論 文
8-3-6

USN 위한 프로토콜 분석기 설계 및 구현

Design and Implementation of Protocol Analyzer for USN

김 세 한*, 김 내 수*, 김 병 철*, 이 재 용*
Se-Han Kim, Naesoo Kim, Byung Chul Kim, and Jae Yong Lee

Abstract

다양한 서비스에서 활용되는 USN환경에서 각 응용의 기술적 특성에 따른 다양한 프로토콜기술의 개발이 이루어지고 있다. 본 논문에서는 무선 센서 네트워크 프로토콜 개발에 필수인 프로토콜 분석기에 대한 것으로 8개(최대 16개) 트랜시버를 갖는 하드웨어를 통해 무선 상의 여러 채널을 통해 송수신 되는 다양한 프로토콜을 쉽게 분석하는 장치의 구현에 대해 설명한다. 종래의 기술은 Zigbee프로토콜과 같은 특정한 프로토콜 및 하나의 채널만을 대상으로 분석하여 화면에 출력하는 기술인 것에 비하여, 본 기술은 여러 개의 채널을 동시에 분석이 가능하며, 동시에 여러 개의 채널을 통해 패킷을 인코딩하여 출력이 가능하다. 또한 하드웨어 및 소프트웨어의 코드를 바꾸지 않고 XML을 활용하여 사용자 정의에 따른 프로토콜 분석 및 처리, GUI처리 등을 가능하게 한다.

Keywords : USN, protocol analyzer, XML,

I. 서 론

미래의 IT 산업은 RFID/USN 기술의 발달과 직결되며 하드웨어뿐만 아니라 소프트웨어와 네트워크 기술 등 파급효과와 기술의 연계가 매우 크기 때문에 기술을 선점하려는 많은 시도가 세계적으로 이루어지고 있다. 특히, USN은 센서들이 지능화된 네트워크를 통해서 환경 정보를 센싱하고 연동하여 재난 재해, u-City, u-SCM, 홈 오토메이션, 군 응용 서비스 등 다양한 분야에 적용될 수 있을 것으로 예상된다. 현재 USN은 건물의 안전과 같은 공공의 목적, 적지 정찰과 같은 군용 목적, 생태계나 환경오염의 관측과 같은 과학적인 목적에 주로 응용 서비스 기술이 개발되고 있으나, 점차 댁내 안전, 편리성, 나아가서는 인간의 생체에 응용될 수 있는 상황 인지의 지능형 서비스로 발전할 전망이다. 이러한 USN의 다양한 응용 범위에 따라 기존의 Wi-Fi와 같이 한정된 프로토콜만이 사용되기 보다는, 응용 특성에 따른 다양한 프로토콜들이 사용될 것으로 예상된다.

특히 저전력 및 신뢰성을 기본으로 하는 무선 센서네트워크 프로토콜은 하드웨어 자원의 한계로 인해 최적으로 설계 및 구현된 다양한 프로토콜이 필요하다. USN을 위한 프로토콜기술은 각 서비스가 가지는 실내/실외, 실시간/비실시간, 센서노드 및 사용자의 이동성, 센서노드의 밀집 성, 센서네트워크 망 규모, 네트워크 형상(topology), 센서의 센싱 주기 및 센서 데이터 형태, 필요한 데이터 양 등의 특성, 신뢰성 정도 여부, 최소 운영 시간, 보안 등 다양한 요구 사항에 따라 개발된다. 이러한 요구 사항을 위해 TDM(time division multiplexing), CSMA(carrier sense multiple access) 등의 기존의 방식들을 기반으로 하여 동

접수일자 : 2009년 07월 31일
최종완료 : 2009년 09월 16일
*한국전자통신연구원 지능형센서네트워크연구팀
교신저자, e-mail : nskim@etri.re.kr
**충남대학교 정보통신공학부

기식/비동기식, 싱글채널/멀티채널, 경쟁/스케줄기반, 하이브리드 방식 등 다양한 프로토콜의 개발이 필수적이다. 이런 다양한 프로토콜들의 개발에 있어 필요한 요소는 실제 패킷을 분석하기 위한 장비의 사용은 절대적이라 할 수 있다. 그러나 현재까지 다양한 프로토콜들을 개발하기 위해 사용되는 분석기는 존재하지 않는다.

본 논문은 USN에서 사용되는 다양한 프로토콜들을 분석하기 위한 장치인 멀티채널 분석기에 대한 것으로 8개(최대 16개)의 트랜시버가 탑재된 하드웨어에서 여러 개의 채널을 통해 수신되는 패킷을 사용자가 정의한 XML을 통해 디코딩(분석)하거나 패킷을 인코딩(encoding)하여 송신하는 기능, 송수신과정에서 다양한 통계를 GUI를 통해 프로그램 사용자에게 제공하는 프로토콜 분석기에 관한 것이다. 기존의 방식은 단일 트랜시버/단일채널에 제한된 방식으로 사용하고, 사용자 의도와 상관없이 미리 고정된 프로토콜 분석엔진에 따라 구현되는 방식임에 비해, 멀티채널 분석기는 하드웨어 및 소프트웨어의 코드를 바꾸지 않고 XML 기술을 활용하여 사용자 정의에 따른 프로토콜 분석 및 처리, GUI처리 등을 가능하게 한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서 USN에서 사용되는 프로토콜의 기술적 특성, 개발 시 고려사항, 프로토콜 분석기 요구사항을 분석하고 3장에서는 2장의 요구 사항에 따른 프로토콜 분석기의 하드웨어 및 소프트웨어 구성에 대해 설명한다. 4장에서 프로토콜 분석기의 구현에 대해 설명하고 마지막으로 5장에서 결론을 맺도록 한다.

II. USN 프로토콜의 특성 및 고려 사항

센서 네트워크를 구성하는 각 노드는 이웃 노드가 송신하는 패킷과의 충돌 없이 감지된 데이터를 송신하고, 나머지 대부분의 기간에는 sleep함으로써, 배터리 교체 없이 장시간의 동작을 지원하는 구조로 설계된다. 이렇게 이웃 노드들과 무선채널을 공유하면서 패킷을 오류 없이 전달하면서, 전력소모 최소화를 지원하는 특성을 갖는다.

최근까지, 전원절약 및 노드간 지연을 단축하는 특성을 가진 sensor network용 프로토콜이 수십 가지 이상 발표되었는데, 이를 분류하면 다음과 같다.

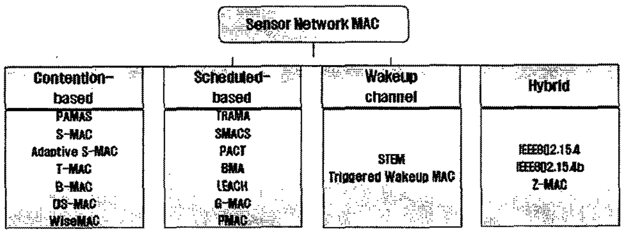


그림 1. 센서 네트워크 프로토콜
Fig. 1. Protocols for sensor network

S-MAC[1] 및 T-MAC[2]과 같은 경쟁 기반의 MAC은 전력소모를 고려하지 않는 MACA를 개량하여 idle listening이나 overhearing을 회피하도록 한 방식으로 고정이나 가변의 duty cycle방식, 데이터와 별도의 제어 채널을 사용하는 방식, 채널 감지 기간을 고려하여 긴 프리엠블을 미리 전송 방식 등이 사용된다. IEEE802.15.4 MAC과 같이 대부분의 경쟁방식의 MAC들은 beacon과 같은 sync 패킷을 활용하여, active/inactive의 간격, beacon주기 등 주파수 자원을 효율적으로 사용할 수 있도록 설계한다.

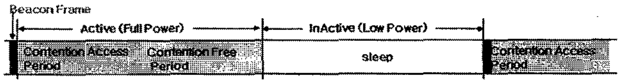


그림 2. IEEE 802.15.4
Fig. 2. IEEE 802.15.4

SMACS[3] 및 TRAMA[4]과 같은 스케줄 기반의 MAC은 경쟁기반 MAC에 비하여, 충돌 없이 동작하므로 채널 사용 효율이 높아, 센서 노드들의 밀집도가 높고, 실시간성이 요구되는 응용에 주로 사용된다. 하지만 빈 슬롯에 의한 낭비를 최소화해야 하고, 해당 슬롯에 대한 송수신 노드가 아닌 이웃 노드들이 모두 sleep할 수 있도록 해당 스케줄 정보를 이웃 노드들이 알 수 있도록 하는 복잡한 제어 프로토콜이 필요하다. 특히 동기를 맞추기가 쉽지 않아 구현이 어렵다.

다중 채널을 활용한 방식은 기존의 ad-hoc방식에 주로 사용되었던 각각 전용의 제어 채널을 사용하는 방안, 일정 시간 동안 채널 협상을 하는 방안, 동일한 주파수 천이를 해가면서 채널 협상을 수행하는 방안 및 각자 단말 별로 채널 호핑을 하면서 데이터 전송이 필요할 경우 목적지의 주파수로 천이해 통신을 시도하는 방안 등 크게 4가지 방식[5]을 활용하고 센서 네트워크가 갖는 여러 제약사항을 고려하여 연구가 진행되고 있다. MMSN(multi-frequency media access control for

wireless sensor network)[6]와 LEACH 프로토콜을 확장한 클러스터 기반의 다중 채널 MAC인 MCMAC(multi channel MAC)[7], 그리고 단일 채널 기반의 LMAC(lightweight MAC) 프로토콜을 다중 채널로 확장한 dense WSN의 multi-channel MAC[8] 프로토콜 등이 있다.

이렇게 다양한 특성을 갖는 센서 네트워크 MAC의 공통적인 특징은 저전력을 위해 최소한의 전력만을 소비하도록 하고, 신뢰성을 보장하기 위한 기능을 갖는 것이다. 이를 위해 각 센서 노드들은 송수신을 위해 필요하지 않는 시간에는 최소한의 전력만을 유지하도록 하기 위해 트랜시버의 전원을 off하고, 경우에 따라 MCU의 전원도 Off하게 된다. 실제 구현에 있어 문제점은 MCU 및 트랜시버의 전원 on/off에서 발생하는 delay, OS의 스케줄러의 정밀도에 따라 장시간 네트워크가 운영되는 경우 active/inactive의 동기 문제로 인해 통신이 불가능한 경우가 발생하게 된다. 이렇게 응용에 따라 다양한 특성을 갖고, 정확한 타이밍이 요구되는 센서 네트워크용 프로토콜개발을 위해서는 센서 네트워크용 프로토콜 분석기가 필수적이다. 센서 네트워크용 프로토콜 분석기는 IEEE 802.15.4와 같이 표준으로 만들어진 프로토콜뿐만 아니라 사용자가 정의하여 분석할 수 있는 패킷 분석기, 사용자 정의에 따른 패킷 생성기, 계획된 절차에 따른 자동 검증 기능, 다양한 성능 측정 모듈, 패킷과 패킷 사이의 시간차의 분석이 가능한 기능 등이 요구된다.

III. 프로토콜 분석기 설계

본 연구를 통해 개발한 멀티채널 분석기는 8채널로 구성된 하드웨어와 2대의 하드웨어를 운영하여 16개의 채널을 동시에 분석 가능한 소프트웨어로 구성된다.

1. 분석기 하드웨어 구성

분석기 하드웨어는 IEEE 802.15.4의 2.45GHz을 기준으로 구성한다. 8개의 트랜시버를 갖는 분석기를 이용하여 최대 16채널(8채널×2)을 동시에 분석 가능한 구조로 설계하였다. 타이밍 분석을 위해 각 트랜시버는 하드웨어적 동기를 맞추어 작동한다. 아래 그림 3은 분석기 하드웨어의 구조이다.

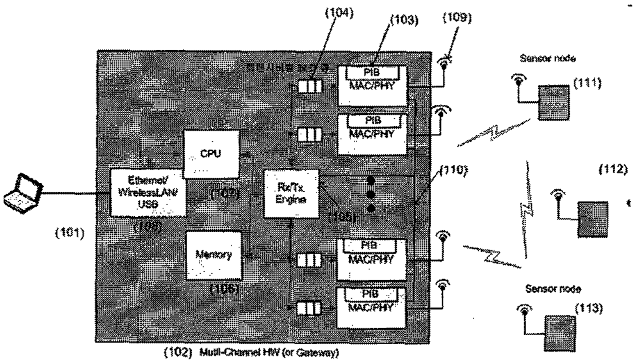


그림 3. 분석기 하드웨어
Fig. 3. Analyzer H/W

트랜시버는 8개로 구성되며, 사용자 프로그램에서 전달되는 패킷 및 명령에 따라 안테나를 통해 프레임을 전송 또는 수신한다. 트랜시버의 수만큼 안테나를 설치하거나, 트랜시버 수와 관계없이 하나의 안테나를 구성한다. 만약 하나의 안테나로 구성하는 경우 간섭의 영향을 줄이기 위해 채널을 고정한다. 사용자 프로그램과 하드웨어는 이더넷, 무선랜, USB, GSM, CDMA 등 다양한 인터페이스를 통해 연결한다. 송신(Tx)의 경우 사용자 프로그램에서 만들어진 패킷을 CPU, memory를 거쳐 Rx/Tx 엔진, 트랜시버별 버퍼를 통해 트랜시버로 전달된다. 수신(Rx)의 경우 안테나, 트랜시버를 통해 수신한 패킷은 수신버퍼를 통해 Rx/Tx 엔진의 제어를 통해 CPU, memory를 거쳐 사용자 프로그램으로 전달된다. 여러 개의 트랜시버를 통해 패킷을 송신/수신하는 경우 각 채널을 통해 송수신 되는 패킷들간의 비교 및 전송 제어를 위해 각 트랜시버와 Rx/Tx 엔진 사이의 시간 동기화를 위해 동기선(synchronized line)을 확보하고, Rx/Tx 엔진의 제어를 통해 전체 타이밍을 제어 한다.

2. 분석기 소프트웨어 구성

다양한 센서 네트워크용 프로토콜을 분석하기 위해 사용자는 프로토콜설계에 따른 패킷 등 실제 구현을 통해 분석을 원하는 프로토콜을 XML 형태로 정의한다. XML정의에 따른 USN프로토콜 분석을 위한 사용자 소프트웨어의 구조는 그림 4와 같다. 다양한 USN 프로토콜이 정의되는 프로토콜 schema와 프로토콜 schema를 통해 XML 및 GUI를 생성하는 XML 엔진, XML 엔진에서 만들어진 XML을 이용하여 송수신 패킷을 처리하는 translator, 통신을 제어하는 socket manager로

```
<USN>
<HEADER>
<PROTOCOL> </PROTOCAL> <! -- 프로토콜명 -->
<MAXLENGTH> </MAXLENGTH><! -- 패킷최대길이 -->
<VERSION> </VERSION> <! -- 버전 -->
<DESCDATE> </DESCDATE> <! -- 작성일 -->
<DESC> </DESC> <! -- 설명 -->
<XMLDESCAUTHOR> </XMLDESCAUTHOR> <! -- 작성자 -->
<COMPANY> </COMPANY> <! -- 회사명 -->
</HEADER>
<BODY> <!-- 패킷 정의 -->
<PACKET>
<ITEM container="" />
......
</PACKET>
<COLLECTIONFILTER> <!-- 수신옵션설정 -->
<ITEM name="" displayname="" uitype="" desc="">
<KIND name="" displayname="" value="" desc="" />
......
</COLLECTIONFILTER>
<STATISTICS><!-- 통계 -->
<ITEM name="" displayname="" desc="">
<KIND name="" displayname="" value="" color="" desc="" />
......
</STATISTICS>
</BODY>
<MAINCONTAINER> <!-- Main Container 부분 -->
<CONTAINER name="" displayname="" color="">
<ATTRIBUTE name="' displayname="" datatype="" length=""
uitype=""/>
<CONTAINER name="">
<CONDITION subcontainer="">
<ITEM name="" value="" />
...
<!-- Sub Container 부분 -->
<SUBCONTAINER name="" displayname="" color="">
<ATTRIBUTE name="' displayname="" datatype="" length=""
uitype="" />
<CONTAINER name="" displayname="" color="">
<CONTAINER name="">
<CONDITION subcontainer="">
<ITEM name="" value="" />
...
</SUBCONTAINER>
</MAINCONTAINER>
</USN>
```

구성된다. 또 protocol manager는 프로토콜 규격에 따라 여러 개 존재하는 프로토콜들의 정의인 protocol schema를 기반으로 하여 다양한 프로토콜들을 관리한다. XML generator는 프로토콜 schema를 XML형태로 변형하여 translator가 수신된 패킷을 디코딩하거나 인코딩하여 패킷을 전송할 수 있도록 한다. GUI generator은 사용자에게 디코더나 인코더를 통해 패킷을 송수신하고, 각종 통계 데이터를 화면에 작성하도록 하는 channel searcher, packet collection, packet generator, statistics collector등의 GUI를 생성하도록 한다.

분석기 하드웨어와 소프트웨어간의 연결은 원격지 상황을 고려하여 서버/클라이언트 개념으로 설계하였다. 하드웨어에 탑재된 소프트웨어는 서버가 되며, 사용자 프로그램은 클라이언트가 되어 동작한다. 서버와 클라이언트간 통신에 필요한 기능은 패킷을 분석하고, 트래픽을 생성하기 위한 실제 데이터 및 시간 정보가 포함된 데이터 패킷, 하드웨어의 채널 설정, 리셋, 송수신제어, 장비 설정 등의 제어 기능을 위한 컨트롤 패킷, Rx/Tx 패킷 수, 송수신 error발생 수 등, 각종 성능 측정을 위한 통계 자료 패킷으로 구성된다.

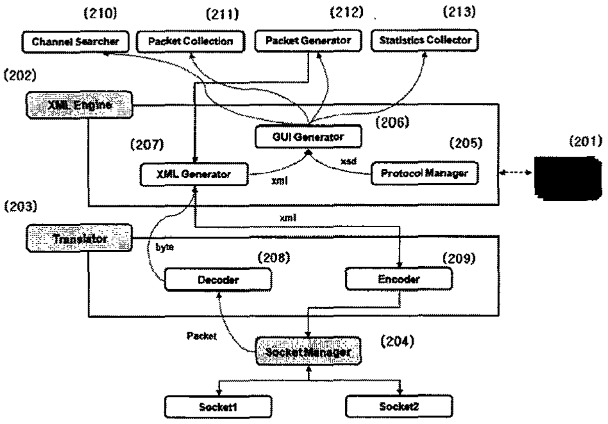


그림 4. 분석기 소프트웨어
Fig. 4. Analyzer S/W

IV. 구 현

본 분석기는 앞에서 설명한 것과 같이 패킷을 수신하는 하드웨어와 패킷을 분석 처리하는 소프트웨어로 구성된다. 아래 그림 5와 같이 하드웨어는 Embedded Linux가 탑재된 ARM11계열 CPU 및 2.4GHz 무선 트랜시버인 TI CC2420 8개 모듈로 구성되며, 10/100 Ethernet, USB, CDMA모듈 등의 외부 인터페이스를 갖는다.

소프트웨어는 패킷 분석을 위한 디코딩 엔진 패킷의 조립 및 생성을 위한 인코딩 엔진, IEEE 802.15.4, Zigbee 및 사용자 정의에 따른 시나리오 검증을 위한 프로토콜 자동검증 엔진, 패킷간 시간 분석을 위한 time-line analysis tool, routing MAP 분석 및 실시간 GUI mapping, 각종 통계 및 센서 노드의 성능 측정을 위한 모듈 등으로 구성된다. GUI 및 각각의 엔진들은 Java를 이용하여 구현하였다.

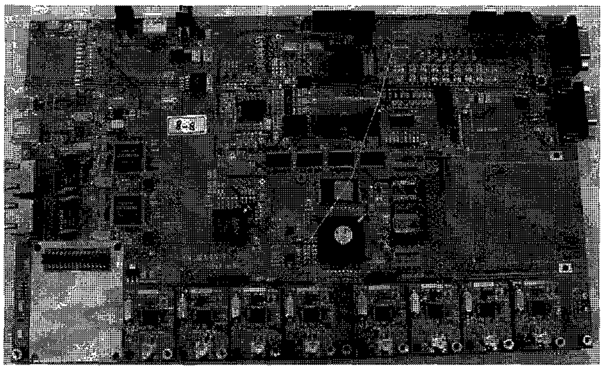


그림 5. 분석기 하드웨어
Fig. 5. Implementation of analyzer H/W

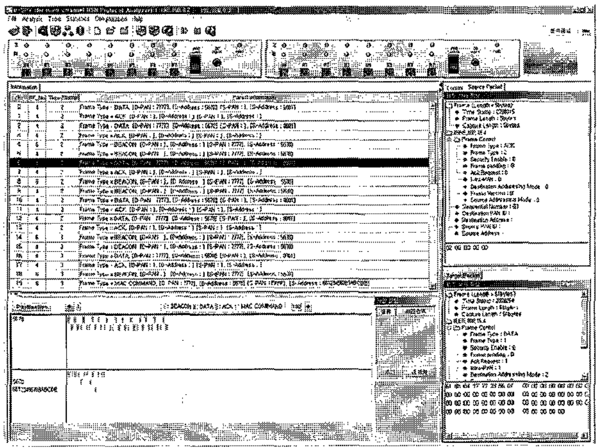


그림 6. 패킷 분석 화면
Fig. 6. GUI for packet analyzer

V. 결론 및 향후 연구 방향

USN기술은 사물의 정보화를 통해 신규 부가가치 창출에 기여하며 신규 수익모델의 창출이 가능하다. 또한 기존 인프라와 연동되어 새로운 산업모델의 등장을 예상할 수 있다. 이에 따른 그 응용 범위는 무한하며, 각 응용에 따른 다양한 프로토콜 연구 및 개발이 이루어지고 있다. USN용 프로토콜은 전력 소비를 최소화시키기 위해 패킷의 송수신시에만 전원을 사용하고, 송수신 하지 않는 경우에는 트랜시버의 전원을 꺼서 전력 소비를 최소화 한다. 이 때문에 전원의 on/off의 정확한 타이밍 조절 및 프로토콜을 위한 정확한 스케줄러의 개발이 필요하다. 또한 저전력을 위해 짧은 통신거리 및 단순한 모뎀 방식을 사용하며, 이러한 약점을 극복 기 위해 여러 채널을 동시에 사용하는 연구도 활발히 이루어지고 있다. 본 논문은 이러한 프로토콜 개발에 필수적인 멀티채널용 패킷 분석기 개발에 대한 것으로 8채널(최대 16채널)의 하드웨어와 사용자 정의에 따른 XML을 활용하여 패킷을 분석할 수 있는 패킷 분석기, 사용자 정의에 따른 패킷 생성기, 계획된 절차에 따른 자동 검증 기능, 다양한 성능 측정 모듈, 패킷과 패킷 사이의 시간차의 분석이 가능한 기능 등의 기능을 갖는 분석기 구현에 대해 설명하였다.

감사의 글

본 연구는 지식경제부의 산업원천기술개발사업 일환으로 수행되었습니다(과제번호: 10033648).

[참 고 문 헌]

[1] W. Ye, J. Heidemann, and D. Estrin, "Medium access control with coordinated, adaptive sleeping for wireless sensor networks," *in IEEE/ACM Transactions on Networking*, vol. 12, no. 3, pp. 493-506, 2004.

[2] T. Dam and K. Langendoen, "An adaptive energy- efficient MAC protocol for wireless sensor networks," *in Proceeding of the International Conference on Embedded Networked Sensor Systems*, pp. 171-180, 2003.

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

[4] V. Rajendran, K. Obraczka, and J. J. Garcia-Luna-Aceves, "Energy-efficient, collision-free medium access protocol for wireless sensor networks," *in Proceedings of the Conference on Embedded Networked Sensor Systems*, pp. 181-192, 2003.

[5] J. Mo, W. So, and J. Walrand, "Comparison of multi-channel MAC protocols," *in Proceedings of the ACM International Symposium on Modeling, Analysis and Simulation of Wireless and Mobile Systems*, pp. 209-218, 2005..

[6] G. Zhou, C. Huang, T. Yan, T. He, J. A. Stankovic, and T. F. Abdelzaher, "MMSN: Multi-frequency media access control for wireless sensor networks," *in Proceedings of the IEEE International Conference on Computer Communications*, pp. 1-13, 2006.

[7] X. Chen, P. Han, Q. S. He, S. Tu, and Z. L. Chen, "A multi-channel MAC protocols for wireless sensor networks," *in the IEEE International Conference on Computer and Information Technology*, p. 224, 2006.

[8] O. D. Incel, S. Dulman, and P. Jansen, "Multi-channel support for dense wireless sensor networking," *in Proceedings of the European Conference on Smart Sensing and Context*, vol. 4272, pp. 1-14, 2006.

Biography

김 세 한

1998년 한국항공대학교 컴퓨터공학과 졸업

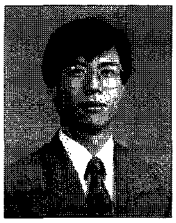
2000년 한국항공대학교 정보통신공학과(공학석사)

2007년 충남대학교 정보통신공학과 박사수료

2000년~ 현재 한국전자통신연구원 RFID/USN 연구부 선임연구원

<관심분야> USN, Wireless PHY/MAC, Embedded System

<e-mail> solokou@nate.com



김 내 수

2000년 한남대학교 컴퓨터공학(공학박사)

1986년~1990년 국방과학 연구소

1990년~현재 한국전자통신연구원 RFID/USN 연구부 책임연구원

<관심분야> RFID/USN, 위성통신

<e-mail> nskim@etri.re.kr