

다중센서를 이용한 무선센서네트워크시스템에서의 효율적인 측정데이터 신뢰성 향상 방법

論 文
8-3-3

An Efficient Method for Improving the Reliability of Sensing Data Using Multi-sensors in Wireless Sensor Network Systems

이 상 신*, 송 민 환*, 원 광 호*, 김 중 환**

Sangshin Lee, Minhwan Song, Kwangho Won, and Joonghwan Kim

Abstract

A novel method for improving the reliability of sensing data using multi-sensors in wireless sensor network systems is presented in this paper. This method is successfully applied a fog monitoring system in the mountain area.

Keywords : Wireless sensor networks, multi-sensors node, reliability

I. 서 론

최근 많은 분야에서 무선센서네트워크 시스템의 도입이 활발히 이루어지고 있으며 무선 센서 네트워크에서 정보를 취득하는 센서기술, 센싱된 정보를 가공하여 전송하는 기술, 그리고 전송된 정보를 분석하고 서비스를 제공하는 기술 등과 같이 다양한 연구가 진행되어왔다[1-2]. 그러나 무선센서네트워크 시스템은 설치 및 운용되는 여러 환경에 따라 다양한 형태의 문제점을 갖는다. 특히, 무선네트워크 환경의 낮은 신뢰성, 자체 전원 이용에 따른 열악한 전원환경, 한정된 전원을 이용하여 구동하는 센서 등은 무선센서네트워크에서 얻어진 데이터의 신뢰도를 낮추는 요인으로 작용한다.

무선센서네트워크에서 주변의 열악한 무선 채널 환경으로 인하여 발생하는 여러 가지 문제점을 극복하기 위한 다양한 연구와 대부분 자체전원을 이용하여 동작하는 센서네트워크 시스템에서 한정된 전원을 이용하여 효율적으로 데이터를

교환하기위한 MAC 및 네트워크 프로토콜에 대한 많은 연구가 진행되어 왔다[3-5]. 그리고 Stanford University의 WiSNAP와 또한 M. Rahimi의 연구에서와 같이 무선센서네트워크 시스템에 소형의 이미지 센서를 이용한 무선 이미지 센서네트워크에 대한 연구도 진행되어왔다[6-7]. 또한 L. Prasad 등의 연구와 같이 서로 다른 다중센서를 이용하여 측정된 정보의 정확성 향상을 위한 연구가 진행되어 왔다[8].

본 연구에서는 무선센서네트워크를 통해 도로 상태를 모니터링하기 위한 지능형 도로 모니터링 시스템에서 측정된 데이터의 유효성을 판단하고 비정상적인 측정값에 대하여 서로 다른 종류의 다중 센서를 이용하여 검증함으로써 측정된 데이터의 신뢰도를 향상 시키는 방법을 제안하고 강원도 대관령 일대에 설치된 지능형 모니터링 시스템을 이용하여 제안된 방법의 유효성을 검증하였다.

II. 본 론

1. 다중센서기반의 데이터 수집 방법

일반적으로 무선센서네트워크 시스템은 주기적으로 시스템에 장착된 센서를 사용하여 주변의

접수일자 : 2009년 07월 16일
최종완료 : 2009년 08월 20일
*전자부품연구원 u-임베디드융합연구센터
교신저자, e-mail : sslee@keti.re.kr
**한국의국어대학교 컴퓨터 및 정보통신공학과

정보를 취득한다. 이 과정에서 다양한 정보를 수집하거나 보다 정확한 정보를 수집하기 위해 여러 종류의 센서가 사용되기도 한다.

센서노드는 탑재된 센서를 주기적으로 구동하며 각 센서로부터 얻어진 정보를 전송하는 역할을 수행한다. 이 과정에서 센서노드는 자신이 취득한 데이터를 그대로 전송하는 방법 또는 취득된 데이터를 이용하여 의미 있는 정보를 추출하고 추출된 정보에 따라 절차를 수행하는 방법이 사용 가능하다. 자신이 취득한 데이터를 그대로 전송하는 경우에는 무선센서네트워크 상에 많은 데이터를 전송해야 하는 부담과 그로 인해 발생하는 오류를 서버 상에서 처리해야 하는 기능이 필요하지만 무선센서네트워크에서 발생한 원시 데이터(raw data)를 이용하여 다양한 질의를 수행할 수 있다는 장점이 있다.

취득한 데이터를 그대로 전송하지 않고 센서노드 자체의 연산능력을 이용하여 의미있는 정보를 추출 및 전송하는 경우에는 전송하는 데이터의 양을 줄일 수 있는 장점을 가지고 있으나, 센서네트워크상에서 발생한 원시 데이터를 이용하여 다양한 질의를 수행할 수 없는 단점이 있다.

본 연구에서는 취득한 데이터를 노드 자체 연산을 통해 이벤트의 발생 여부를 추출하고 무선

센서네트워크를 통해 전송하는 방법을 사용하였다. 이러한 방법은 센서 네트워크 전체에서 전송해야 하는 데이터량을 감소시켜 센서네트워크의 라이프타임을 극대화하는 효과를 유발한다. 그림 1은 본 연구에서 제안한 다중 센서기반의 데이터 수집과정을 나타낸다.

2. 다중센서기반의 데이터 유효성 검사

다중센서를 이용한 데이터의 유효성 검사는 그림 2와 같은 다중센서기반의 데이터 유효성 검사 모델을 이용하여 수행한다.

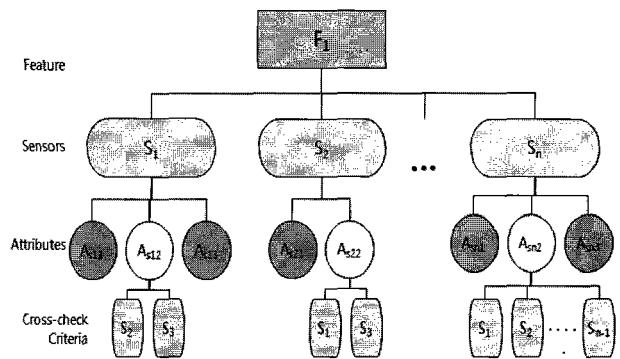


그림 2. 다중센서기반의 데이터 모델
Fig. 2. Sensing data model based on multi-sensors

그림 2의 모델은 사용자가 파악하려는 특징(feature)에 대하여 특징을 파악하기 위해 필요한 센서(S1, S2, ..., Sn)를 정의한다. 각 정의된 센서가 가지는 측정값이 특정한 범위에 속해 특별한 특성(attribute)을 가지는 경우 그 측정값의 신뢰도를 향상시키기 위해 다른 센서를 적용한 상호검사(cross-check) 규칙을 적용한다. 위의 그림 2에서와 같이 특징 F1을 위해 사용된 센서 S1의 측정값이 특별한 특성(attribute)인 A122의 결과를 나타낼 경우 추가적인 상호검사가 필요하며 이를 위해 센서 S2와 S3를 사용함으로써 S1의 측정 결과의 신뢰도를 향상시킬 수 있다.

예를 들어 본 연구에서 사용한 특징 중 안개모니터링(F1)은 안개의 정도를 파악하기 위한 가시거리 센서(S1)를 기본으로 사용한다. 그리고 가시거리 센서의 오작동 및 신뢰성 향상을 위하여 안개와 밀접한 관계를 가지는 온도(S2), 조도(S3), 및 습도(S4) 센서를 이용한다.

위의 모델을 다중센서 기반의 시스템에서 센싱값의 특이사항을 파악하는 시스템에 적용한 경우, 특징 F1은 시스템에 장착된 n개의 센서 중 일부

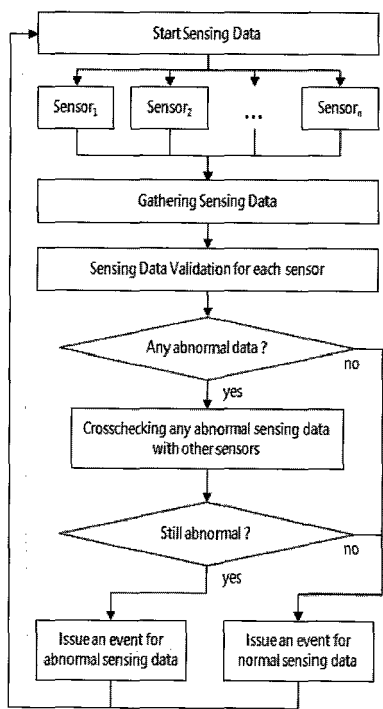


그림 1. 다중센서기반의 데이터 수집 과정
Fig. 1. Sensing data gathering procedure with multi-sensors

및 전체를 사용함으로써 얻을 수 있다. 이 경우 사용자가 원하는 특징 F_i 를 구성하는 센서 집합 $\{S_j \mid j = 1, 2, \dots, n\}$ 을 정의하고 각 센서의 정상 범위에 속성 값이 포함되는지 여부를 결정하는 유효성 검사의 결과 집합을 $\{R(S_j) \mid j = 1, 2, \dots, n\}$ 라고 정의하면 결과 집합 $R(S_i)$ 는

$$R(S_i) = \begin{cases} 0 & \text{where } V(S_i) \in \text{Normal Range} \\ 1 & \text{where } V(S_i) \notin \text{Normal Range} \end{cases}$$

와 같이 나타낼 수 있다. 단, $V(S_j)$ 는 S_j 의 값을 의미한다. 따라서 특징 F_i 의 특징 값의 정상 범위를 판단하는 평가함수는 $M(F_i) = \sum_{j=1}^n R(S_j)$ 와 같이 정의 될 수 있으며 모든 센서의 값이 정상 범위에 있는 경우 $M(F_i)$ 의 값은 0을 가지게 된다. 만약 $M(F_i)$ 의 값이 0보다 큰 값을 가지는 경우 특징 F_i 를 구성하는 센서들 중에서 정상 범위를 벗어나는 센서를 찾아 해당 센서 값을 상호 검사하기 위한 규칙을 적용 할 수 있다. 다른 센서를 이용하여 적용된 상호 검사에서 해당 센서의 결과 값을 지지하는 결과가 나온 경우에는 초기의 결과를 취한다. 그러나 상호 검사에서 해당 센서의 결과 값에 반하는 결과가 나온 경우에는 해당 센서의 초기 결과를 오류로 판단할 수 있다.

III. 구현 및 검증

1. 지능형 도로모니터링 시스템

지능형 도로 모니터링 시스템은 온도/습도 및 조도센서를 가지는 저전력 노드와 안개센서와 이미지센서 및 CDMA 통신모듈을 가지는 게이트웨이 시스템으로 구성되어 있다. 센서 노드는 그림 3과 같이 야외에 설치되기 때문에 다양한 온도에서 동작할 수 있도록 3.6V의 Li-SOCl₂ 배터리를 사용하였으며 sleep시 1uA 미만의 대기 전류만을 소모하도록 저전력으로 설계하여 동작 가능 시간을 비약적으로 늘림으로써 야외에서의 배터리 교환에 대한 부담을 덜 수 있도록 하였다.

지능형 모니터링을 위한 게이트웨이 시스템은 싱크노드 기능 외에 안개센서 및 이미지센서를 컨트롤하는 기능을 가지고 있으며 상용망 접속을

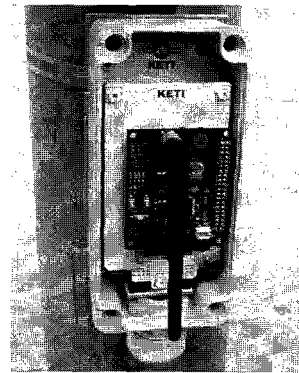


그림 3. 설치된 센서네트워크 노드
Fig. 3. Installed sensor network node

위한 CDMA 통신을 담당하는 CDMA모듈과 전체 시스템 및 CDMA모듈을 제어하는 G/W 모듈로 구성되어 있고 상세한 구성은 그림 4와 같다.

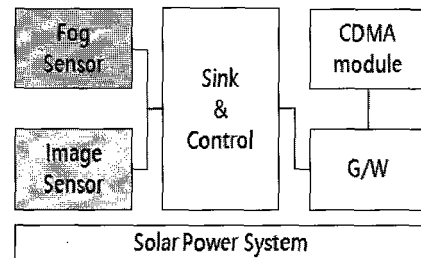


그림 4. 게이트웨이 시스템 구조
Fig. 4. Block diagram of gateway system

이 시스템은 17.5V-30W급의 태양전지판을 기반으로 하여 시스템에 필요한 전원을 공급하고 있다. 640×480사이즈의 CMOS 이미지 센서가 장착되어 이벤트가 발생할 시점의 영상을 직접 유저가 확인할 수 있도록 함으로써 실제 운용 시와 센서 데이터의 분석에 있어 주요 역할을 담당하게 된다. 게이트웨이 시스템에서 안개를 감지하기 위해 사용된 안개센서는 그림 5의 Optical sensors사의 miniOFS이다.

이 센서는 3mW정도의 적외선을 대기 중으로 송신하고 반사된 빛을 수광부를 통하여 감지하는

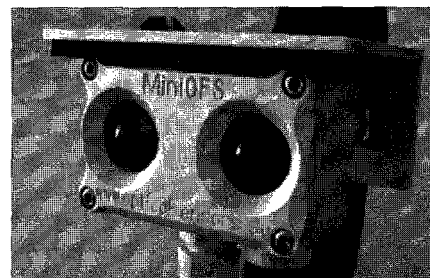


그림 5. 안개 센서 - MiniOFS™
Fig. 5. Fog sensor - MiniOFS™

방식으로서 약 25cm 앞의 대기 중의 입자들에 의해 반사된 빛을 기반으로 시정거리를 측정하게 된다. 이 대기 중의 입자는 일반적으로 안개를 생성하는 수증기이거나 혹은 눈, 비 등이며 센서는 이 시정거리를 통해 안개의 유무를 판단하게 된다. 하지만 대기 중의 입자의 농도를 판별해야 하기 때문에 센서의 감도가 매우 높아 설치하는 장소와 방향에도 세심한 주의가 필요하다. 즉 주변의 장애물에 의해 빛이 반사되지 않으며 직접적인 태양의 조사가 없는 곳에 센서는 설치되어야 한다. 그럼에도 불구하고 대형 차량 등 이동형 장애물에 대한 오작동 등도 종종 일어나게 된다.



그림 6. 설치된 안개센서 및 이미지 센서
Fig. 6. Installed fog and image sensors

2. 다중센서기반의 측정데이터 검증

2.1. 맑은 날씨 상황의 센서 데이터

그림 7은 맑은 겨울 날씨의 도로 상황에 대한

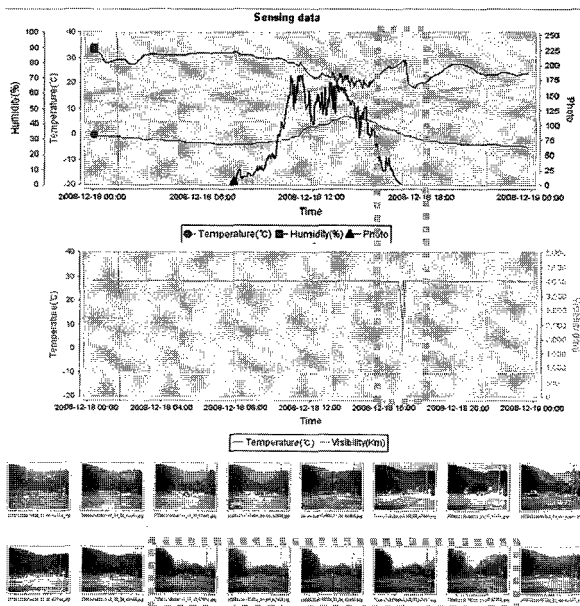


그림 8. 안개 발생 상황의 센서 데이터
Fig. 8. Sensing data of foggy weather

정보를 나타낸다. 데이터는 2008년 12월 14일 24시간 동안 취득된 정보를 보여준다. 조도 센서의 값은 일출과 동시에 급격한 상승을 보이며 일몰에 맞추어 급격히 떨어지는 패턴을 보인다. 또한 일출에 따라 도로 주변의 온도가 서서히 상승하는 모습을 보인다. 온도 상승에 따라 상대적으로 상대 습도의 곡선이 하강하는 반비례 현상을 볼 수 있다. 겨울철 맑은 날씨에 해당하는 데이터의 확인을 위해 사용한 안개(가시거리)센서의 값은 센서가 측정 가능한 최대 거리인 4000m로 나타났으며 변화가 감지되지 않았다. 또한 각 센서들의 측정된 정보 및 이를 이용한 상황 정보 label의 결과를 검증하기 위해 사용한 이미지 센서의 결과를 통해 맑은 날씨에 해당하는 영상 정보를 확인할 수 있었다.

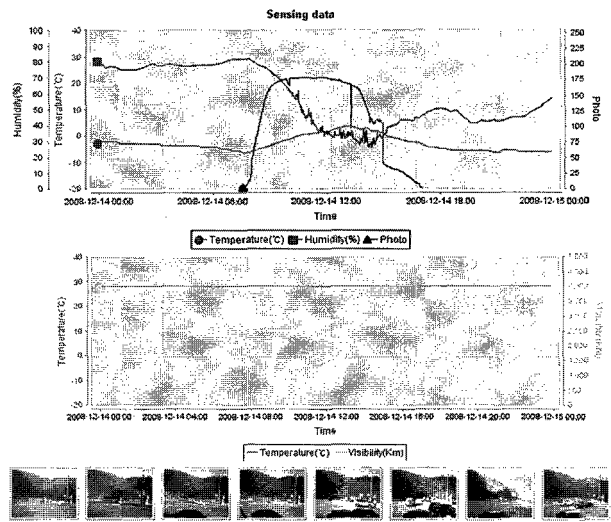


그림 7. 맑은 날씨 상황의 센서 데이터
Fig. 7. Sensing data of clear weather

2.2. 안개 발생 상황의 센서 데이터

그림 8은 겨울 날씨에서 안개가 낀 경우의 도로 상황에 대한 정보를 나타낸다. 데이터는 2008년 12월 18일 24시간 동안 취득된 정보를 보여준다. 조도 센서의 값은 일출과 동시에 급격한 상승을 보이며 안개에 맞추어 떨어지는 패턴을 보인다. 또한 일출에 따라 도로 주변의 온도가 서서히 상승하는 평상시와 달리 흐린 날씨로 인하여 온도 변화가 적은 모습을 보인다. 상대 습도의 곡선은 안개가 시작되는 부분에서 증가되는 모습을 확인할 수 있다.

그림 8에서 점선으로 표시된 부분은 안개구간을 나타내며 해당하는 데이터의 확인을 위해 사

용한 안개(가시거리)센서의 값은 1500 ~ 3000m로 나타났다.

2.3. 안개 센서의 비정상 동작 데이터

본 연구에서 사용한 가시거리 센서는 Optical-sensors사의 miniOFS로 고가의 장비가 사용되었다. 그러나 이러한 고가의 장비를 이용하여 정보를 취득하더라도 사용하는 환경 및 상황에 따라 잘못된 정보를 획득하는 경우가 발생할 수 있다. 다음의 그림은 가시거리 센서의 오작동 부분에 대한 영상정보와 그 당시 취득된 가시거리 정보를 나타낸다. 왼쪽 사진은 화물자동차의 적재공간과 태양의 조사각이 특정 각도를 이루어 발생한 태양의 반사광이 가시거리 센서의 정상동작을 방해하는 경우를 나타낸다. 이와 같은 경우 가시거리 센서의 값은 그림 9에 표시된 A와 같이 정상 동작하지 않음을 알 수 있다.

이 경우는 본 연구에서 제안한 다중센서기반의 데이터 유효성 검사 모델에 등록된 안개 센서의 이상 동작범위에 포함되어 온도, 습도, 및 조도 센서의 측정 값을 이용하여 상호검증을 실시하였다. 실시한 결과 온도, 조도, 및 습도 센서들의 상호 상관관계가 정상으로 판단되어 안개센서의 동작이 오류를 보였음을 확인할 수 있었다. 이와 반대로 위의 그림 9에 표시된 B에 해당하는 구간에서는 안개센서의 값이 이상 동작범위에 포함되어

상호 검증을 실시한 결과 온도, 조도, 및 습도의 상관관계가 안개 발생 상황을 지지하는 결과를 나타내었다. 아래의 그림의 오른쪽 사진과 같이 도로상황에 안개가 시작됨을 확인할 수 있었다.

본 연구에서는 2008년 10월부터 약 1년간 진행된 실험에서 얻어진 정보를 이용하여 다중센서를 이용한 무선센서네트워크 시스템에서 센싱 정보의 신뢰성 향상에 대한 검증을 수행하였다. 축적된 데이터베이스에 질의와 질의 결과에 대한 진수 검사를 통한 검증을 수행한 결과, 총 360일중 안개센서 측정값이 정상범위를 벗어난 경우는 총 129일에서 발생하였으며 이 경우 112회에서 안개센서 값이 정상임을 확인하였고 남은 17회의 경우에서 12번은 센서의 오동작임을 확인하였고 5번은 실제 이상동작인 경우였지만 확인에 실패하였다. 따라서 70.5%의 비 정상동작을 정정하는 결과를 얻었다.

IV. 결 론

본 논문에서 제안한 다중센서를 이용한 무선센서네트워크 시스템에서의 센싱 정보의 신뢰성을 높이는 방법은 센서네트워크상에서 발생할 수 있는 센서의 등장 환경 및 상황에 따른 오동작을 검지하는 역할을 수행한다. 이러한 기능은 산불모니터링, 도로상태 모니터링과 같이 원격에서 상황을 모니터링하여 상황에 따라 특정한 조치를 취하는 시스템에서 신뢰도가 떨어지는 데이터에 의해 불필요한 조치가 취해지는 것을 방지하는데 도움을 줄 수 있다.

감사의 글

본 연구는 지식경제부의 산업원천기술개발사업 일환으로 수행되었습니다(과제번호:10033869). 연구비 지원에 감사드립니다.

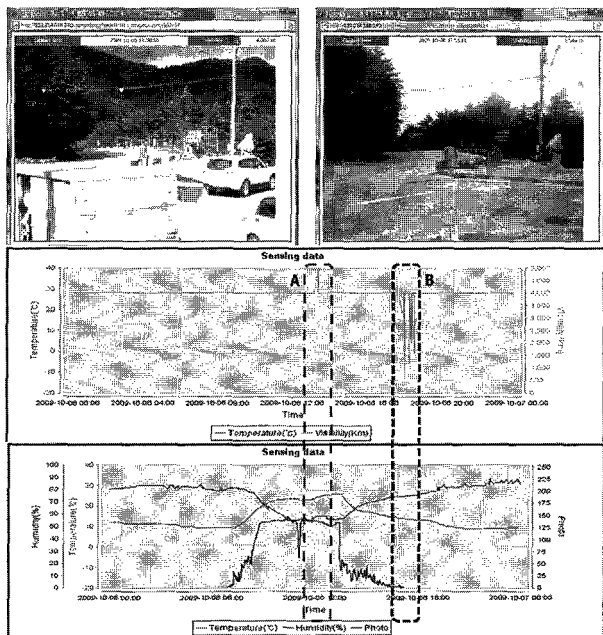


그림 9. 비정상 동작 데이터
Fig. 9. Sensing data from the abnormal operation

[참고 문헌]

- [1] I. F. Akyildiz, W. Su, Y. Sankarasubramaniam, and E. Cayirci, "A survey on sensor networks," *IEEE Communications Magazine*, vol. 40, no. 8, pp. 102-114, Aug. 2002.
- [2] D. Culler, D. Estrin, and M. Srivastava, "Guest editors' introduction: Overview of sensor networks," *IEEE Computer Magazine*, vol. 37, no. 8, pp. 41 - 49, Aug. 2004.
- [3] J. Kim and Y. Kwon, "Interference-aware transmission power control for wireless sensor networks," *IEICE Transactions on Communications*, vol. E91-B, no. 11, pp. 3434-3441, Nov. 2008.
- [4] R. Biswas, V. Jain, C. Ghosh, and D. P. Agrawal, "On-Demand reliable medium access in sensor networks," in *Proceedings of the International Symposium on World of Wireless, Mobile and Multimedia Networks*, pp. 251-257, 2006.
- [5] M. Chen, T. Kwon, S. Mao, and V. Leung, "Spatial-Temporal relation-based Energy-Efficient Reliable routing protocol in wireless sensor networks," *International Journal of Sensor Networks*, vol. 5, no. 3, pp. 129-141, May 2007.
- [6] S. Hengstler and H. Aghajan, "WiSNAP: Wireless image sensor network application platform," in *Proceeding of the International Conference on Testbeds and Research Infrastructures for the Development of Networks and Communities*, pp. 6-12, 2006.
- [7] M. Rahimi, R. Baer, O. I. Iroez, J. C. Garcia, J. Warrior, D. Estrin, and M. Srivastava. "Cyclops: in situ image sensing and interpretation in wireless sensor networks," in *Proceedings of the International Conference on Embedded Networked Sensor Systems*, pp. 192-204, 2005.
- [8] L. Prasad, S. S. Iyengar, R. L. Kashyap, and R. N. Madan. "Functional characterization of sensor integration in distributed sensor networks," in *Proceeding of the International Parallel Processing Symposium*, pp. 186-193, 1991.

Biography



이 상 신

1997년 한국외국어대학교 수학과 학사
 2000년 한국외국어대학교 컴퓨터공학과 석사
 2008년 한국외국어대학교 컴퓨터공학과 박사수료
 2000년~현재 전자부품연구원 u-임베디드융합 연구센터 선임연구원

<관심분야> 센서네트워크, 네트워크 프로토콜 설계, Ad-hoc 네트워크
 <e-mail> sslee@keti.re.kr



송 민 환

2003년 건국대학교 전자공학과 학사
 2005년 건국대학교 전자공학과 석사
 2005년~현재 전자부품연구원 u-임베디드융합 연구센터 전임연구원.

<관심분야> 저전력 센서네트워크 H/W, 유비쿼터스 컴퓨팅 H/W

<e-mail> mhsong@keti.re.kr



원 광 호

1989년 단국대 전자공학과 학사
 2004년 중앙대 정보통신공학과 석사
 2007년 광운대 전자통신 박사수료
 1991년~1997년 (구)현대전자 정보통신연구원 주임연구원

1997년~현재 전자부품연구원 u-임베디드융합연구센터 책임연구원.
 2004년 ~ 현재 한국정보과학회 정보통신연구회 협동운영위원.
 2005년 7월 ~ 현재 한국 ZigBee 포럼 운영위원.

<관심분야> WPAN(Wireless Personal Area Network) Systems, 무선통신 SoC 및 센서네트워크

<e-mail> khwon@keti.re.kr



김 중 환

1978년 서울대학교 응용수학과 학사
 1980년 고려대학교 산업공학과 석사
 1984년 고려대학교 산업공학과 박사
 1974년 육군사관학교 수학과 부교수
 1985년~현재 한국외국어대학교 교수

<관심분야> 소프트웨어 공학

<e-mail> jhkim@hufs.ac.kr