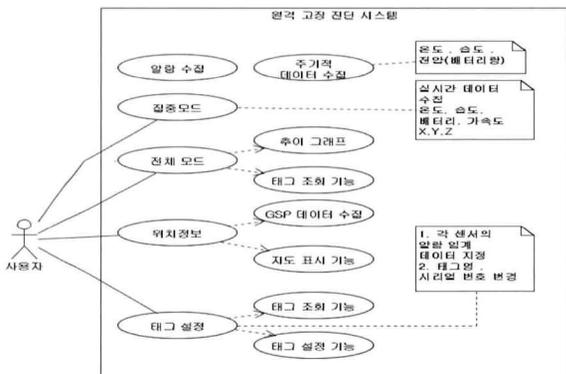


그림 4. 서버 모니터링 시스템 기능
Fig. 4. Server Monitoring System Function

3.1. 보관 운용 시나리오

무기 자산 건전성 모니터링 시스템은 그림 5와 같이 무기 자산에 부착된 센서 태그에서 주기적으로 데이터를 획득하여 게이트웨이를 통해 서버로 전송한다. 그림 6과 같이 서버 모니터링 시스템은 센서 태그로부터 전송받은 데이터를 가공하여 데이터베이스에 저장한다. 사용자는 서버 모니터링 시스템에서 제공하는 사용자 응용 프로그램을 이용하여 데이터베이스에 접속하여 수집된 데이터 이력을 조회할 수 있으며, 이를 통해 무기 자산의 상태를 파악하여 고장 진단 및 수명 주기를 예측할 수 있다.

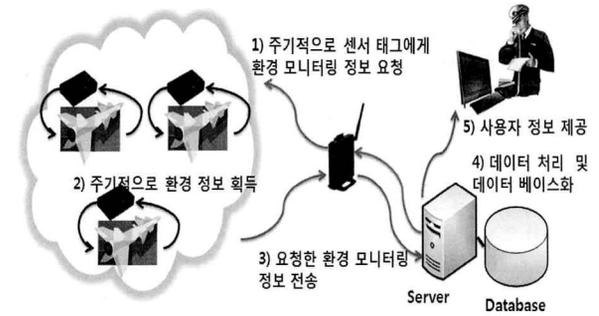


그림 5. 보관 운용 시나리오 (주기적 데이터 전송 시나리오)

Fig. 5. Storage Operation Scenario (Periodical Data Transmission Scenario)

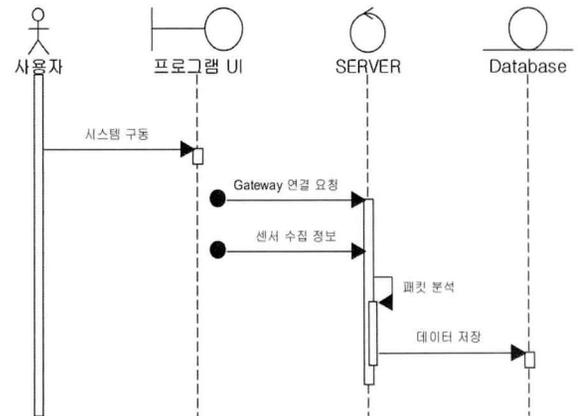


그림 6. 서버 모니터링 시스템 기능 - 보관 운용 시퀀스 다이어그램

Fig. 6. Server Monitoring System Function - Storage Operation Sequence Diagram

3.2. 야전 운용 시나리오

무기 자산 건전성 모니터링 시스템은 야전과 같은 상황에서 무선 네트워크 인프라를 구축할 수 없는 환경을 고려해야 한다. 야전에서는 서버 모니터링 시스템과의 통신망을 구축할 수 없지만 그림 7과 같이 무기자산에 부착된 센서 태그는 무선 네트워크가 구성되지 못한 상황을 판단하게 되면 임계

치를 초과한 상황에서는 발생 시간 정보와 함께 센싱 데이터를 메모리에 저장한다. 사용자는 이동형 리더기를 통해 필요한 무기자산의 정보를 센서태그에게 요청하고, 사용자 요청에 따라 해당 센서 태그들은 주기적으로 센싱 정보를 전송한다. 센서 태그에서 이동형 리더기로 수집된 무기자산의 센싱 정보는 서버 모니터링 시스템에 업로드 하여 데이터베이스와 동기화를 한다.

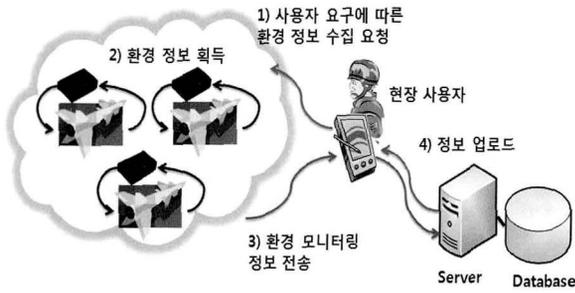


그림 7. 야전 운용 시나리오 (이동형 리더기 사용 시나리오)
Fig. 7. Field Operation Scenario (Mobile Reader Operation Scenario)

3.3. 경고 메시지 전송 시나리오

그림 8과 같이 무기 자산 건전성 모니터링 시스템의 가장 큰 목적은 무기 자산의 수명 주기를 예측할 수 있어야 한다. 따라서 무기 자산의 취급, 이동 중에 무기 자산에 부착된 센서태그는 획득한 데이터가 설정된 임계치를 넘어서는 경우, 해당 경고를 서버 또는 이동형 리더기로 실시간 전송해야 한다. 만약 전송이 원활하지 못할 경우, 그 이력을 시간 정보와 함께 메모리에 저장하고 있어야 한다. 센서태그는 메모리에 저장된 사건들을 이동형 리더기 또는 서버 시스템과의 통신이 이루어지면 저장된 응급 상황 정보를 모니터링 서버로 전송하여 사용자가 경고 발생 시간과 센싱 데이터를 분석하여 고장 및 진단에 이용할 수 있게 해야 한다.

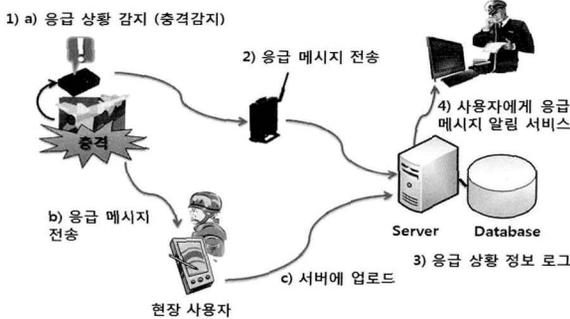


그림 8. 경고 메시지 전송 시나리오
Fig. 8. Warning Message Transmission Scenario

3.4. 센서태그 환경 설정 변경 시나리오

무기 자산 건전성 모니터링 시스템은 설치 장소 및 설치될 무기 자산에 따른 센서태그의 설정 값이 변경될 수 있다. 사용자는 그림 9, 그림 10과 같이 서버 모니터링 시스템 또는 이동형 리더기로부터 센서태그의 센싱 데이터의 임계치, 식별 인자, 네트워크 인자(무선 채널, 무선 파워 세기, 통신 주기)등을 변경 및 조회 할 수 있다.

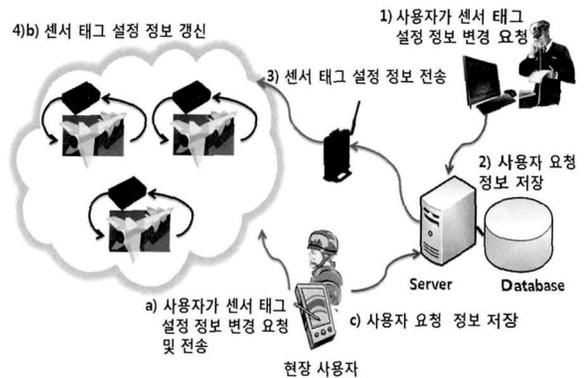


그림 9. 센서태그 환경 설정 변경 시나리오
Fig. 9. Sensor Tag Configuration Scenario

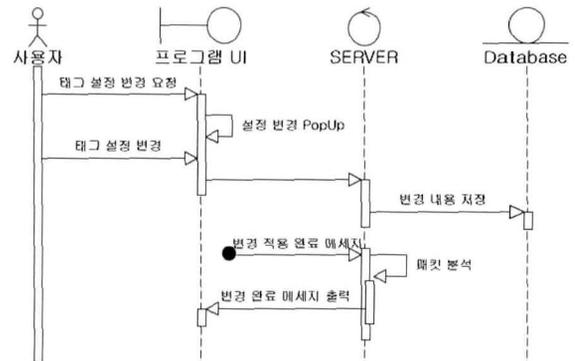


그림 10. 서버 모니터링 시스템 기능 - 센서태그 환경 설정 운용 시퀀스 다이어그램
Fig. 10. Server Monitoring System Function - Sensor Tag Configuration Sequence Diagram

3.5. GPS 정보 획득 시나리오

무기 자산 건전성 모니터링 시스템은 야전과 같은 환경에서 적재 및 보관된 무기 자산의 위치 정보를 파악할 수 있어야 한다. 사용자는 서버 모니터링 시스템으로부터 센서태그의 위치를 요청할 수 있어야 한다. 센서태그는 그림 11과 같이 사용자의 위치 정보 요청 명령에 의해 장착된 GPS 모듈을 동작시켜 위도, 경도, 고도 정보를 전력 소모를 줄이기 위해 일정 시간 동안만 획득하여 서버 모니터링 시스템으로 보낸다. 그림 12와 같이 서버 모니

적합하도록 설계하였고, IEEE 802.15.4의 송수신 프리미티브를 사용했으며, 메쉬 토폴로지를 구현하여 이동성을 보장할 수 있게 설계하였다.

그리고 메시지 전송을 위해 소스 라우팅 방식을 채택하였으며, 소스 라우팅 방식은 소스 노드가 데이터 패킷을 모든 다른 이웃 노드들에게 전송하는 것으로 데이터 전송은 도착지 노드까지 이루어진 후 각 노드들은 데이터를 저장하고, 사본을 이웃 노드에게 전달한다. 소스 라우팅 방식은 구현하기 용이하지만 이웃한 데이터가 같은 노드에게 전달되거나 두 노드가 같은 곳의 정보를 얻어 이웃 노드는 중복 데이터를 받게 되는 현상을 초래하고 전력 소모를 고려하지 않기 때문에 저 전력 네트워크를 구성할 수 없다는 문제가 있다.^[10-11] 이런 문제점을 고려할 수도 있도록 프로토콜을 설계하였다.

게이트웨이와 이동형 리더기 및 센서태그가 네트워크에 참여하는 기본 요소는 비컨(Beacon) 메시지를 기반으로 운영된다. 비컨 메시지는 네트워크 구조의 시간 동기화, 라우팅 경로형성, 사용자 요청 메시지가 포함되어 되어 있다. 센서태그들은 게이트웨이와 이동형 리더기의 비컨 메시지 수신 여부와 응용 동작에 따라 그림 15와 같이 논-비컨 모드, 비컨 모드, 리더기 접속 모드, 실시간 모니터링 모드로 나누어 동작하게 하였다. 이러한 동작 모드와 센서 네트워크에 참여하는 최대 지원 센서 노드의 수를 고려하여 무기 자산 모니터링에 적합한 센서 네트워크 라우팅 서비스 프로토콜을 설계하였다.

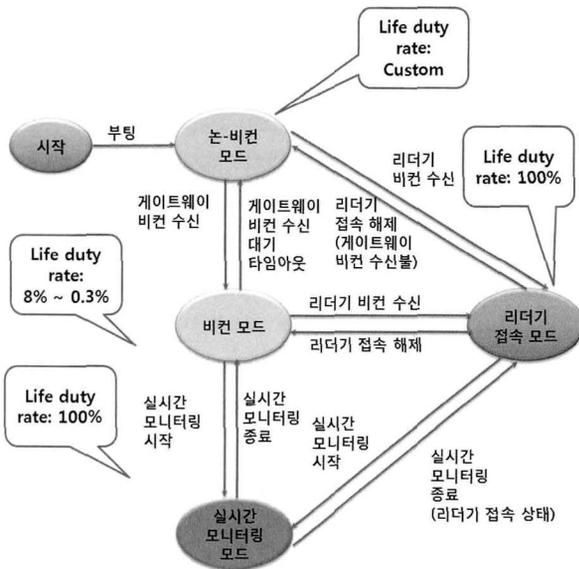


그림 15. 센서태그 동작 상태 전환
Fig. 15. Sensor Tag Operation State Diagram

무기 자산 전전성 모니터링 네트워크 라우팅 경로는 게이트웨이 비컨 또는 이동형 리더기 비컨 메시지를 이용한 소스 라우팅(Source Routing)방식을 채택한다. 이를 위해 비컨 메시지는 {패킷 식별 번호(PCK SEQ), 비컨 식별 번호(BEACON SEQ), 최초 송신자 주소(ORIGIN SRC), 현재 송신자 주소(SRC), 홉 수(HOP CNT), 수신 신호 세기(RSSI), ...}등의 정보를 포함한다. 이러한 비컨 메시지에 포함된 정보를 이용하여 최초 메시지가 발생된 게이트웨이 또는 이동형 리더기의 주소와 이를 재전송한 역 경로를 추적하여 경로 정보를 생성한다. 다음 그림 16는 경로 정보 생성을 도식화 한 것이다.

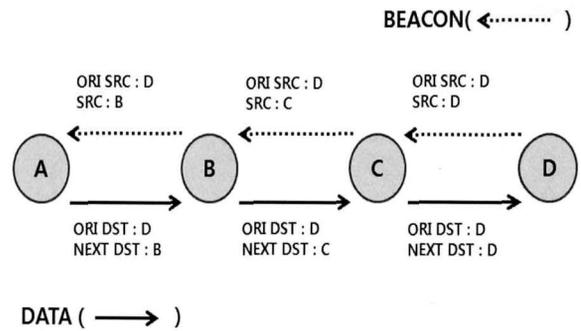


그림 16. 경로 정보 생성 방법
Fig. 16. Discovery Routing Path Algorithm

위의 그림에서 D 노드는 비컨 메시지 발생자로서 게이트웨이 또는 이동형 리더기가 이에 해당된다. D 노드에서 발생한 비컨 메시지는 C, B, A로 전달되는데 이때 각 노드는 최초 송신자 주소(ORI SRC) 정보를 통해 최초로 비컨이 발생된 D 노드의 정보를 최종 목적지 주소(ORI DST) 저장하고, 이 비컨 메시지를 마지막으로 전송한 노드의 정보를 다음 목적지 주소(NEXT DST)로 저장한다. 이후 A ~ C → D 로 전송 할 때는 항상 다음 목적지 주소(NEXT DST) 주소만 이용하여 전송하게 네트워크 라우팅을 설계하였다.

게이트웨이는 주기적으로 비컨 메시지를 전송한다. 주기적 비컨 메시지에 의해 네트워크 토폴로지(network topology)가 변경되어도 Table-Driven 방식으로 새로운 경로를 찾아 연결성을 유지하게 된다. 그래서 센서 태그가 이동되었을 경우에도 통신을 가능하게 한다. 또한 주기적인 게이트웨이 비컨 메시지는 센서 태그의 동작 시간을 동기화 시키고 슈퍼프레임 형성의 기준이 된다. 센서 태그의 동작 시간 동기화를 통해 시간을 기반으로 네트워크 운영을 할 수 있게 하여 Sleep/Wake-up 동작으로 저

전력 네트워크 운영이 가능하다. 반면에 이동형 리더기는 비컨 메시지를 사용자 요청에 있을 때만 전송한다. 이동형 리더기가 센서 네트워크에 접속되면 항상 센서 태그가 깨어 있기 때문에 필요시에만 비컨 메시지를 브로드캐스팅 하여 On-demand 방식으로 경로를 형성한다. 즉 네트워크 경로형성은 게이트웨이와 이동형 리더기 기준으로 별도로 경로를 형성하며, 비컨 메시지에 따라 주기적 또는 비주기적 요청에 따라 항상 새로운 경로를 형성할 수 있게 설계하였다. 따라서 토폴로지가 변경 되더라도 신뢰성 있는 통신 링크 구성과 저전력 네트워크 운영을 할 수 있다.

IEEE 802.15.4는 다양한 응용분야에 따라 선택적으로 운영이 가능한 슈퍼프레임을 지원한다. 슈퍼프레임은 BI(Beacon Interval)을 기준으로 활성화(Active) 구간과 비활성화(Inactive) 구간으로 나누어진다. 활성화(Active) 구간인 SD(Superframe Duration)은 CAP(Contention Access Period)와 CFP(Contention Free Period)로 구성되고, CAP는 네트워크 디바이스가 CSMA/CA(Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance)기반의 경쟁을 하는 구간으로 대부분의 디바이스 간의 통신은 이 부분에서 일어나고, CFP에서는 경쟁 없이 다른 디바이스에 접근, 예약된 디바이스만 송신 가능하므로 대부분의 디바이스가 송신 없이 수신만 가능하도록 코디네이터에 의해 조정된다. 따라서 CFP 구간은 예약된 IEEE 802.15.4의 슈퍼프레임 구조에서는 네트워크 내 자산이 이동하여 경로가 재설정되거나 참여하는 노드 수가 증가할 경우, 낮은 홉 군에 해당하는 노드보다 높은 홉 군의 노드가 먼저 수신된 비컨을 브로드 캐스팅(Broadcasting) 하게 되면, 예상치 못한 라우팅 경로 형성으로 인해 트래픽이 증가하고 네트워크의 홉 구조가 깊어짐으로 불필요한 전력소모가 이루어질 가능성이 있다. 그림 17과 같이 3홉 군에 해당하는 특정노드가 2홉 군의 노드보다 빨리 T:3에 먼저 브로드 캐스팅하고 있다. 이로 인해 잘못된 경로형성이 이루어진다.

그림 17과 같은 불필요한 자원 낭비를 막고 네트워크의 안정적으로 구조화시키기 위해 그림 18과 같이 무기 자산 건전성 모니터링 시스템의 네트워크에서는 게이트웨이 중심의 네트워크가 형성될 때에는 잘못된 경로 형성을 막기 위해 낮은 홉 군(hop group)의 센서 노드에 브로드 캐스팅의 전송 권한을 우선적으로 부여하여 특정 홉 군에 대한 시간을 분할 할당이 이루어 질 수 있도록 설계하였다.

따라서 전달시간에 손해를 보더라도 최적 경로 및 트래픽 감소에 따른 비용적인 장점을 누리고 통신에 대한 신뢰성을 높일 수 있었다. 그림 18은 네트워크의 홉 군 시간 분할을 나타내고 있는 것으로 0-hop 그룹에 T:1~T:5, 1-hop 그룹에 T:6~T:10, 2-hop 그룹에 T:11~T:15, 3-hop 그룹에 T:16~T:20의 시간을 할당하여 브로드 캐스팅의 우선순위를 시간분할 방식으로 제어한다. 이로써 불필요한 경로 형성을 막고, 전체 네트워크를 효과적으로 구조화시킬 수 있다.

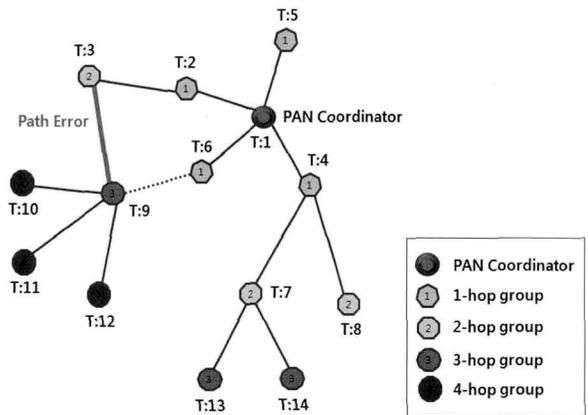


그림 17. 경로 에러 발생의 예
Fig. 17. Routing Path Error Example

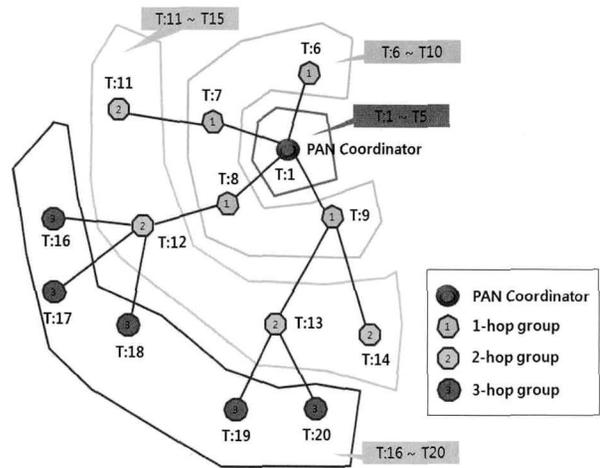


그림 18. 제안된 네트워크 경로 형성과정
Fig. 18. Proposed Routing Path Building

그림 19와 같이 브로드 캐스팅의 시간 분할 할당을 적용한 제안된 슈퍼프레임은 IEEE 802.15.4와 다르게 최대 4개 홉 섹션으로 이루어진다. FAP(Fixed Access Period)와 데이터 전송을 별도로 분리한 DTP(Data Transfer Period)로 나누어져 있다. FAP에서는 각 홉군 별로 속하는 센서 태그들이 라우팅 경로 재설정과 사용자요구 명령을 처리하고

데이터 전송을 분리시켜 DTP 구간으로 메시지 전송 구간을 위한 별도의 구간으로 분리하여 데이터 전송을 분리시켰다. 또한 DTP 구간은 긴급 메시지 이벤트 처리를 위한 EM data 구간과 긴급을 요구하지 않는 주기적인 데이터 처리를 위한 nTag Data 구간을 두고 있다. 홉 섹션의 수는 데이터 전송 거리에 따라 가변적으로 지정할 수 있으며, nTag Data의 개수(n)도 네트워크에 참여하는 센서 태그의 수에 따라 네트워크에 발생 가능한 트래픽을 고려하여 조정할 수 있다.

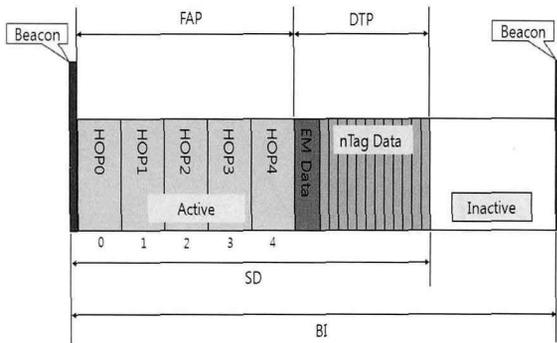


그림 19. 적용된 슈퍼프레임
Fig. 19. Proposed Superframe

V. 시스템 구성 요소

무기 자산 건전성 모니터링 시스템은 운용 시나리오들에 따라 운용되며 아래와 같이 센서태그, 게이트웨이, 이동형 리더기, 서버 모니터링 시스템으로 구성 된다.

5.1. 센서태그

그림 20은 무기 자산 건전성 모니터링 시스템의 센서태그이다. 표 1은 센서태그의 주요 사양이다. 개발된 센서태그는 무기 자산에 사용되기 때문에 기본적으로 극한의 환경에서 동작되어야 한다. 따라서 무기 자산이 경험할 수 있는 충격, 진동, 온도, 습도에도 동작할 수 있어야 한다. 그리고 주요 환경을 모니터링하고, 무기자산의 위치 정보를 제공한다. 센서 태그는 임베디드 운영체제(Embedded Operating System)를 이용하였으며 태스크 스케줄링은 표 2와 같이 우선순위에 따라 처리되도록 하였다. 충격량은 3축의 가속도 센서를 이용하여 특정 충격 이상이 감지되었을 때 충격량을 계산하여 서버 모니터링 시스템으로 전송한다. 중요 데이터인 충격량 데이터는 네트워크에 접속된 상황이 아니라

라도 충격 발생 시간과 함께 메모리에 저장하여 네트워크에 접속되면 서버로 전송한다.

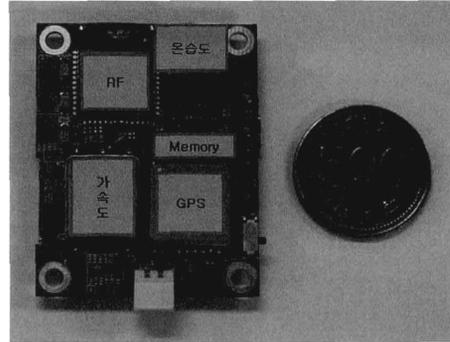


그림 20. 센서태그
Fig. 20. Sensor Tag

표 1. 센서태그 주요사양
Table 1. Sensor Tag Specification

구 분	사 양
동작온도	-40 ~ 80℃
센 서	온도, 습도, 가속도, GPS, Battery
상태표시	Tri-Color LED (경고, 고장, 정상)
동작모드	데이터 로거, 탐색, 진단, 설정
메 모 리	외장 메모리(SD), 내장 메모리
주 파 수	2.45GHz
통신거리	실내 30m 이상, 실외 150m 이상
통신변조	DSSS, O-QPSK
통신규약	IEEE802.15.4
전 원	3.5V (A Size×2)

표 2. 센서태그 태스크 우선 순위
Table 2. Sensor Tag Task Priority

우 선 순 위	내 용
Task 7 (HIGH)	경고처리(충격량)
Task 6	내부메모리 저장
Task 5	RF RX (명령 해석)
Task 4	RF TX (명령 응답)
Task 3	외부메모리 저장
Task 2	사용자 인터페이스
Task 1	GPS 정보 수집
Task 0 (LOW)	대기(Idle)

5.2. 게이트웨이

그림 21은 무기 자산 건전성 모니터링 시스템에 사용되는 게이트웨이의 외관이다. 그림 22와 같이 게이트웨이 소프트웨어 구조에 의해 이더넷 통신과 근거리 무선 통신(IEEE 802.15.4)을 연동하는 기능을 제공하고 있으며, 센서태그에서 수집된 환경 정보를 근거리 무선 통신으로 수신을 받아 이더넷 통

신으로 서버 모니터링 시스템에 전달해 주는 역할을 수행한다. 서버운용 프로그램과 게이트웨이는 TCP/IP를 통해 AT 명령어 형태로 통신이 이루어진다. 또한 게이트웨이는 센서태그의 저전력 운영을 위해 슬립(SLEEP) 및 웨이크업(WAKE-UP) 동작 주기 시간의 기준이 될 수 있는 비컨 메시지를 주기적으로 전송한다.

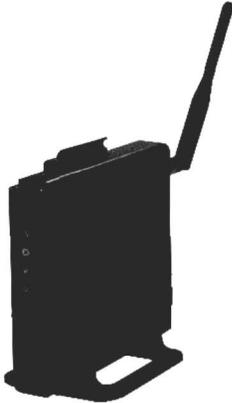


그림 21. 게이트웨이
Fig. 21. Gateway

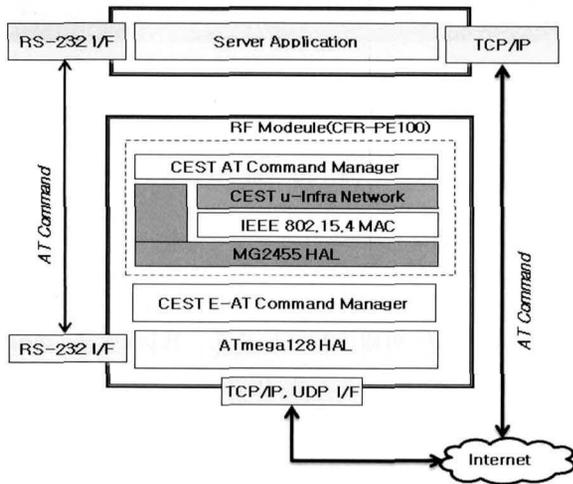


그림 22. 게이트웨이 소프트웨어 구조
Fig. 22. Gateway Software Architecture

5.3. 이동형 리더기

이동형 리더기는 야전과 같이 게이트웨이가 설치되어 있지 않은 공간에서도 센서태그와 통신을 하여 센싱 정보를 획득할 수 있으며, 센서태그의 환경 설정 값을 변경할 수 있다. 이동형 리더기의 하드웨어는 그림 23과 같이 MB7000 산업용 단말기를 사용하였다. 그림 24와 같이 근거리 무선 통신(IEEE 802.15.4) CFR-MB700 모듈을 내부에 탑재하여 센서태그와 IEEE 802.15.4 기반 근거리 무선 통신이

가능하게 개발하였으며, Windows CE 5.0 기반의 응용 프로그램을 탑재하였다.

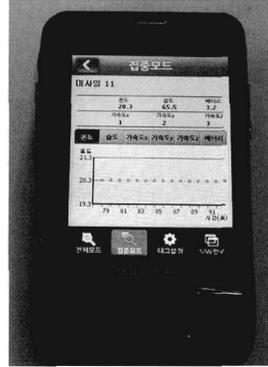


그림 23. 이동형 리더기
Fig. 23. Mobile Reader

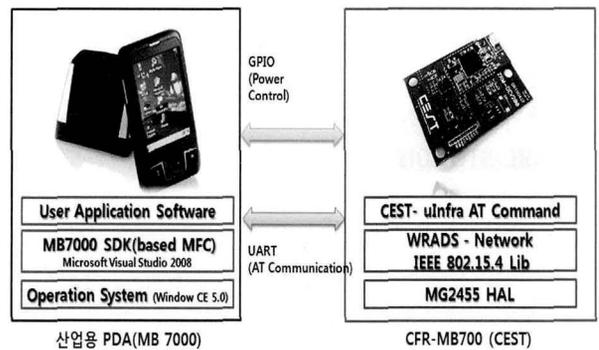


그림 24. 이동형 리더기 시스템 구조
Fig. 24. Mobile Reader System Architecture

5.4. 모니터링 서버

그림 25와 같이 모니터링 서버 시스템은 DBMS와 모니터링 응용 프로그램으로 구현되어 있으며, 게이트웨이를 통해서 센서태그에서 수집된 무기 자산의 환경 정보를 저장하고 그림 26과 같이 사용자 요구에 따라 다양한 뷰어를 제공하여 시스템을 모니터링 할 수 있게 한다. 사용된 데이터베이스는 MySql 5.2.13을 이용하였다.

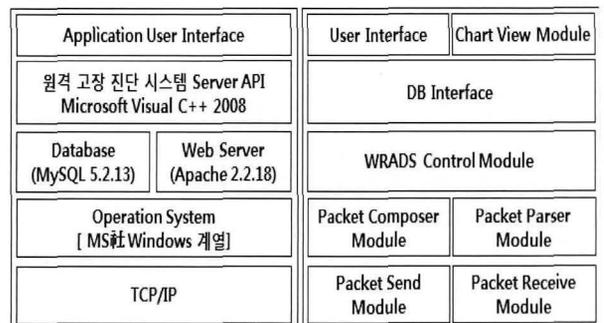


그림 25. 서버 시스템 블록 다이어그램 및 프로그램 내부 블록 다이어그램
Fig. 25. Server System Block Diagram and Program Block Diagram

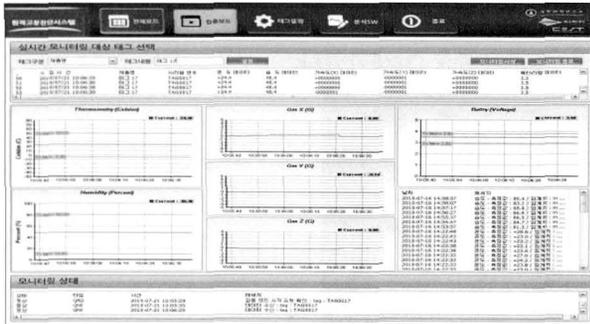


그림 26. 모니터링 응용 프로그램
Fig. 26. Monitoring Application Program

VI. 환경 시험

개발된 무기 자산 건전성 모니터링 시스템의 센서태그는 군수 자산에 직접 설치되기 때문에 극한의 환경에서도 사용이 가능해야 한다. 따라서 개발된 센서태그는 MIL 규격에 적합한지 실험을 하였다. MIL-STD-801F중에서 그림 27과 같이 온도시험(MIL-STD-810F METHOD 502.4) 및 습도시험(MIL-STD-810F METHOD 507.4), 그림 28과 같이 진동시험(MIL-STD-810F METHOD 516.5), 충격시험(MIL-STD-810F METHOD 516.5), 그림 29와 같이 EMC시험(MIL-STD-461E RE101, RE102, RS101, RS103)을 통해 환경 및 신뢰성에 대한 시험을 하였다.

시험을 통해 본 시스템이 제안된 시나리오에 따른 동작을 제대로 하는지와 가혹한 환경 아래에서 제대로 동작하는지를 판정하였다. 각각의 환경에 따른 센싱(온도, 습도, 충격량, GPS)값을 읽어 서버 모니터 프로그램으로 전송하여 실제 환경 값과의 비교를 통해 동작성을 판정하였다. 그리고 추후 진행될 필드 테스트를 통하여 실제 야전 환경에서의 동작성 및 신뢰성에 대한 시험을 진행할 예정이며 필드 테스트 결과 데이터를 분석하여 센서 보정 작업, 무선 네트워크의 효율성 검증에 관한 연구를 진행할 예정이다.

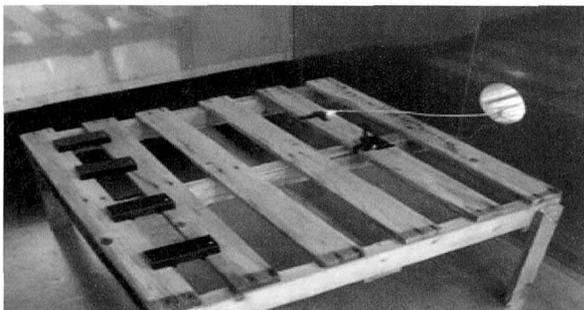


그림 27. 온도 및 습도 시험
Fig 27. Temperature and Humidity Test

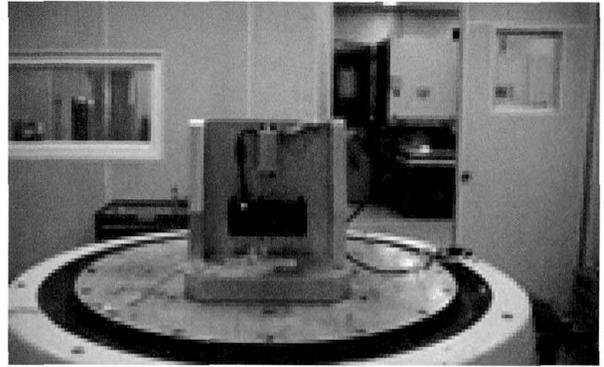


그림 28. 진동 및 충격 시험
Fig. 28. Vibration and Impact Test

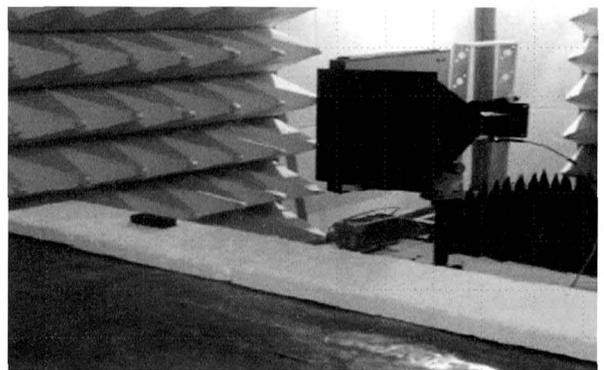


그림 29. EMC 시험
Fig. 29. EMC Test

VII. 결 론

본 논문에서는 무선 센서 네트워크 기술을 이용한 무기 자산 모니터링 시스템을 제안하였다. 그리고 본 시스템을 위해 시스템 운용 시나리오를 제안하였으며 운용 시나리오에 따른 네트워크 라우팅 방법을 제안하였다. 따라서 본 시스템은 제안된 무선 네트워크 라우팅 방식을 이용함으로써 궁극적으로 무기자산에 대한 정보를 원거리의 사용자에게 제공하여 불필요하게 발생하는 비용을 감소시켜줄 뿐만 아니라, 무선네트워크를 효율적으로 이용할 수 있게 해준다. 그리고 개발된 센서태그는 온도, 습도, 충격, 위치정보를 제공하고 있어 향후 응용분야 및 목적에 따라 기능을 추가 및 삭제하여 다양한 무기 자산에 활용 할 수 있다. 그리고 이를 통해 얻어진 데이터베이스는 특정 고장 식별 엔진의 근거로 활용될 수 있다. 또한 무기체계의 잔여수명 추정 과정을 거쳐 무기자산의 최적 유지 방안을 결정할 수 있으며, 무기 성능 개선 프로그램에 활용될 수 있다.

참 고 문 헌

[1] B. J. Burghard, K. L. Silvers, and J. R. Skorpiak, "Active Sensor tag for global visibility of asset readiness", *Proc. SPIE 5778*, pp. 914-925, 2005.

[2] 유창석, 하성기, 안태식, 윤경호, 이승일, 이진영, 이관호, 김용관, "센서 네트워크 기반의 무기자산 건전성 모니터링 시스템에 관한 연구", *한국군사과학기술학회 종합학술대회*, pp. 298, 2010

[3] 이승일, 윤경호, 이진영, 유창석, 하성기, 김성률, 서대화, "무선 센서 네트워크 기반의 무기 자산관리 시스템", *대한임베디드공학회 추계학술대회*, pp. 88-101, 2011

[4] M. Pecht, "Prognostics and Health Management of Electronics", *New York:Wiley-Interscience*, May 2008.

[5] N. Vichare, and M. Pecht, "Prognostics and health management of electronics", *IEEE Trans. Compon. Packag. Technol.* vol. 29, pp. 222-229, 2006.

[6] Readness & Sustainment Program, SNL, <http://reliability.sandia.gov>

[7] IEEE Std 802.15.4 "Part 15.4:Wireless Medium Access Control(MAC) and Physical Layer(PHY) Specifications for Low-Rate Wireless Personal Area Networks (WPANs)", *IEEE Standard for Information Technology*, 2006.

[8] R. Bruno, and M. Conti, "Mesh Networks: Commodity Multihop Ad Hoc Networks", *IEEE Communication Magazine*, pp.123-131, March 2005.

[9] I. F. Akyildiz and X. Wang, "A survey on wireless mesh networks", *IEEE Communication Magazine*, 43(9):pp 23-30, September 2005.

[10] C.E. Perkins and E.M. Royer, "Ad-Hoc On-Demand Distance Vector Routing," *Proc. 2nd IEEE Workshop on Mobile Computing Systems and Applications*, Feb., 1999.

[11] D.B. Johnson and D.A. Maltz, "Dynamic Source Routing in Ad Hoc Wireless Networks", *Mobile Computing, Kluwer Academic Publishers*, Vol.353 pp. 153-181. 1991.

윤 경 호 (Kyung-Hyo Yoon)

정회원



2002년 2월 경북대학교 전자공학과 졸업
2004년 2월 경북대학교 전자공학과 석사
2004년~2006년 LG전자
2006년 4월~현재 경북대학교 임베디드S/W연구센터(CEST)
<관심분야> 임베디드시스템, 센서네트워크, RTOS

이 승 일 (Seung-il Lee)

정회원



2005년 2월 대구대학교 전산공학과 졸업
2007년 2월 대구대학교 컴퓨터통신공학과 석사
2007년 3월~현재 경북대학교 임베디드S/W연구센터(CEST)
<관심분야> 무선네트워크, 임베디드S/W, 자동제어

이 진 영 (Jin-Young Kim)

정회원



2009년 2월 대구대학교 전자계어공학과 졸업
2009년 3월~현재 경북대학교 임베디드S/W연구센터(CEST)
<관심분야> 임베디드시스템, 자동제어

하 성 기 (Sung-Gi Ha)

정회원



1995년 2월 경상대학교 전자공학 학과 졸업
1995년 3월~현재 (주)퍼스텍
<관심분야> 전자공학, 우주항공, 시스템공학