

산불 감시를 위한 무선 센서네트워크

손정만* · 석창호** · 박환종*** · 장유식**** · 김진천*****

Wireless Sensor Network for Wildfire Monitoring

Jung-Man Sohn* · Chang-Ho Seok** · Whang-Jong Park*** · Yu-Sik Chang**** · Jin-Chun Kim*****

요 약

산불감시와 같이 광범위하고 험난한 지역에 대한 감시 시스템으로써 무선 센서네트워크는 가장 경제적이고 현실적인 방안의 하나이다. 그러나 센서 노드의 저전력 소모 필요성으로 인하여 센서노드간 통신 가능거리가 짧아 해당 지역에 설치되어야 하는 센서노드의 수는 수만개에 이른다. 본 논문에서는 센서 노드의 설치와 수명이 다른 센서 노드를 대체하기 위한 재설치 문제를 고찰하고 분석하였다. 동적 설치로 인해 발생될 수 있는 감시 불능 영역에 대한 계산의 필요성과 향후 해결방안에 대하여 제시하였다. 한편, ZigBee 무선 통신 프로토콜을 사용하여 센서 노드간 거리 변화와 지형이나 숲과 같은 장애물 여부에 따른 노드 간 패킷 수신율을 실험을 통해 측정하고 분석하였다.

ABSTRACT

The wireless sensor network is one of the most practical and cost-effective solutions for monitoring systems covering wild and wide area such as wildfire monitoring. However, the RF distance between sensor nodes is very short due to the need of low power consumption of the sensor node, so the number of sensor nodes to be deployed in the target area is more than tens of thousands. In this paper, we design and analyze the deployment issues as well as re-deployment problem occurred when the battery is exhausted. We also propose the needs and solutions for coverage problem in dynamic deployment. By the experimental evaluations, we analyze the packet success ratio between sensor nodes under various environments such as obstacles and variable distances.

키워드

무선 센서네트워크, 산불 감시, ZigBee, 센서노드 설치

I. 서 론

산불로 인한 재산피해와 환경파괴는 경제적 가치로 환산하기 어려울 정도로 그 피해 규모가 크다. 국내의 경우에도 2005년 낙산사가 소실된 양양 산불 등 대형 산불

로 인한 피해가 증가하고 있다. 산불로 인한 피해를 줄이기 위해서는 예방을 통한 재해 발생 자체를 방지하는 것이 최선이지만 자연적 발화 등의 원인으로 일단 발생된 산불을 신속하게 감지하는 것이 무엇보다 중요하다. 일부 재난 취약 지역에서 감시 카메라나 센서시스템을 이

* 강릉영동대학 디지털영상광고과

접수일자 : 2007. 1. 31

** (주)더모스트

*** (주)돌리정보통신

**** 한전KDN(주)

***** 경성대학교 컴퓨터공학과

용한 전통적인 감시 기법이 사용되고는 있지만 감시 면적이 방대하여 고가의 장비 설치와 감지 데이터 전송을 위한 통신망 가설에 천문학적 비용이 요구된다. 또한, 일단 재해가 발생되면 해당 지역의 장비와 통신망 시설의 소실이 불가피하여 시스템을 유지하는 비용 또한 만만치 않다. 무선 센서네트워크는 저가의 센서노드와 별도의 통신망 가설이 필요없는 무선 통신을 사용하고 노드 간 안정적 데이터 전송을 위한 라우팅 알고리즘들이 제시되면서 환경 및 재난 감시 시스템 구축을 위한 효율적인 기술로 주목받고 있다.

산불 감시를 위한 무선 센서네트워크가 이론상으로는 그 경제성과 효용성을 인정받고 있으나 대부분의 연구가 아직은 연구실내의 실험이나 시뮬레이션 단계에 머무르고 있다. 산악 지역과 같이 실제 현장에 적용하여 제대로 기능하기 위해서는 다음과 같은 특성들이 보장되어야 한다[1].

- 센서노드의 신뢰성: 외부 자연환경에서 고장없이 동작할 수 있음을 보장
- 네트워크의 신뢰성: 감지된 데이터가 손실없이 센터로 전송될 수 있는 신뢰성 있는 전송 기법 및 라우팅 기능 제공
- 시스템의 안정성: 센서 노드들은 정해진 규칙에 따라 정확한 데이터를 수집하고 주변 환경변화에 능동적으로 대처하여 데이터를 안정적으로 센터로 전송
- 네트워크의 생명력: 저전력 기법을 통해 개별 센서노드의 작동 시간을 최대화하고 전지 교환없이 새로운 노드 추가를 통한 네트워크 차원의 연속성을 보장

본 논문에서는 네트워크의 설치와 지속성 보장에 중점을 두고 시스템을 설계하였다. 산불감시의 경우, 첫째, 대상 지역이 매우 광범위하고 혐난하여 모든 센서 노드를 직접 설치하는 것은 사실상 불가능하다. 둘째, 다양한 저전력 기법에도 불구하고 전지로 작동 가능한 시간은 현실적으로 1년을 넘기 어렵고 전지의 교환 또한 용이하지 않아 네트워크의 지속성을 보장하기 위해서는 새로운 센서 노드들을 주기적으로 추가하여야 하는데 이에 따른 동적 라우팅 기법이 요구된다. 특히, 센서 노드가 수명을 다할 경우 감시 불능 영역이 발생하는데 이러한 영역을 동적으로 파악하는 기법이 필요하다.

본 논문은 산불 감시를 위한 무선 센서네트워크 시스템의 하드웨어와 소프트웨어를 설계 구현하고 위의 두 가지 요구사항에 대한 최근 연구동향과 실질적인 해결

방안에 대해 논의한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 산불 감시를 위한 기존의 무선 센서네트워크들을 시스템 차원에서 분석하고, 3장에서는 제안하는 무선 센서네트워크 시스템의 설계와 구현에 대하여 설명하고 특히 네트워크의 설계 및 재설치 문제와 네트워크의 지속성을 보장하기 위한 방안에 대하여 기술한다. 4장에서는 이를 위한 현장 실험을 통한 분석 결과에 대하여 기술하고 5장에서 결론 및 향후 연구과제에 대하여 기술한다.

II. 관련 연구

현재 사용되고 있는 대표적인 산불감시 시스템은 위성영상과 GIS 지리정보를 활용하는 방법이다. [2]에서는 MODIS 위성영상을 이용하여 산불을 감시하는 Web GIS 시스템을 구축하였다. 그러나 위성영상의 해상도와 감시 주기 확보 등의 문제로 산불을 조기 감지하는 데에는 한계가 있다.

무선 센서네트워크를 야외 현장에 적용한 연구의 대표적인 예로써 Great Duck 섬에 설치한 생태계 감시망이 있다[3]. 섬의 기상 상태 및 동물들의 움직임을 감지하여 섬 외곽의 게이트웨이를 통해 주기적으로 센터로 전송하는 네트워크를 구현하여 센서노드와 싱크노드, 게이트웨이와 센터간의 데이터 전송이 가능함을 보였다.

Doolin은 산불 감시용 무선 센서네트워크를 구현하고 모의 산불 실험을 통해 화재 발생 감지에 걸리는 시간과 정확성을 측정하고 분석하였다[4].

Li는 센서네트워크를 설계함에 있어 네트워크의 안정성 및 신뢰성이 초점을 두고 분석하였다[1]. 계절과 우기에 따라 산불 여부를 판단할 측정 온도의 임계치를 동적으로 변환시켜야 할 필요성을 강조하였으며 데이터 전송 시의 패킷 손실을 일정 수준이하로 유지하는데 필요한 센서 노드 간의 거리를 측정하였다.

한편, [5]에서는 산불 등 재해지역 감시를 위해 동물에 센서를 부착하고 게이트웨이와 통신 가능한 지역으로 동물이 이동할 때 저장된 데이터를 전송하는 Infostation Model을 제안하였다. 그러나 대부분의 기존 연구들은 실험용 시스템 구축에 그치고 있어 실제 현장 적용을 고려한 문제점 도출 및 해결방안에 대해서는 아직 미흡하다.

III. 네트워크 설계

3.1. 네트워크 아키텍처

감시 시스템은 본 대학에 설치된 관제 센터와 관제서버, 센서 네트워크와 공중망간의 게이트웨이 역할의 산불감시 시스템, 센서 노드들로 구성된다. 센서노드는 싱크노드 역할을 담당하는 라우터와 일반 센서 노드들로 구분된다(그림 1).

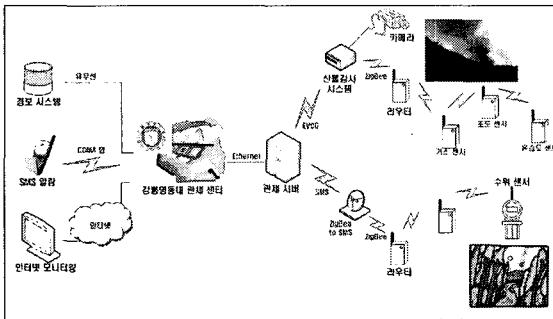


그림 1. 산불감시 무선 센서네트워크 아키텍처
Fig. 1. Architecture of WSN for wildfire monitoring

센서 노드 간 통신에는 ZigBee 프로토콜을 사용하였다[6].

관제센터는 실시간으로 전송되는 감지 데이터를 분석하고 각 센서 노드에 대한 세부정보 및 동작 상황에 대한 모니터링을 수행한다. 감시 시스템의 구성요소는 표 1과 같다.

표 1. 감시시스템 구성요소
Table 1. Modules of monitoring system

산불감시 시스템	- SMS 중계기와 연동 지원 - Zigbee 기반 무선 라우팅 지원 - DC 5-24V 전원, 태양열 전지, 충전지 - 설치를 위한 가설대								
	<table border="1"> <tr> <td>Ethernet</td> <td>RS-232</td> <td>USB</td> <td rowspan="3">충전지 태양열 전지</td> </tr> <tr> <td colspan="3">32bit CPU</td> </tr> <tr> <td>화재 감지 센서</td> <td>카메라</td> </tr> </table>	Ethernet	RS-232	USB	충전지 태양열 전지	32bit CPU			화재 감지 센서
Ethernet	RS-232	USB	충전지 태양열 전지						
32bit CPU									
화재 감지 센서	카메라								
SMS 중계장치	- 무선통신 프로토콜: TCP/IP, M2M, SMS - DC 12V, 전원 모니터링 - 900GHz 대역 전용 안테나, 헬리컬ANT - 통신인터페이스: RS-232C 2채널, ZigBee 모듈: OCX-Z								

무선 중계노드	- 방진, 방수 외부 케이스 - 사용 주파수: 900MHz CDMA 망 이용																		
	<table border="1"> <tr> <td>CC2420</td> <td>디지털 출력</td> <td>CDMA</td> </tr> <tr> <td>Atmega128</td> <td>16bit MCU</td> <td>DC 12V</td> </tr> <tr> <td>シリ얼</td> <td>아날로그 입력</td> <td></td> </tr> </table>	CC2420	디지털 출력	CDMA	Atmega128	16bit MCU	DC 12V	シリ얼	아날로그 입력										
CC2420	디지털 출력	CDMA																	
Atmega128	16bit MCU	DC 12V																	
シリ얼	아날로그 입력																		
모니터링 서버	- Zigbee 기반 무선 라우팅 지원 - 방수/방진 케이스 - 태양전지 및 충전전지 전원 사용 가능 - 외장형 헬리컬 안테나																		
	<table border="1"> <tr> <td>CC2420</td> <td>메모리</td> </tr> <tr> <td>Atmega128</td> <td></td> </tr> </table>	CC2420	메모리	Atmega128															
CC2420	메모리																		
Atmega128																			
경보 시스템	<table border="1"> <tr> <td>정보 시스템</td> <td>SMS 시스템</td> <td>인터넷 모니터링</td> </tr> <tr> <td>산불감시 모니터링</td> <td>수위감시 모니터링</td> <td></td> </tr> <tr> <td>JAVA</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>데이터베이스</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>운영체제</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>서버 하드웨어</td> <td></td> <td></td> </tr> </table>	정보 시스템	SMS 시스템	인터넷 모니터링	산불감시 모니터링	수위감시 모니터링		JAVA			데이터베이스			운영체제			서버 하드웨어		
정보 시스템	SMS 시스템	인터넷 모니터링																	
산불감시 모니터링	수위감시 모니터링																		
JAVA																			
데이터베이스																			
운영체제																			
서버 하드웨어																			
- 산불 예상 시 지정 담당자에게 알람 - 산불 주의 경보 발송																			

그림 2는 구현된 모니터링 서버의 센서노드 모니터링 화면의 예를 나타낸다.

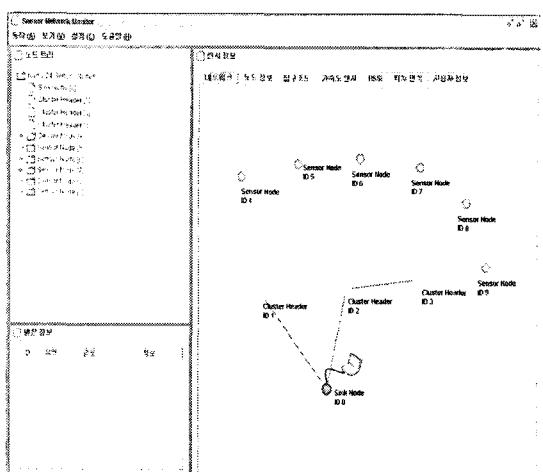


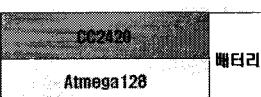
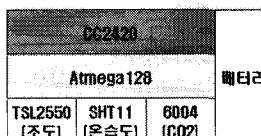
그림 2. 센서노드 모니터링 화면
Fig. 2. Display of sensor node monitoring

3.2. 센서 노드

센서노드는 옥타컴사의 NANO-24 센서 모듈을 사용하여 개발하였다[7]. NANO-24의 MCU는 Atmel사의 ATmega128[8] 모듈이며 RF 모듈은 Chipcon사의 CC2420[9]을 사용하였다.

NANO-24는 센서 네트워크를 위한 센서노드 모듈로써 조도, 온도, 습도, 적외선, 가스, 초음파, 가속도 등 다양한 센서를 지원한다. 또한, 802.15.4 ZigBee 프로토콜과 TinyOS[10] 센서노드 운영체제에서 작동한다. 표 2는 본 시스템에서 사용한 센서노드 및 센서모듈을 나타낸다.

표 2. 센서 노드 및 센서
Table 2. Sensor nodes and sensors

센서 노드		
온도 습도 센서		

3.3. 네트워크의 설치 및 재설치

산악지역과 같이 광범위한 영역을 감시하기 위한 센서 네트워크를 설계함에 있어 현실적으로 고려해야 할 사항의 하나는 센서 노드의 설치 문제이다. 하나의 온습도 센서가 감지할 수 있는 면적과 무선 통신 방식으로 ZigBee 프로토콜을 사용할 경우의 노드 간 평균 통신 가능 거리를 고려하여 한 센서노드의 감시 가능 면적을 100평방미터라고 가정하면, 네트워크의 감시 대상인 수십 평방킬로미터 지역을 관리하기 위해서는 수만개의 센서 노드가 필요하다. 또한, 전지 수명을 평균 1년으로 보면 매년 수만개의 센서노드의 전지 교체 또는 재설치가 필요하다. 이러한 규모의 설치를 인력으로 한다는 것은 사실상 불가능하기 때문에 센서노드들을 공중에서 흘뿌리는 방식을 사용할 수 밖에 없다[11].

이러한 설치 방식에서는 각 센서노드들이 균일하게 분포한다는 것을 보장할 수 없기 때문에 설치 및 재설치

후 센서노드가 제대로 설치되지 않아 감시가 미치지 못하는 특정 지역에 센서노드들을 추가로 설치할 수 있도록 현재 네트워크가 관할할 수 있는 영역과 그렇지 못한 영역을 판단할 필요가 있다. 즉, 이러한 영역 파악을 위해서는 각 센서노드가 설치된 위치를 알 수 있어야 한다.

Doolin[12]은 이러한 문제를 해결하기 위해 각 센서노드에 GPS 장치를 추가한 모델을 제작하였다. 그러나 GPS 장치는 일반 센서노드에 비해 수십 배의 전력소모를 필요로 하기 때문에 Doolin의 논문에서는 GPS 모듈을 탑재한 센서노드가 처음 설치되는 시점에 단 한번만 자신의 위치 계산을 위해 GPS 모듈을 작동시키고 위치 계산이 끝나면 GPS 모듈로의 전원을 차단하는 방식을 사용하였다. Shen[13]은 RSSI (Received Signal Strength Indicator) 기법을 사용한 센서노드의 위치 계산 방식을 제안하였다. 이 방식은 이미 위치를 알고 있는 주변의 게이트웨이 노드들로부터 감지되는 신호의 세기 차이를 이용하여 센서노드 스스로 자신의 위치를 계산하는 방식이다. 그러나 산불감시와 같이 영역이 광범위하여 게이트웨이 노드들이 조밀하게 분포할 수 없는 경우에는 적용할 수 없으며 계산의 정확도 또한 매우 낮다.

본 논문에서는 Doolin[12]의 방법과 같이 각 센서노드에 GPS 모듈을 추가하여 설치되는 시점에만 작동되는 방법으로 위치를 계산하는 방식을 사용한다. GPS 모듈을 사용하지 않고 센서들의 감지 가능 영역을 계산하는 알고리즘에 대해서는 5장에서 향후 연구과제로 기술한다.

IV. 실험 결과 및 분석

산악지역에서 각 센서노드 간의 적절한 거리를 판단하기 위하여 실제 환경에 센서노드들을 설치하여 실험하였다.

4.1. 실험 환경 및 방법

실험에 사용한 센서노드의 무선 통신 모듈 사양은 표 3과 같다.

표 3. 무선 통신 모듈 사양
Table 3. Specifications of RF Module

모듈	사양
RF 모듈 (CC2420)	300-1000MHz UHF RF (출력: +10dBm) 통신프로토콜: ZigBee 최대전송률: 76.8kbps
	8051 호환 프로세서
	RSSI (Received Signal Strength Indicator)
	32KB 플래시, 2048+128 바이트 SRAM
안테나	헬리컬 안테나 (1500미터) 허용주파수: 433MHz 임피던스: 50 Ohms

실험 장소는 대전시 소재 식장산 교외와 등산로를 따라 실시하였으며 송수신 노드간의 고도 차이와 숲 등의 장애물 여부에 따른 수신율을 측정하였다.

4.2. 실험 결과 및 분석

표 4는 산이나 숲과 같은 장애물 여부에 따른 수신율을 측정한 결과이다. 지형의 특성상 동일한 거리를 유지할 수는 없지만 무선 통신의 특성상 장애물이 있을 경우 수신율은 매우 낮은 것으로 나타났다. 장애물이 전혀 없을 경우 2,000미터까지도 통신이 가능함을 볼 수 있다.

표 4. 장애물에 따른 무선 통신 수신율 측정
Table 4. RF Success Ratio on under Obstacles

Tx 위치	Rx 위치	거리(m)	수신율(%)	장애물
저수지	지역 1	200	100	
	지역 2	3,000	0	산
교회옥탑	지역 1	2,500	100	
	지역 2	4,000	0	산
양수장	지역 3	40	100	
	지역 4	60	30~80	숲
양수장 (+30m)	지역 5	100	100	
	지역 6	120	11	산

산불감시의 경우, 숲이 기본적으로 존재하기 때문에 센서노드간 통신 가능 거리는 불과 수십미터 이내로 가정해야 할 것이다.

표 5는 고도와 거리에 따른 수신율을 측정한 결과이다. 지형은 개방지역에 가까운 등산로이다. 표에서 보는 바와 같이 장애물이 없을 경우 200미터 거리에서도 수신율이 양호함을 볼 수 있다.

표 5. 거리에 따른 무선 통신 수신율 측정
Table 5. RF Success Ratio along Distance

Tx 위치 (고도)	Rx 위치 (고도)	거리(m)	수신율(%)	비고
0	+50	50	96	계단
	+100	100	76	곡선계단
+50	+80	80	83	
	+200	200	95	
+80	+200	200	81	
	+50	50	93	
+100	+50	50	75	15m곡선
	+150	200	98	
+200	+100	100	88	
	+150	150	90	
	+200	200	86	

V. 결 론

본 논문에서는 산불감시를 위한 센서 네트워크를 설계하고 실험하였다. 특히, 산과 같은 광범위한 지역에 센서네트워크를 적용할 경우의 센서 노드들의 설치 및 재설치 문제에 대하여 최근 동향과 해결방안을 분석하였다. 센서 노드들을 인력으로 설치하지 않고 동적으로 살포할 때 센서 노드들이 균일하게 설치된다는 보장이 없기 때문에 노드가 제대로 설치되지 않은 감시 불능 영역을 판단하는 작업이 필요하다. 현재까지의 해결책으로는 각 노드에 GPS 모듈을 부착하여 설치 시점에 작동하게 하는 방법이 유일하다. 그러나 GPS 모듈 추가에 따른 비용 증가와 과도한 전력 소모는 여전히 문제로 남아있다.

한편, RSSI 방식은 위치 계산에 참조가 되는 위치가 알려진 게이트웨이들이 비교적 조밀할 경우에만 적용할 수 있어 산악 지역과 같이 광범위한 지역에 대한 응용에는 적용하기 어렵다.

향후 연구과제로써, GPS 모듈을 사용하지 않고, 개별 센서노드의 위치 계산없이, 통신 가능한 센서노드들의 영역을 계산할 수 있는 알고리즘에 대한 연구가 필요하다. 산불감시와 같은 응용에서는 개별 센서노드의 정확한 위치 정보보다는 다수의 센서노드들이 관찰하고 있는 영역의 위치 정보가 필요하기 때문에 기존의 개별 센서 노드의 위치 계산 방식과 접근 방법이 다를 수 있다.

참고문헌

- [1] Yanjun Li, Zhi Wang, Yeqiong Song, "Wireless sensor network design for wildfire monitoring," WCICA, 2006, pp. 109-113.
- [2] 손정훈, 허용, 변영기, 유기윤, 김용일, "MODIS 위성영상을 이용한 산불 모니터링 Web GIS 시스템 설계 및 구축," 한국GIS학회지, 14권 1호, 2006, pp. 151-161.
- [3] A. Mainwaring, J. Polastre, R. Szewczyk, D. Culler, J. Anderson, "Wireless sensor networks for habitat monitoring," ACM international workshop on wireless sensor networks and applications, 2002, pp. 88-97.
- [4] D. M. Doolin, N. Sitar, "Wireless sensors for wildfire monitoring," SPIE on smart structures & materials, 2005, pp. 477-484.
- [5] 엄재도, 이구연, 이동은, "재해관리를 위한 바이오 Ad-hoc 네트워크에 관한 연구," 한국정보과학회지, 32권 2호, 2005, pp. 439-441.
- [6] 김병호, "IEEE 802.15.4 MAC 프로토콜의 성능 평가 및 실험," 해양정보통신학회논문지, 11권 1호, 2007.
- [7] 옥타콤, NANO-24, <http://www.octacomm.net/product/product02.php>, 2006.
- [8] Atmel, AVR 8-bit RISC, <http://www.atmel.com/products/AVR/>, 2006.
- [9] Chipcon, SmartRF CC2420 ZigBee Dev. Kit User Manual, 2004.
- [10] TinyOS, <http://www.tinyos.net/>.
- [11] Liping Liu, Zhi Wang, Feng Xia, Jiming Chen, Youxian Sun, "Deployment issues in wireless sensor networks," Mobile Ad-hoc and Sensor Networks, Lecture Notes on Computer Science, 2005, pp. 239-248.
- [12] D. M. Doolin, N. Sitar, S. Glaser, "Software architecture for gps-enabled wildfire sensorboard," Univ. of California, Berkeley, http://firebug.sourceforge.net/interface_poster.pdf
- [13] Xingfa Shen, Zhi Wang, Ruizhong Lin, Youxian Sun, "Connectivity and RSSI Based Localization Scheme for Wireless Sensor Networks," Intelligent Computing, LNCS, 2005, pp. 578-587.

저자소개

손 정 만(Jung-Man Sohn)



1985년 2월 경북대학교 전자계산학
2004년 8월 영남대학교 컴퓨터공학과
공학박사
1985년 구미전자공업고등학교 교원
1993년 3월 ~ 현재 강릉영동대학 디지털영상광고과
부교수

※ 관심분야: 센서네트워크

석 창 호(Chang-Ho Seok)



1991년 서울산업대학교 전자계산학과
1993년 광운대학교 정보통신대학원
전자계산학과 석사

1994년 ~ 2000년 강릉영동대학 전자계산과
2002년~현재 (주)더모스트
2004년~현재 서울산업대학교 컴퓨터공학과 겸임교수
※ 관심분야: 데이터베이스, 프로그래밍 언어, RFID
유비쿼터스

박 환 종(Whan-Jong Park)



2001년 강릉영동대학 전산과 졸업
2000년 인터넷쇼핑몰 파워몰 운영
2003년 파워포스넷 오픈

※ 관심분야: 데이터베이스

장 유 식(Yu-Sik Chang)



2002.2 영동전문대학교 전자계산학과
2004.2 삼척대학교 컴퓨터공학과 졸업
2003.10 ~ 현재 한전KDN(주)
전산운영팀

※ 관심분야: 데이터베이스

김 전 천(Jin-Chun Kim)



1983년 한양대학교 전기공학과 졸업
1985년 미시간주립대학교 전자 및
시스템공학과 공학석사
1996년 KAIST 전산학과 공학박사

1988년 ~ 1996년 삼성종합기술원 선임연구원
1996년 3월 ~ 현재 경성대학교 컴퓨터공학과 교수
※ 관심분야: 멀티미디어 통신, 센서네트워크