

공장자동화시스템에서 데이터 송수신의 무선화를 위한 IEEE 802.15.4에 관한 연구

A Study on IEEE 802.15.4 for wireless Communication of Data in the Factory Automation System

이혜림*, 문일영*

Hye-Rim Lee*, Il-Young Moon*

요 약

현재 공장의 생산 시스템의 서버와 클라이언트의 데이터 송수신은 대부분 유선 통신망을 이용한 자동화 시스템으로 이루어져있다. 유선 통신망을 이용한 시스템인 생산 설비 기기 및 검사 장비는 교체시 많은 시간적, 경제적 비용이 발생하는 단점이 있다. 따라서 공정 과정에서 상이한 장비의 관리 및 제어를 위한 유지, 보수비용이 발생하고 있으며, 장비의 노후 및 신기술이 적용된 장비로의 교체 시 이 기종 간의 통신망 혼재로 생산 라인의 일시적 중단 및 추가적인 비용이 발생하고 있다. 이러한 문제들은 산업용 장비들 간의 무선 통신을 통하여 해결 할 수 있다. 이에 본 연구에서는 무선 네트워크 환경에서 저비용의 신뢰성 있는 통신 방식인 IEEE 802.15.4 기술을 적용하여 공간적 복잡도를 해결하고, 서로 다른 장비간의 유선 통신망을 무선으로 전환하였을 때, 얼마나 좋은 성능을 나타내는지 분석하였다.

Abstract

Now, the production process systems are largely based on automatic system using the wired network. The production process systems using wired network has disadvantage that it is expensive when the installed and replaced equipment. The each equipment happens to repair cost for control and management in production processes. And the replaced equipment has also the additional expense and breaks production process. These problems are solved through wireless communication between the industrial equipments. So, we propose wireless production process system based on IEEE 802.15.4 technology. It solves a complicated space and stops by replaced equipment in the factory. Then we simulated and analyzed IEEE 802.15.4 for Industrial Equipment based on Wireless Network.

Key words : Factory Automation System, ZigBee, IEEE802.15.4, Wireless Network Communication

I. 서 론

무선 자동화 시스템은 공장의 생산 시스템의 디바이스 레벨에서 사용되는 적절한 무선 제어 및 관리

시스템을 말한다[1]-[3]. 현재 국내외 주요 생산 현장에서 자동화 시스템이 구축되어 활발히 응용되고 있지만, 서버 클라이언트의 데이터 송수신은 대부분 유선 통신망을 이용한 시스템으로 생산 설비 기기 및

* 한국기술교육대학교 정보미디어공학과(Information Media Eng., Korea University of Technology and Education)

· 제1저자 (First Author) : 이혜림

· 투고일자 : 2009년 3월 31일

· 심사(수정)일자 : 2009년 4월 1일 (수정일자 : 2009년 4월 23일)

· 게재일자 : 2009년 4월 30일

검사 장비의 교체 시 많은 시간적, 경제적 비용이 발생하는 단점이 있다. 이를 위해 IEEE 802.15.4 표준 기술을 적용하여 공장자동화시스템에서 데이터 송수신의 무선화를 위한 성능 분석을 하였다[4]. 현재, 산업 현장에서 이용되는 산업용 장비는 각 공정 별로 다양한 업체에서 개발하고 있으며, 각 업체별로 상이한 통신방식을 이용하여 생산 공정에 투입되고 있는 실정이다. 따라서 기존의 생산 라인에서는 상이한 검사장비의 관리 및 제어를 위한 유지, 보수비용이 발생하고 있으며, 장비의 노후 및 신기술이 적용된 장비로의 교체 시 이 기종 간의 통신망 혼재로 생산 라인의 일시적 중단 및 추가적인 비용이 발생하고 있다. 이에 본 연구에서는 무선 네트워크 환경에서 저비용의 신뢰성 있는 통신 방식인 IEEE 802.15.4 기술을 적용하여 공간적 복잡도를 해소하고, 서로 다른 장비간의 유선 통신망을 무선으로 전환하였을 때의 성능을 분석하였다.

본 논문에서는 IEEE 802.15.4 기술을 이용하여 산업용 장비를 무선화 할 때의 성능 분석을 위해 다음과 같이 구성하였다. 먼저, II장에서 기존의 유선 통신망을 이용하는 산업용 장비의 문제점과 이를 해결하는 무선 통신을 이용한 산업용 장비의 필요성에 대해 살펴보고, III장에서는 기존의 무선 통신 기술에 대해 설명하며, IV장에서 IEEE 802.15.4를 이용하여 산업용 장비간의 연결을 무선 통신으로 하였을 때의 성능을 분석하였다.

II. 산업용 장비 무선화의 필요성

2-1 유선 자동화 시스템의 문제점

현재 공장의 생산 시스템은 대부분 유선 통신망을 이용한 자동화 시스템으로 이루어져있다. 이러한 유선 통신망을 통하여 각 장비에서 얻어지는 정보를 서버로 보내게 된다. 아래 그림 1은 기존의 유선 자동화 시스템을 그림으로 나타낸 것이다. 보통 여러 개의 장비들을 한 서버에서 유선 통신망으로 통해 모니터링 하거나 장비에서 보내지는 데이터들을 관리한다. 하지만 대부분의 공장 시스템에서는 생산 공정

단위로 여러 제조사들이 만든 산업용 장비를 사용한다. 또한 이러한 장비들은 제조사마다 각기 다른 운영방식을 사용하고 있다. 만약 새로운 장비가 추가되면, 기존의 네트워크에 접속하기 위해서 이 기종 간의 링크 프로토콜 과정이 요구되는 문제점이 있고, 유선 네트워크 환경에서 기존 장비의 공정 별 이동에 따른 네트워크 환경을 재구성 또는 재 설비 해야 하므로 비용의 증가 및 수정에 따른 유지비가 증가한다. 또한 통신라인이 물리적으로 존재하므로 노후화 및 관리상의 부재로 통신 라인이 훼손 되었을 때, 교체를 위한 생산 공정의 일시 중단이 필요 하게 된다. 이러한 문제점들은 실제 산업 현장의 공정과정에서 악영향을 끼치는 요인들이 된다.

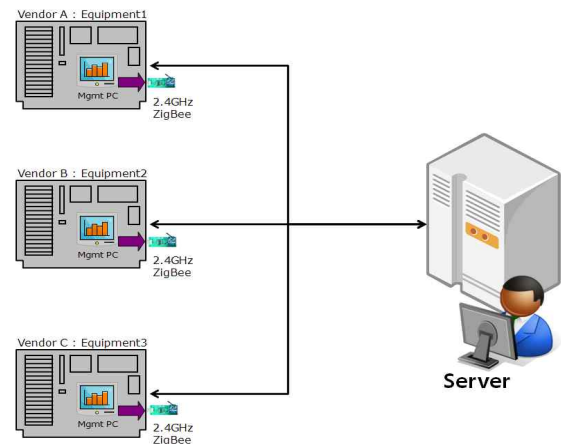


그림 1. 기존의 유선 자동화 시스템.

Fig. 1. Original Wired Factory Automation.

2-2 무선 자동화 시스템의 중요성

앞서 말한 유선 자동화 시스템의 여러 가지 문제점들은 산업용 장비의 무선화를 통해 해결 할 수 있다[5]. 산업용 장비와 서버시스템 사이에 무선으로 데이터를 전송한다면, 제품의 생산비 감축 및 생산 소요 시간을 단축하고 인력 절감을 할 수 있다. 또한 장소, 행동 및 이동성에 제약을 받지 않고 제어 및 관리 장치가 연결될 수 있어서 새로운 장비를 추가 할 때에도 네트워크를 재 설비, 재구성 할 필요가 없으므로 비용의 증가 및 수정에 따른 유지비가 불필요하다. 특히, 물리적인 선의 연결 작업이 불필요하고, 연결선으로 인한 공간문제를 해결 할 수 있다는 것이 강점이다.

아래 그림 2은 IEEE 802.15.4를 이용한 무선 자동화 시스템을 나타낸 그림이다. 장비마다 ZigBee R/F 모듈이 달려있어서 장비(클라이언트)의 송신할 데이터를 서버까지 무선으로 전송한다. IV장에서는 이러한 산업용 장비간의 무선 통신을 위해 IEEE 802.15.4를 이용하여 성능을 비교해 보았다.

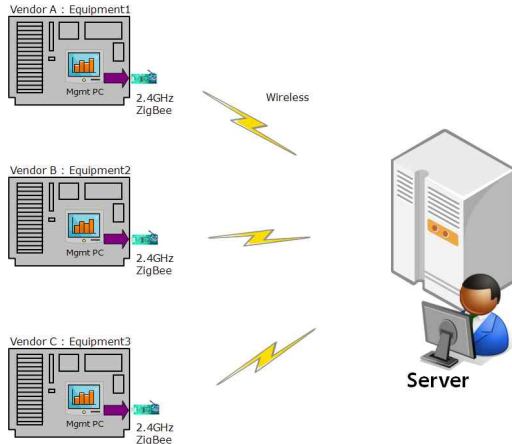


그림 2. IEEE 802.15.4를 이용한 무선 자동화 시스템
Fig. 2. Factory Automation System using IEEE 802.15.4

표 1은 유선 자동화 시스템과 무선 자동화 시스템을 항목별로 분류하여 비교하였다. 무선 자동화 시스템은 무선환경이라는 특성상 유선 자동화 시스템보다 보안성이 낮다. 하지만 무선 환경을 개발 할 때, 암호 키나 인증 등을 사용하여 보안을 강화할 수 있다.

표 1. 유선 자동화 시스템과 무선 자동화 시스템의 비교
Table 1. Compare wired with wireless factory automation system

	유선 자동화 시스템	무선 자동화 시스템
공간제약	높음	낮음
이동성	낮음	높음
유지비	높음	낮음
보안성	높음	낮음
네트워크 호환성	낮음	높음

현재 무선 통신망을 이용한 산업용 자동화 시스템은 세계적인 추세이며 국내의 경우 아직 표준 기술은 제안되지 않았고 학계에서 다양한 시도만 이루어지

고 있는 실정이다. 이에 따라 무선 기술의 발전으로 인한 산업용 무선 자동화 기술의 필요성이 대두되고 있으며, 실제 Rockwell, 지멘스, ABB 등의 다국적 기업과 해외의 산업용 무선통신 기술 개발업체들이 경쟁적으로 개발 중에 있다.

III. 산업용 장비의 무선 통신 기술

3-1 무선 통신 기술의 비교

산업용 장비의 무선화를 위한 무선 통신 기술은 IEEE 802.11, IEEE 802.15.4 그리고 블루투스과 같은 표준이 존재한다. 다음은 공장 자동화 시스템에 쓰일 수 있는 무선 통신 기술들이다.

(1) IEEE 802.11 a/b/g

IEEE 802.11은 유선 이더넷 네트워크의 무선 부분에 해당하는 것으로 현재 무선 LAN(WLAN)의 표준이다. 사용 주파수 대역은 IEEE 802.11b 와 g는 2.4GHz ISM 대역을 사용하고, 802.11a는 5GHz ISM 대역을 사용한다. 802.11g와 802.11a는 최대54Mbps까지 전송이 가능한 점이 특징이다. 802.11b 와 g는 산업용 환경에서 유무선 하이브리드 형태를 사용하기 위해 가장 많은 연구가 진행 중이다.

(2) IEEE 802.15.4

IEEE 802.15.4는 무선센서와 제어장치를 위한 특수한 요구사항을 충족하기 위한 저비용, 저전력 무선 통신을 구현하기 위한 기술이다. 사용 주파수 대역은 2.4GHz~5.3GHz 대역을 사용한다. 블루투스나 무선 LAN과 대조적으로, IEEE 802.15.4의 네트워크에 소속된 디바이스들은 빈번한 통신을 목적으로 하지 않으면서, 적은 양의 데이터를 비교적 긴 시간을 두고 전송한다는 특징이 있다. 또한 IEEE 802.15.4는 낮은 전력 레벨을 사용하면서, 패킷 심볼 전송 비율을 매우(최대62.5Ksymbols/s) 낮추어, 산업 공장에서 발생할 수 있는 지연시간에 대처할 수 있도록 되어 있다. 이러한 IEEE 802.15.4를 이용한 기술로는 ZigBee Alliance에서 제정한 ZigBee가 있으며[6], ZigBee 기술

의 최대 장점은 수십 개 이상의 노드를 단일 네트워크로 구성하여 편리한 제어 시스템을 구축할 수 있는데 있다. 단일 네트워크에는 최대 65,000 개 이상의 노드 수용을 지원하고 있으며, 실제 현장에서는 수백 개 이상의 네트워크 노드를 신뢰성 있게 제어할 수 있다[7].

(3) 블루투스

블루투스는 휴대용, 배터리 기반의 전자기기들 간의 연결을 위한 케이블을 무선화하는 무선 인터페이스이다[8]. 또한, 블루투스는 저비용, 저전력의 특징을 가진다. 이러한 블루투스는 2.4GHz인 ISM(Industrial, Scientific and Medical) 주파수 대역을 사용하고 있으며, 이 대역은 대부분의 나라에서 사용이 가능한 비허가 주파수대역이다. 현재 블루투스는 여러 산업 공정에 사용되고 있으며 그 예로 주요 배송회사들이 패키지 분류센터 및 보관 센터 등에 패키지 추적 데이터를 전송하는 용도로 블루투스를 사용하고 있다. 블루투스는 또한 어떤 상태를 감시하는 센서 장비들 사이의 통신에 사용되기도 하고 상업용 차량에 설치되어 운전자간의 통신, 핸드프리 콜링(hands free calling), 데이터 캡처(data capture) 등을 위해서도 사용된다.

IV. 시뮬레이션 모델 및 결과

4-1 시뮬레이션 모델

본 논문에서는 퀄넷(QualNet) 시뮬레이터 4.5 버전을 이용하여 성능을 분석 하였다[9]. 퀄넷은 가상 네트워크 기반에서 다양한 프로토콜 설계, 분석, 검증과 네트워크 어플리케이션 등을 실제로 구축하기 전에 가상의 공간에 구축하여 문제점을 분석하고 예측할 수 있는 시뮬레이터이다. 그림 3은 퀄넷을 이용하여 실행한 화면을 캡처한 것이다. 노드의 개수는 19 개이고 맨 상단에 있는 서버노드로 화살표 방향에 따라 싱크노드들이 데이터를 보내주고 있는 상황이다.

시뮬레이션 모델은 그림 4와 같으며, 각 장비들의 데이터를 가진 다수의 센서노드가 IEEE 802.15.4를 이용하여 서버 시스템 역할을 하는 하나의 싱크노드

로 데이터를 전달한다. AODV(Ad-hoc On demand Distance Vector) 라우팅 프로토콜을 이용하기 때문에 거리가 멀어 서버까지 데이터 전달이 어려울 경우는 멀티 홉 통신을 한다.

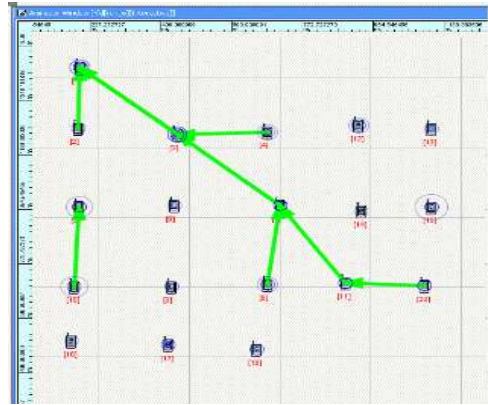


그림 3. 퀄넷에서의 시뮬레이션 실행화면
Fig. 3. Running Simulation Screen in the QualNet

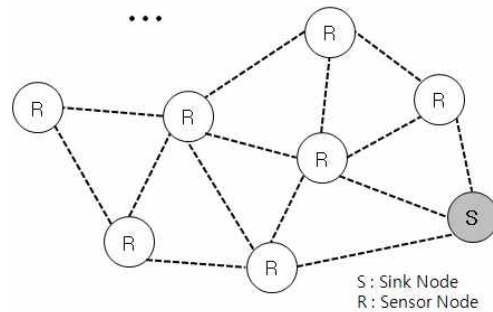


그림 4. 시뮬레이션 모델
Fig. 4. Simulation Model

센서노드의 디바이스 종류는 FFD(Full Function Device)이며 라우터 기능을 하도록 설정하였고, 싱크노드는 FFD의 기능을 가지며 네트워크 Tree의 루트 역할을 하는 PAN Coordinator(Personal Area Network Coordinator)로 설정하였다. 패킷의 사이즈는 64byte이며, 어플리케이션 데이터 타입은 CBR(Constant Bit Rate)로 하였다. 시뮬레이션 running time은 120초이다.

4-2 시뮬레이션 결과

본 절에서는 IEEE 802.15.4를 이용하여 산업용 장비간의 무선 통신을 할 때 데이터 전송 속도 등의 성능을 비교해 본다.

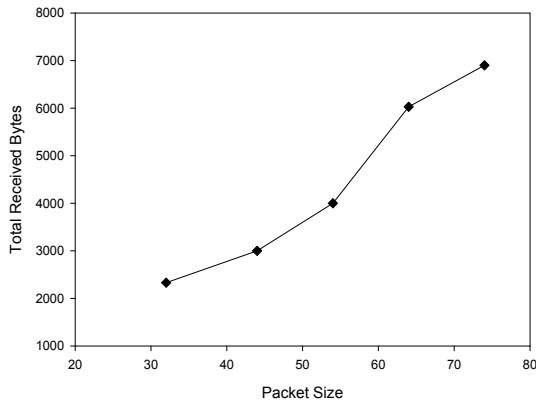


그림 5. 패킷 사이즈에 따른 수신된 총 데이터
Fig. 5. Total receive data by packet size

그림 5와 6은 패킷 사이즈에 따라 싱크노드에서 전송 받은 총 데이터 량과 초당 수신된 데이터 비트 수를 나타낸 것이다. 패킷 사이즈는 32byte, 44byte, 54byte, 64byte, 74byte로 구분하였다. 또한 노드가 19개일 때를 기준으로 패킷 사이즈를 조절하여 총 수신 데이터 량을 분석하였다. running time 120초 동안, 패킷 사이즈를 74byte로 설정하고 데이터를 전송하였을 때, 그림 5에서는 7000bytes로 가장 많은 데이터를 수신 받았고, 그림 6에서는 초당 690bits를 기록하며 가장 많은 데이터 비트를 전송받았다.

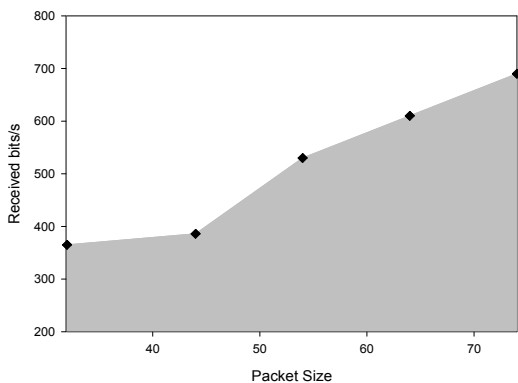


그림 6. 데이터 크기에 따른 초당 수신된 데이터 비트수
Fig. 6. Received data bits/s by packet size

그림 7에서는 각 노드에서 전송하는 패킷의 양은 64byte로 하고, 센서 노드의 수를 10개, 13개, 15개, 17개, 19개, 21개로 했을 때의 Throughput을 나타낸 그림이다. 그림7에서 보는 바와 같이 한 싱크노드에 19개의 센서노드를 연결할 때, running time 120초 동안 1초에 2300bytes를 받아서 가장 좋은 Throughput이 되는 것을 알 수 있다.

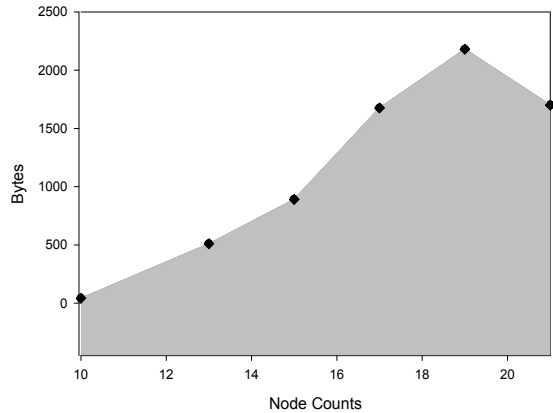


그림 7. 노드 개수에 따른 Throughput
Fig. 7. Throughput by node count

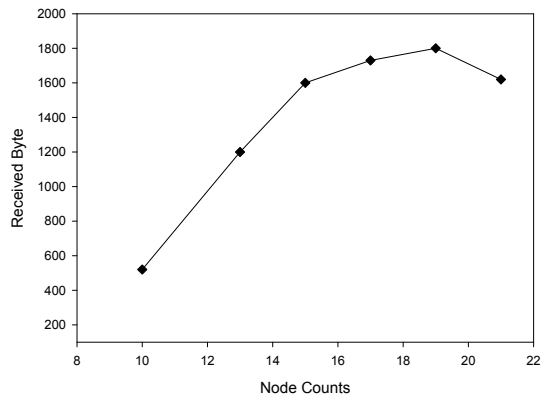


그림 8. 노드 개수에 따른 수신된 데이터 바이트
Fig. 8. Received data bytes by node count

그림 8은 그림 7과 마찬가지로 센서노드 개수에 변화를 주었을 때, 싱크노드에 수신된 데이터 바이트의 량을 나타낸 것이다. 그림 8에서 보는 것처럼 센서노드 개수가 19개일 때 싱크노드는 가장 많은 수치인 1800bytes의 데이터를 받았다.

공장 시스템은 일반적으로 여러 개의 장비가 쓰이며, 이 장비들을 각각 관리하는 모니터링 시스템이나 데이터를 받는 서버 시스템이 존재한다. 만일 이러한 장비들이 200개 정도 있다고 가정해보면, 가장 능률적인 라우터의 개수는 11개가 된다. 왜냐하면, 하나의 싱크노드 당 19개의 센서노드를 커버할 때 가장 좋은 Throughput을 내기 때문이고, 이로 인해 필요한 라우터의 개수를 정확히 알 수 있다. 노드의 개수가 점점 올라갈수록 좋은 성능을 보이다가 19개를 기준으로 그 이상 연결 되면 성능이 낮아지는 것을 볼 수

있다. 이것은 너무 많은 노드가 연결되면 네트워크 상의 병목현상이 일어나 좋지 않은 성능을 보이는 것이다. 또한, 노드의 개수가 19개 이전일 때에 낮은 Throughput을 보이는 것은 최대로 처리할 수 있는 능력보다 각 노드에서 보내지는 데이터의 양이 적기 때문이다. 따라서 본 논문에서의 시뮬레이션의 결과에 의하면 하나의 서버에서 최대의 능력을 발휘할 수 있는 노드의 최대 개수는 19개라고 할 수 있다.

V. 결 론

본 논문에서는 IEEE 802.15.4 표준 기술을 적용하여 산업용 장비의 무선화를 위한 성능 분석을 하였다. 현재 사용하는 유선 자동화 시스템은 동일한 공정 과정내의 상이한 장비들간의 관리, 제어 또는 장비의 노후 및 이동에 따른 불편함 등의 문제점들을 가지고 있다. 이러한 문제점들은 산업용 무선 자동화 기술을 통하여 해결 할 수 있으며, 산업용 장비의 무선화로 인해 기대되는 효과는 다음과 같다.

공장의 산업용 장비는 모두 유선으로 연결되어 있어 배선이 복잡하고, 장소의 제약을 받았으나 무선으로 전환함에 따라 장소의 제약 없이 제어 및 관리 장치의 이동성이 증대될 뿐만 아니라 기존의 산업용 장비의 노후 및 검사과정 상의 장비 교체 시 생산 공정의 일시적인 중단 없이 장비의 새로운 추가 구성이 용이하고 재 설비에 따르는 비용이 절감될 것이다. 현재 무선 통신망을 이용한 산업용 자동화 시스템은 세계적인 추세이며 국내의 경우 아직 대표적 표준 기술은 제안되지 않았고 학계에서 다양한 시도만 이루어지고 있는 실정이다. 그러므로 기존의 유선 자동화 시스템에서 무선 자동화 시스템으로의 전환이 현 시스템의 유선 환경에 추가되는 문제점을 해결할 돌파구 역할을 할 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

[1] 임기평, "공장자동화 기술의 도입 및 활용에 관한 실용 분석", 한국중소기업학회, 1998.

- [2] 한국기계연구소, "공장자동화를 위한 통합 제어 기술 개발", 1991.
- [3] Michael F. Hordiski, "Control System Interface / Design and Implementation using Personal Computer", Prentice Hall, 1992
- [4] IEEE Std 802.15.4TM-2003 Part 15.4: Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications for Low-Rate Wireless Personal Area Networks (LR-WPANs), 2003.
- [5] Heiley Lynne Mckeefy, Alison Diana, "wireless SCADA and Sensor Network", Control Engineering, 2006.
- [6] Btent A Miller, "Bluetooth Revealed," Prentice Hall, 2001.
- [7] ZigBee Alliance, ZigBee Specification, 2008. 1. 17.
- [8] I.F.Akyildiz, W.Su, Yogesh S., Erdal C, "A Survey on Sensor Networks", *IEEE Communications Magazine*, August 2002, pp: 102-108.
- [9] <http://www.scalable-networks.com/publications/documentation/index.php>.

이 혜 림 (李憶琳)



2008년 8월 : 한국기술교육대학교 인터넷미디어공학부 졸업 (공학사)
 2008년 9월 ~ 현재 : 한국기술교육대학교 대학원 정보미디어공학과 재학 (공학석사)
 관심분야 : 무선 TCP, 무선 메쉬 네트워크, 라우팅 프로토콜

문 일 영 (文日永)



2000년 2월 : 한국항공대학교 항공통신정보공학과 (공학사)
 2002년 2월 : 한국항공대학교 대학원 항공통신정보공학과 (공학석사)
 2005년 2월 : 한국항공대학교 대학원 정보통신공학과 졸업(공학박사)
 2004년 ~ 2005년 : 한국정보문화진흥원

원 선임연구원

2005년 3월 ~ 현재 : 한국기술교육대학교 인터넷미디어공학부 조교수

관심분야 : 무선 인터넷 응용, 무선 인터넷, 모바일 IP